

Institutt for Bygg- og energiteknikk

Telefon: 67 23 50 00

www.OsloMet.no

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

MASTEROPPGAVE

Tittel Analyse av faseendrede materialer i passivhus enebolig under forskjellige klimatiske forhold	Dato 05.07.2020
Forfatter Umar Vaqas Ali	Veiledere Habtamu Bayera Madessa Mehrdad Rabani
Utført i samarbeid med Oslo Metropolitan - Storbyuniversitetet	Kontaktperson Umar Vaqas Ali

Sammendrag

Avhandlingen omhandler bruk av faseendrede materialer (PCM) i passivhusboliger. Fokus har vært å analysere hvorvidt PCM om sommeren kan oppnå å redusere både kjølebehovet og antall timer med en temperatur som ikke overstiger 26 °C ved simuleringer og optimaliseringer. En enebolig på 156 m² plassert i Oslo, designet for fire personer, i simuleringsprogrammet, IDA ICE. Boligen tilfredsstillende kravene til passivhus ifølge NS3700. For å sikre kvalitative resultater er antall timer undersøkt mht. reduksjon av temperatur over 26 °C, i den hensikt å redusere kjølebehovet gjennom valg av PCM sin plassering både i boligen og i sonene (vegger, tak eller både og).

For å verifisere resultatene er tilsvarende bygg testet med plassering i utvalgte klimasoner som Los Angeles, Cape Town og Singapore. Hensikten var å klarlegge hvordan temperaturreduksjonen opptrer ved bruk av PCM i andre klimatiske forhold med samme bygningstype og parametere som i Oslo, for å kunne sammenlikne resultatene med hverandre.

3 STIKKORD

PCM

Passivhus

Optimaliseringer

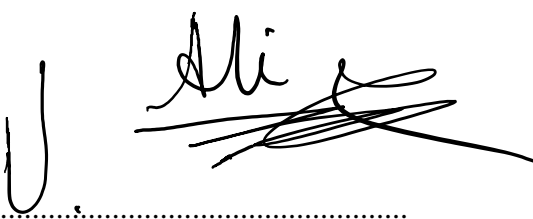
Forord

Jeg vil takke min veileder førsteamanuensis Habtamu Bayera Madessa ved OsloMet for et meget lærerikt kurs om fornybar energi, for positiv respons på problemstillingen og god oppfølging under arbeidet med avhandlingen. Det rettes også en stor takk til doktorgradsstipendiat Mehrdad Rabani som sammen med Madessa bisto å motivere meg tidlig i oppgavefasen. Mehrdad introduserte meg også for optimalisering. Alle forelesere på master i energi og miljø i bygg, bachelor i maskin ved OsloMet og mine tidligere lærere har bidratt til å utvide min kunnskapshorison. Det rettes en takk for samtaler med Arne Henriksen, Habtamu B. Madessa og Arnab Chaudhuri. Det rettes en takk til min tante Zahida Nabi, far Zulfiqar Ali og min mor Parveen Akhtar som alltid motiverer meg.

Jeg vil takke min venn Mohamed Abdirazak som støttet meg gjennom to år i studiet på sivilingeniørutdanningen. Jeg er glad for at mine medstudenter bidro positivt til å motivere meg, også å la meg gjøre det lille ekstra som tillitsvalgt og for å ha vært gode samtalepartnere både før og under Covid-19.

Takk til Majken Solberg som har vært rådgiver ved OsloMet. Jeg har mottatt støtte fra mine nære venner og jeg er svært takknemlig for at min familie har vist forståelse og tålt mitt fravær. Jeg ønsker å rette en takk til mine venner, Omar Chohan og Are Mersland Ørnevik for korrektiv. Takk til Haydar og Asad som har gjort det lille ekstra ved mitt fravær. En særlig takk til min lillesøster Zenab Ali som bidro med valg av figurer og farger i de ulike materialenes grafer. En takk også til Ole Petter Bjerkek som motiverende samtalepartner og ekstern rådgiver.

OsloMet, Institutt for bygg- og energiteknikk, 05. juli 2020.



.....

Umar Vaqas Ali

Sammendrag

Avhandlingens første hoveddel er konsentrert rundt referansebygget som har passivhuskrav iht. NS3700. PCMer anvendes for å se hva som gir best resultat. Målet er optimalisering av hva som er best i henhold til hvilket tilfelle som gir færrest mulig timer over 26 °C.

Andre del gir grundigere studier av hvordan PCM kan være mest egnet, blant annet med å se hvor i boligen det er mest hensiktsmessig å ha PCM, i hvilken sone materialene gir best resultat (etasje, vegger og/eller tak) og hvilket material som reduserer kjølebehovet mest i et passivhus i Oslo.

Tredje del viser resultater fra undersøkelser ved å plassere referansebygget i forskjellige byer på verdensbasis (Los Angeles, Cape Town og Singapore) for å se om disse områdene vil få PCM til å virke med tilsvarende forutsetninger som i Oslo.

PCMene som er benyttet er Gyproc, Bio-Q25 og RT24. Det som fremstiller seg mest egnet for reduksjon av temperaturer er RT24 i alle byer. Dette på grunn av temperatursvingningene til referansebygget som er mellom 20-26 °C.

I Oslo er materialenes plassering best egnet på vegger og i andre etasje på sørfasaden, på grunn av mer mengde solstråling direkte fra vinduer. Dersom nord-fasaden skal benyttes bør Gyproc plasseres i taket i andre etasje. Kjølebehovet blir mest redusert prosentvis ved bruken av Q25 på vegger, vegger og tak. For separat tak reagerer RT24 bedre, men det er temmelig jevnt for begge materialene for reduksjon av kjølebehovet.

I Oslo er materialene egnet for bruk i løpet av sommermånedene fra mai til september, derimot er samme løsning i Los Angeles og Cape Town egnet for lengre perioder i løpet av året. Det er optimalisert tykkelse og temperaturer i Oslo, for å oppnå bedre utnyttelse av materialet.

Ved samme utgangspunkt som i Oslo hjelper ikke PCM i Singapore. Det er optimalisert vindusåpning og solavskjermingsvinkler som mulige løsninger i Singapore. For endelig resultat av Singapore er det gjort endringer av settpunktstemperaturer, temperatur på tilluft, solavskjermingsvinkel og fjernet vinduslufting pga. ekvator klima.

Abstract

The first part of the dissertation is concentrated around the reference building which has passive house requirements according to NS3700. PCMs are used to see what gives the best results. The goal is to optimize what is best according to which case gives the fewest possible hours over 26 °C.

The second part provides a more in-depth study of how PCM can be most suitable, including seeing where in the home it is most appropriate to have PCM, in which zone the materials give the best results (floor, walls and / or roof) and which material reduces cooling needs most in a passive house in Oslo.

The third part shows results from surveys by placing the reference building in different cities worldwide (Los Angeles, Cape Town and Singapore) to see if these areas will make PCM work with the same conditions as in Oslo.

The PCMs used are Gyproc, Bio-Q25 and RT24. What seems most suitable for temperature reduction is RT24 in all cities. This is due to the temperature fluctuations of the reference building which are between 20-26 °C.

In Oslo, the location of the materials is best suited on walls and on the second floor of the south facade, due to more amount of solar radiation directly from windows. If the north facade is to be used, Gyproc should be placed on the ceiling on the second floor. The cooling requirement is reduced most by the use of Q25 on walls, walls and ceilings. For separate roofs, RT24 responds better, but it is fairly even for both materials to reduce the need for cooling.

In Oslo, the materials are suitable for use during the summer months from May to September, however, the same solution in Los Angeles and Cape Town is suitable for longer periods during the year. Thickness and temperatures are optimized in Oslo, to achieve better utilization of the material.

At the same starting point as in Oslo, PCM in Singapore does not help. Optimized window opening and sunshade angles are possible solutions in Singapore. For the final result of Singapore, changes have been made to setpoint temperatures, supply air temperature, sunshade angle and removed window ventilation due to equatorial climate.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Abstract	iii
Nomenklatur.....	vii
Figurliste.....	viii
Tabelliste	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Begrensninger.....	2
1.4 Oppbygging	2
2 Teori	3
2.1 Passivhus	3
2.1.1 Krav til enebolig, NS 3700.....	3
2.2 Inneklima.....	4
2.3 Varmeoverføring	4
2.3.1 Konduksjon	5
2.3.2 Konveksjon.....	5
2.3.3 Solstråling.....	5
2.4 Faseendrede materialer.....	6
2.5 Simuleringsverktøy	7
2.5.1 IDA-ICE	7
2.5.2 GenOpt	7
3 Metode.....	9
3.1 Referansebygget.....	9
3.1.1 Soneinndeling	9
3.1.2 Geografisk plassering	10
3.1.3 Krav	10
3.2 Valg av PCM.....	14
3.3 Ventilasjon.....	15
3.3.1 Tilluftstemperaturer.....	17
3.3.2 Vinduslufting.....	17
3.4 Simuleringer	19
3.4.1 Grafisk script	19
3.5 Optimalisering for Oslo.....	20

3.6	Soner.....	22
3.7	IDA-ICE til Excel.....	22
3.8	Bruken av PCM forskjellige steder i verden	22
3.9	Endringer for Singapore	23
3.9.1	Optimalisering for Singapore	23
3.9.2	Essensielle tiltak.....	24
4	Resultater og diskusjon	27
4.1	Gyproc i Oslo	30
4.1.1	Gyproc på vegger og tak.....	32
4.1.2	Gyproc på vegger	34
4.1.3	Gyproc i tak	35
4.2	Bio-Q25 i Oslo	36
4.2.1	Bio-Q25 på vegger og tak.....	37
4.2.2	Bio-Q25 på vegger	38
4.2.3	Bio-Q25 i tak	39
4.3	RT24 i Oslo	40
4.3.1	RT24 på vegger og tak	41
4.3.2	RT24 på vegger	42
4.3.3	RT24 i tak.....	43
4.4	Sammenlikning i Oslo.....	44
4.5	Spesifikk varmekapasitet.....	49
4.6	Lokal kjøling i eneboligen.....	49
4.7	Klimaforhold	51
4.7.1	PCM i Los Angeles	52
4.7.2	PCM i Cape Town.....	53
4.7.3	PCM i Singapore	54
4.8	Singapore løsning	55
4.9	Temperaturreduksjon.....	57
5	Konklusjon	62
6	Videre arbeid	64
7	Referanser.....	65
	Vedlegg	68
	A - Årsmiddeltemperatur.....	68
	A1 – Høyeste beregnede netto energibehov	68
	A2 – Beregning for netto energibehov	68
	A3 - Årssimulering for eneboligen.....	68

B – Klimadata.....	69
B1 - Oslo	69
B2 - Los Angeles.....	70
B3 - Singapore.....	71
B4 - Cape Town	72
C - Gyproc.....	73
D - Q25.....	74
D1 – Input data for Q25 i IDA ICE.....	75
E - RT24	76
E1 - Input data for RT24 i IDA ICE.....	77
F – Referansebyggenes kjølebehov	78
F1 - Gyproc Vegger og tak i rekkefølgen.....	79
F2 - Gyproc Ytter- og innervegg.....	80
F3 - Gyproc Himling og tak	80
G – Gyproc	81
G1-4 Gyproc vegger.....	81
G5-8 Gyproc tak.....	81
H – Bio-Q25.....	82
H1-4 Bio-Q25 Vegger	82
H5-8 Bio-Q25 Tak.....	82
I – RT24	83
I1-4 RT24 Vegger	83
I5-8 RT24 Tak.....	83
J – Kjølebehov.....	84
J1 – Hentet verdier fra simuleringsprogrammet.....	84
K – Input for optimalisering i Oslo	86
L – Output for optimalisering i Oslo	87
M – Singapore optimalisering	88
N – Algoritme for optimalisering.....	89

Nomenklatur

Symbol	Beskrivelse	Benevning
PCM	Phase change material (faseendrede material)	[-]
IDA-ICE	IDA Indoor Climate and Energy	[-]
NS	Norsk standard	[-]
iht.	I henhold til	[-]
mht.	Med hensyn til	[-]
pga.	På grunn av	[-]
CAV	Contant Air Ventilation	[-]
ca.	Cirka	[-]
Dr.	Doktor	[-]
\dot{Q}	Konduksjon, konveksjon og solstråling	W
K	Termiske konduktivitet	W/mK
A	Materialets overflateareal	m ²
dT/dx	Temperaturgradient i x-retning	K/m
h	Varmeovergangstallet	W/m ² K
A_s	Overflateareal	m ²
T_s	Overflate temperatur konveksjon	°C
T_f	Temperaturen til fluidet	°C
ε	Materialenes emissivitet på det minst flaten	[-]
σ	Stefan-Boltzmann konstant	W/m ² K ⁴
T_o	Omliggende temperatur	°C
GenOpt	A generic optimization programme	[-]
λ	Lambda	(W/mK)
C_p	Spesifikk varmekapasitet	(kJ/kgK)
ρ	Densitet	(kg/m ³)
BRA	Bruksareal	m ²
SFP	Spesific fan power	(kW/(m ³ s))
MET	Metabolisme	[-]
AHU	Air handling unit	[-]
Σ	Riemannsum	[-]

Figurliste

Figur 1 - Prosessen et PCM går igjennom når den tar opp og avgir varme [17].	6
Figur 2 - PCM sine forskjellige former [3].	7
Figur 3 - Illustrerer GenOpt sin funksjon [23].	8
Figur 4 - Referansebygget vist fra Sør- og Nord fasaden.	9
Figur 5 - Etasjene, med loftstua og stua som de mest kritiske sonene.	9
Figur 6 - Oppbygning av tak.	12
Figur 7 - Oppbygning av ytterveggen.	12
Figur 8 - Oppbygning av gulvkonstruksjonen.	13
Figur 9 - Oppbygning av ytterdør og vindusglass.	13
Figur 10 - Temperaturen for ventilasjonsluften ved ulik tid.	17
Figur 11 - Enkel automatikk for vindusåpneren.	18
Figur 12 - Timene vinduene åpnes automatisk, dersom tilfellet i figur 11 inntreffer mellom 21-02 ...	18
Figur 13 - Grafiske skriptet som er benyttet ved optimalisering [37].	20
Figur 14 - Verdier lagt inn i Tools i IDA-ICE.	21
Figur 15 - Optimalisering for Singapore for å få overbevisende temperaturendringer.	24
Figur 16 - Sted for å endre «Singapore settpoints», kjølesettpunkter.	25
Figur 17 - Nytt minimum og maximum settpoints (temperatursettpunkter).	25
Figur 18 - Varierende maksimale settpoints.	25
Figur 19 - Variasjon av temperatur i maksimal settpoints.	26
Figur 20 - Loftstue (a) og Stue (b).	32
Figur 21 - Soverom 3 (a) og Studierom (b).	32
Figur 22 - Antall timer over 26 °C i alle soner (kun loftstue og stue som kritiske).	33
Figur 23 - Antall timer over 25 °C i alle soner.	33
Figur 24 - Antall timer over 26 °C for Gyproc på vegger.	34
Figur 25 - Antall timer over 25 °C for Gyproc på vegger.	34
Figur 26 - Antall timer over 26 °C for Gyproc i tak.	35
Figur 27 - Antall timer over 25 °C for Gyproc i tak.	35
Figur 28 - Loftstue (a) og Stue (b).	37
Figur 29 - Soverom 3 (a) og studierom (b).	37
Figur 30 - Antall timer over 26 °C med Bio-Q25.	37
Figur 31 - Antall timer over 25 °C med Bio-Q25.	38
Figur 32 - Antall timer over 26 °C med Bio-Q25.	38
Figur 33 - Antall timer over 25 °C med Bio-Q25.	39
Figur 34 - Antall timer over 26 °C med Bio-Q25.	39
Figur 35 - Antall timer over 25 °C med Bio-Q25.	40
Figur 36 - Loftstue og stue.	41
Figur 37 - Soverom 3 og studierom.	41
Figur 38 - Antall timer over 26 °C med RT24 og optimalisering vegger og tak.	41
Figur 39 - Antall timer over 25 °C med RT24 og optimalisering vegger og tak.	42
Figur 40 - Antall timer over 26 °C med RT24 og optimalisering, vegger.	42
Figur 41 - Antall timer over 25 °C med RT24 og optimalisering, vegger.	43
Figur 42 - Antall timer over 26 °C med RT24 og optimalisering, tak.	43
Figur 43 - Antall timer over 25 °C med RT24 og optimalisering tak.	43
Figur 44 - Sammenlikning av PCM i loftstuen i Oslo, 3 mm tykkelse.	45
Figur 45 - Sammenlikning av PCM i stua i Oslo, 3 mm tykkelse.	46
Figur 46 - Sammenlikning av PCM i soverom 3 i Oslo, 3 mm tykkelse.	47
Figur 47 - Sammenlikning av PCM i studierom i Oslo, 3 mm.	48

Figur 48 - Endring av smeltetemperatur og Cp pga. optimalisering	49
Figur 49 - Typer PCM med 3 mm tykkelse, kjølebehov	50
Figur 50 - Temperatur med forskjellige materialer av eneboligen i Los Angeles, California, USA	52
Figur 51 - Temperatur med forskjellige materialer av eneboligen i Cape Town, Sør-Afrika	53
Figur 52 - Temperatur med varierte materialer av eneboligen i Singapore	54
Figur 53 - Ny solavskjerming etter optimalisering	55
Figur 54 - Optimaliseringsresultat for vindusåpning	55
Figur 55 - Løsning etter tiltak i Singapore	56
Figur 56 - Sammenlikning i Oslo, Los Angeles, Cape Town og Singapore før (a) og etter (b)	57
Figur 57 - Sammenlikning i Oslo, Los Angeles, Cape Town og Singapore før (a) og etter (b)	58
Figur 58 - Sammenlikning i Oslo, Los Angeles, Cape Town og Singapore før (a) og etter (b)	59
Figur 59 - Komparative studier av referansebygget i Oslo er verifisert i relasjon til de klimatiske årssykluser i verdensbyene Cape Town, Los Angeles og Singapore [41]	61

Tabelliste

Tabell 1 - Innemiljøfaktorer og forhold de omfatter [9, 10]	4
Tabell 2 - Bygningsfysiske parametere [8]	10
Tabell 3 - Varmetilskudd ved NS3700 [8]	11
Tabell 4 - PCM som er benyttet [12]	15
Tabell 5 – Luftmengder, ved balansert ventilasjon [9, 31]	16
Tabell 6 - Kjølebehovet i referansebygget for vekslende byer	22
Tabell 7 - oppvarmingsbehovet til boligen [8]	28
Tabell 8 - Simuleringer og optimaliseringer som er gjort i loftstuen	29
Tabell 9 - Maksimal temperaturreduksjon for Gyproc	32
Tabell 10 - Egnet plassering og tykkelse for hver sone ved Gyproc	36
Tabell 11 - Maksimal temperaturreduksjon for Bio-Q25	38
Tabell 12 - Egnet plassering og tykkelse for hver sone ved Bio-Q25	40
Tabell 13 - Maksimal temperaturreduksjon for RT24	42
Tabell 14 - Egnet plassering og tykkelse for hver sone ved RT24	44
Tabell 15 - Rangering av PCMe i loftstua	45
Tabell 16 - Rangering av PCMe i Stua	46
Tabell 17 - Rangering av PCMe i Soverom 3	47
Tabell 18 - Rangering av PCMe i Studierommet	48
Tabell 19 - Reduksjon av kjølebehov ift. referansebygget	50
Tabell 20 - Rangering av by på basis av Gyproc	60
Tabell 21 - Rangering av by iht Bio-Q25	60
Tabell 22 - Rangering av by som følge av RT24	60

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Gjennom de siste årene har energiforbruket økt i bygninger. Energibruken i bygg tilsvarer 40 % av det totale energiforbruket i Europa. Noen av grunnene til dette er befolkningsvekst, mer tid innendørs og økt etterspørsel i bygningsfunksjoner som passivhus. [1] Energiforbruket til et bygg er et område som direkte påvirker klimaendringer [2].

Det er et stort forskningsfelt som påviser mulig bruk av PCM i bygninger [3]. Forskere har tidligere kommet frem til at PCM har potensialet til å forbedre energiytelsen og termisk komfort [4].

Det at byggkonstruksjoner bruker for mye energi er med på å påvirke miljøet og gir økt utslipp. For passivhusbygg er den store utfordringen for høye temperaturer om sommeren. Det at det blir for varmt om sommeren fører til at det blir dårlig termisk komfort i boligen [5, 6]. Tidligere forskning konkretiserer at PCM kan være med å redusere kjølebehovet. Slik kan det gi reduksjon av lokal kjøling og det gir muligheter for å spare kostnader for energibruk, installasjon og vedlikehold [4].

1.2 Problemstilling

Målet med oppgaven er å undersøke ved simuleringer og optimaliseringer om bruken av fase endrede materialer (PCM) reduserer antall timer med temperatur over 26 °C og dermed reduserer kjølebehovet i en enebolig som følger passivhus krav, NS3700. Videre er det utarbeidet noen delspørsmål som skal besvares i avhandlingen:

1. Hvordan er temperaturreduksjonen ved bruken av faseendringer materialene i Oslo og andre klimatiske forhold sammenliknet med utgangspunktet i Oslo?
2. Hvor mye reduserer forskjellige PCM kjølebehovet i Oslo og hvor er mest egnet plassering i sonen?
3. Hvordan oppnå bedre resultater ved optimalisering?
4. Hvordan få PCM til å være godt egnet i varmere klima?

1.3 Begrensninger

Oppgaven er begrenset, da det ikke er gjort målinger i et eksisterende boligbygg. Mest mulig realistisk er det ved hjelp av simuleringsprogrammet, IDA-ICE, benyttet et ikke-eksisterende boligbygg. Det er antatt samme smeltning og størkningstemperatur for hver PCM.

1.4 Oppbygging

Denne avhandlingen er skrevet i en struktur med mål om å gi leseren en best mulig oversikt. Derfor blir det underveis henvist til figurer og vedlegg som anbefales å følge. Innledningsdelen baserer seg på grunnleggende teori som er beskrevet i kapittel to. I kapittel tre diskuteres metodedelen som beskriver hvordan avhandlingen er utført. I kapittel fire kommer det frem resultater fra metodedelen. I kapittel fem er det konklusjon med resultater som er anskaffet. Til slutt i kapittel seks er det anbefalinger for videre arbeid.

2 Teori

I dette kapittelet vil det redegjøres for grunnleggende teori. Begreper og krav vil bli formidlet. Målet er å gi leseren en bredere forståelse for det som seinere omtales i metode- og resultatdelen.

2.1 Passivhus

Passivhus er kjent som bygg (bolig- og yrkesbygg) med relativt lavere energibehov. Det totale energibehovet er på ca. 25 % til en vanlig bolig [7]. Det heter passivhus fordi mest mulig passive tiltak benyttes for å få redusert energibehovet. Eksempler på noen passive tiltak er en ekstra god tetthet, god utnyttelse av solvarme, mindre kuldebro, godt isolerte vinduer og balansert ventilasjon med en høy virkningsgrad og ekstra varme isolasjon [7]. Konseptet er utviklet i Tyskland, av Dr. Wolfgang Feist. Konseptet har fått et gjennombrudd fra tidlig på 2000-tallet, i Tyskland og Østerrike. Det har med tiden også blitt økt bruk av passivhus i Norge [4]. Boligbyggets krav for å tilfredsstille passivhus er NS 3700 [8]. Ytterligere omtale presenteres i delkapittel 2.1.1.

2.1.1 Krav til enebolig, NS 3700

Standarden NS 3700 inneholder kriterier for passivhus og lavenergihus. Standarden er nyttig for god planlegging og prosjektering for hus med lite energi og bruk av fornybar energi. Standarden innebærer minste krav for maksimal energibruk for oppvarming. Dette kravet er dynamisk sett ut fra hvor i verden bygget befinner seg og boligens areal med tanke på formel som skal benyttes, se vedlegg A. Årsmiddeltemperaturen er en del av formelen, som innebærer gjennomsnittstemperaturen et sted i løpet av ett år. Dette er forandret fra sted til sted, dermed er det strengere krav jo høyere årsmiddeltemperaturen er. Denne standarden inneholder både passiv- og lavenergihus. Avhandlingen baserer seg på passivhus, som setter strengere krav [8].

I kapittel 3.1.3 tabell 2 er det listet krav som følges for at bygget er akseptabel for betegnelsen av passivhus. Passivhus standard kan brukes for å sjekke om bygget er akseptabelt som følge av krav, ha krav til bygg type, produkter og ønskelig krav til ingeniørarbeidet. Det er også noen mulige utfordringer ved å følge passivhuskrav. Dette er blant annet en effektiv plassering av vinduer geografisk hva angår bygg og andre skygger i nærområdet, at andel areal blir redusert fordi konstruksjonen er tykkere, større kostnader ved bygging og at det blir for høye temperaturer om sommeren. Punktet med for høye temperaturer om sommeren skal som tidligere nevnt være fokusområdet i denne avhandlingen [6].

2.2 Inneklima

Et godt inneklima er essensielt for å få en god helse og trivsel. Derimot kan et dårlig inneklima føre til sykdom, lite trivsel og ubehag. Begrepet inneklima kan deles i fem faktorer. Avhandlingen setter fokus på det termiske og atmosfæriske miljø. Inneklimaet består av fem faktorer [9, 10].

Tabell 1 - Innemiljøfaktorer og forhold de omfatter [9, 10]

Innemiljøfaktorer	Omfatter	Kommentar
Termisk miljø.	Temperaturer, fuktighet og bevegelser av luft som er med på å påvirke termisk komfort.	Ved å følge passivhus er det ofte et betydelig kjølebehov om sommeren.
Atmosfærisk miljø.	Luftkvalitet.	Innendørs frisk luft som avhenger av uteluft og ventilasjon.
Aktinisk miljø.	Lys og stråling.	Tilstrekkelig med dagslys. Gjennomtenkt vinduareal og plassering.
Akustisk miljø.	Lyd og støy.	Utstyr i sonene er med på å redusere etterklangstid. Lyddempere i ventilasjonsanlegget.
Mekanisk miljø.	Overflatevalg og innredning.	Bygget er fritt for polert metall for å unngå bruken av renholdskjemikalier.

2.3 Varmeoverføring

Varmetransport er en temperaturforskjell som blir overført/transportert fra et system til et annet i form av energi. Overføring av varme, er fra et sted med høyere temperatur enn det systemet energien overføres til. Altså er den høyeste temperaturen dominerende og overføres til området med lavere temperatur. Varmeoverføringen deles inn i tre former. Disse tre formene er konduksjon, konveksjon og solstråling [11, 12]. Delkapitlene under beskriver disse tre formene for varmeoverføringsprinsipper.

2.3.1 Konduksjon

Den mest effektive varmetransport som skjer er varmetransport ved konduksjon, dette er noe som skjer mellom to væsker i ro, eller faste materialer. Det må være en temperaturforskjell for at det skal skje en varmetransport frem til det nås likevekt. Denne typen varmetransport skjer ved materialets konduktivitet. Jo lav konduktivitet, desto lavere blir varmetransporten. Termiske konduktiviteten til et material er ofte kjent, spesielt for de vanlige brukte materialene. Dersom den er ukjent, finnes det en formel for å beregne den. Formelen ved Fourier's lov er vist under.

$$\dot{Q} = -KA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Der K er termiske konduktiviteten, A er arealet til det varmen går igjennom av overflaten og $\frac{dT}{dx}$ er x-aksens temperaturgradient [11].

2.3.2 Konveksjon

Varmens utbredelse fra et fast legeme og over til omgivende væske eller gass eventuelt fra en væske eller gass til et fast legeme, kalles for varmeoverføring ved konveksjon. Det finnes to typer konveksjon som det er viktig å skille mellom, disse er naturlig konveksjon og tvungen konveksjon. Naturlig konveksjon er det som skjer pga. temperaturdifferanser, tetthetsforskjeller og gravitasjonskrefter. Tvungen konveksjon er den type konveksjon som skapes av en vifte og pumper [9]. De materialene som har mer bevegelse av partikler har mer konveksjon i varmeoverføringen. Der etter deles konveksjon inn i to grupper, ytre og indre konveksjon. Ytre konveksjon skjer der en ekstern strømning er til stede, og indre konveksjon er når strømningen er innvendig. Formelen vist under er for beregning av konveksjon [11].

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_f) \quad (2)$$

h er varmeovergangstallet (W/m^2K), A_s er overflateareal til et fast stoff (m^2), T_s er temperaturen til det stoffet som er fast og T_f er temperaturen til væsken/fluid ($^{\circ}C$). Varmeovergangstallet er en faktor som betegnes av flere faktor: konduktivitet, varmekapasitet, tettheten, viskositet og ruhet [9, 11].

2.3.3 Solstråling

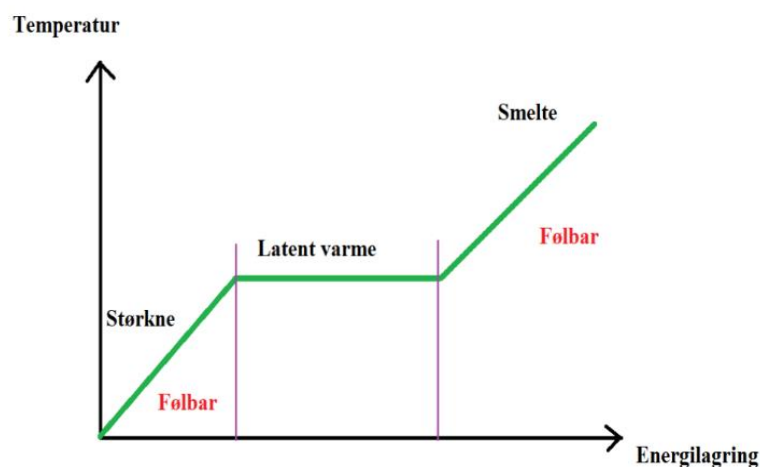
Solstråling er uten tvil den største energikilden som finnes på jorda. Hvert tiende minutt får jorda stråling fra sola som tilsvarer samlet energibruk fra alle resterende energikilder i løpet av ett år [11]. Ved varmeoverføring er strålingen i form av elektromagnetiske bølger. Dette er en

betydelig varmekilde med vinduareal som sitt grunnlag for innstråling [13]. 70 % av strålen kommer til jorda, 80 % av de 70 prosentene som kommer til jorda kommer inn til rommet, 8 % blir reflektert for omgivelser på utsiden av rommet og 12 % blir absorbert av glasset, avhengig av glasstype og 4 % av disse 12 blir absorbert til rommet [11, 14]. Formel for beregning av stråling ved varmeoverføring er vist under [11].

$$\dot{Q} = \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_o^4)$$

2.4 Faseendrede materialer

Et stoff med høy smeltetemperatur og som stivner ved et bestemt temperaturområde defineres som PCM. Nettopp denne egenskapen muliggjør både å lagre og gi fra seg energi. PCM er allerede over lang tid blitt anvendt i solfangere og romfartøy. Oppmerksomheten i bruken av PCM har gjennom de siste 20 årene kommet i et økende fokus også for boliger [15]. Grunnen til at dette er relevant for boliger er dens mulige effektivitet og reduksjon av kjøling og oppvarming. Figuren nedenfor visualiserer prosessen et PCM går gjennom når den tar opp og avgir varme [16].

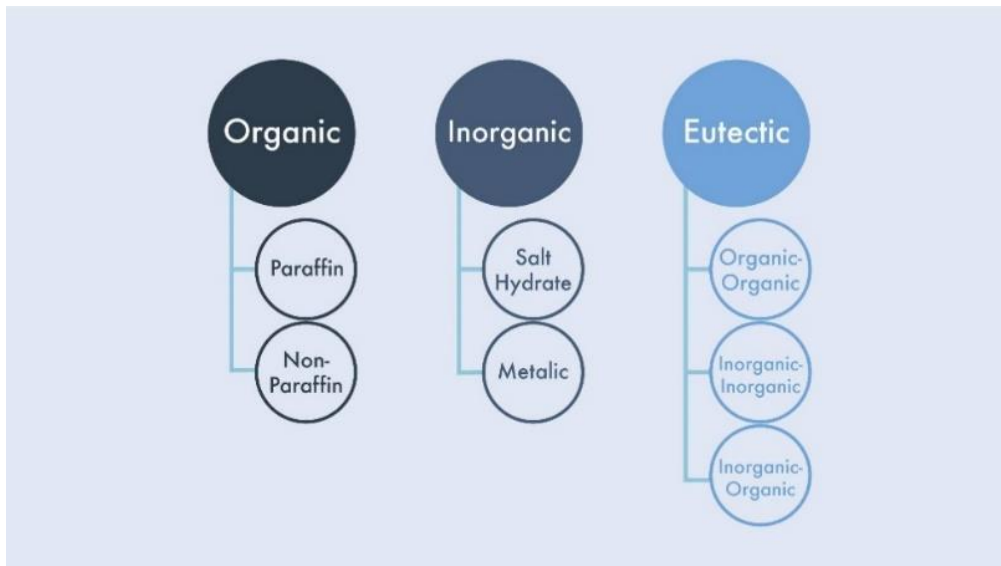


Figur 1 - Prosessen et PCM går igjennom når den tar opp og avgir varme [17].

Når temperaturen faller om natten nærmere den seg origo på grafen i figuren over. Dette tilsvarer at materialet stivner/størkner og overføres til fast form. Det har kommet frem ved varierte studier at PCM lagrer energien opp mot ti ganger mer enn hva følbare varme gjør [15].

Under metodedelen gjøres det mer rede for ulike PCM som er benyttet og forklaring om hvor i boligen disse plasseres. Avhandlingen tar hensyn til å bruke PCM som både smelter og størkner innenfor anbefalte temperaturer i en bolig [18, 19]. Slik at det gir en ønskelig temperaturgraf

for referansebygget i sonene. Laveste temperatur bør holdes om vinteren, men den maksimale temperaturen skal helst ikke overskride med maks 50 timer i året [8]. Mer om de valgte materialene er dokumentert i kapittel 3.2. PCM finnes i forskjellige former og er produsert for å utføre det nødvendige temperaturområdet vist i figur 1. Paraffin og salthydrater er de mest brukte PCMe for bruk i bygninger. Se figur 2 for formene PCM befinner seg i [3, 20].



Figur 2 - PCM sine forskjellige former [3]

2.5 Simuleringsverktøy

Et simuleringsprogram er et verktøy for å danne seg et bilde over hvor realistisk en modell er og samtidig kunne utføre virklighetsanalyser ved å sette inn input av verdier [21].

2.5.1 IDA-ICE

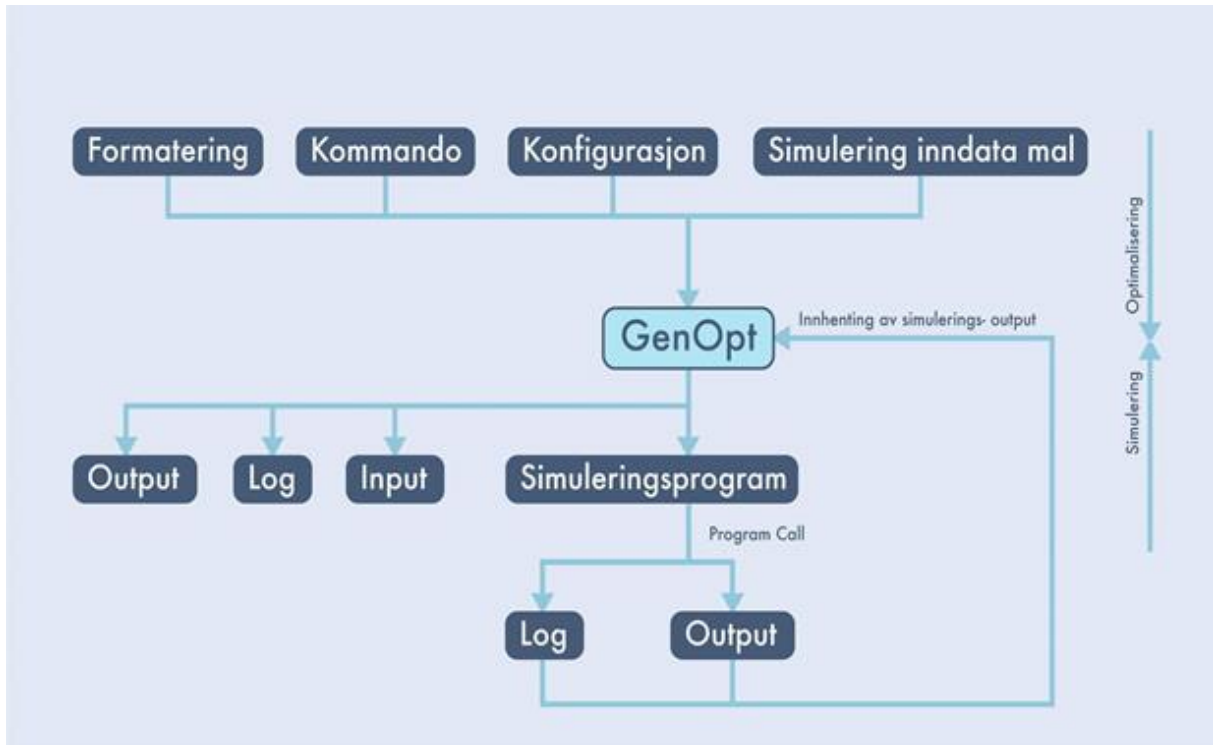
IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) er utviklet av selskapet EQUA Simulations AB, fra Sverige [22]. IDA-ICE er et dynamisk simuleringsverktøy for flere soner. Dette muliggjør en nøyaktig studie av innklimaet i individuelle soner, og energiforbruket i hele bygningen.

Det er gjort enkelt for brukeren å bruke programmet for å simulere typiske tilfeller i forberedelsen av et nybygg. IDA-ICE er omfattende og gir god variasjon av muligheter og parametere [22].

2.5.2 GenOpt

Et generisk optimaliseringsprogram som er utviklet for systemoptimaliseringer. Programmet er designet for å finne verdien(e) til valgte parametere som reduserer en objektiv funksjonalitet. Objektive funksjoner blir beregnet av et simuleringsprogram, som for eksempel IDA-ICE.

GenOpt krever ikke nye koder for enhver iterasjon, altså kan GenOpt enkelt endre en fil uten å kreve nye koder. Se vedlegg N. GenOpt brukes som et miljø, da programmet har et åpent grensesnitt for at det enkelt kan legges til tilpassede algoritmer til biblioteket [23]. Figur 3 illustrerer en illustrasjon av GenOpt sin virkemåte.



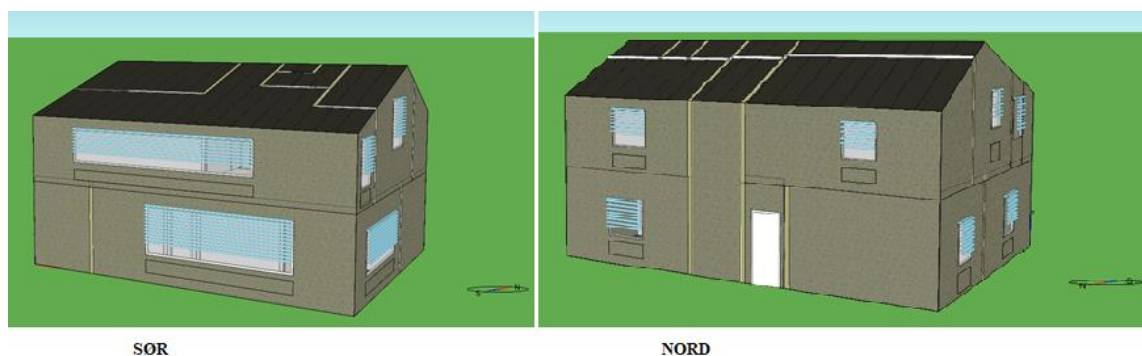
Figur 3 - Illustrerer GenOpt sin funksjon [23].

3 Metode

I dette kapittelet presenteres hvordan avhandlingen er løst, krav som er fulgt og hvilke hensyn som er tatt underveis. Dette for å gi en oversikt over hva som er gjort for å få de resultatene som er oppnådd. Programmene som er benyttet er simuleringsverktøyet IDA-ICE og optimaliseringsverktøyet, GenOpt.

3.1 Referansebygget

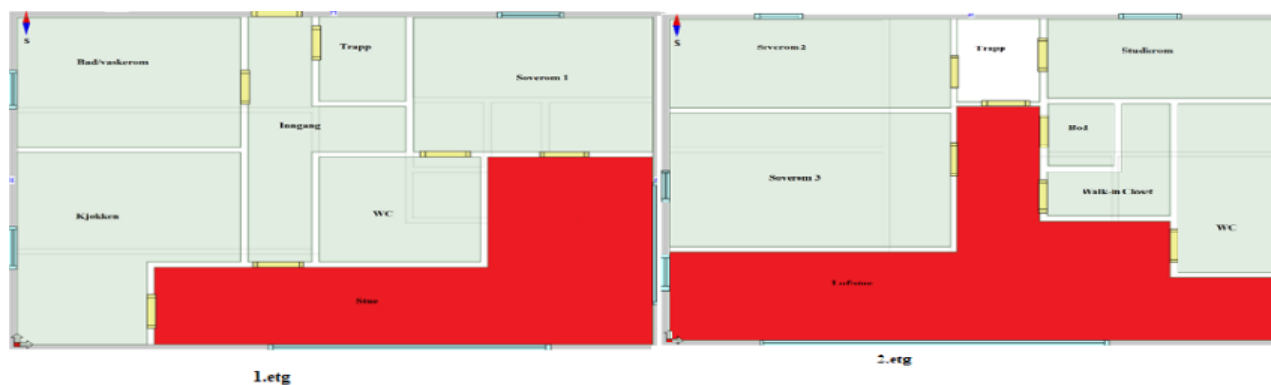
Referansebygget som er satt opp i IDA-ICE er redegjort og gjennomtenkt med hensyn til passivhuskrav. Bygget er brukt som et referansebygg for alle simuleringer og optimaliseringer for å erverve en reell og god sammenlikning. Med totalt bruksareal på $156m^2$. Bygningsmodellen som behager krav for luftmengder, oppvarmingsbehov, er designet for fire personer og gir logiske temperaturer i bygget. Det blir i tabell 2, i kapittel 3.1.3 presentert bygningsparametere for referansebygget. Referansebygget er vist i figur 4.



Figur 4 - Referansebygget vist fra Sør- og Nord fasaden

3.1.1 Soneinndeling

En skisse av innsiden av soneinndelingen i IDA-ICE modellen. Figuren under beskriver begge etasjene og de mest kritiske sonene (loftstua og stua) med tanke på høye temperaturer om sommeren.



Figur 5 - Etasjene, med loftstua og stua som de mest kritiske sonene

3.1.2 Geografisk plassering

For Oslo er det brukt klimadata fra Gardermoen, lastet ned fra IDA-ICE. Årsmiddeltemperaturen som er benyttet er hentet fra byggdetaljer 451.021, tabellen dette er hentet fra er henvist i vedlegg A [24]. Årsmiddeltemperaturen på 6,1 °C er benyttet for å beregne maksimalt netto energibehov til oppvarming for boligen ifølge passivhuskrav i NS3700, kravet er vist i vedlegg A1, krav på basis av referansebygget i A2 og beregningen for tilfellet av referansebygget i A3 [8]. Byene som er valgt i tillegg til Oslo er Los Angeles, Cape Town og Singapore og alle byene har sin klimaprofil i vedlegg B, hentet fra ASHRAE i IDA-ICE [25].

3.1.3 Krav

Input data for referansebygget fulgt som følge av krav i NS3700.

Tabell 2 - Bygningsfysiske parametere [8].

Fysiske parameter	Verdi	Krav
BRA	156,00 [m ²]	
Bygningsvolum	443,60 [m ³]	
Glass- og dørareal	11,85 [m ²]	
Dør- og vinduareal	7,60 %	TEK17: ≤ 25 %
U-verdi for yttervegg	0,10 [W/m ² K]	Verdi NS3700: 0,10-0,12
U-verdi tak	0,08 [W/m ² K]	Typisk verdi NS3700: 0,08-0,09
U-verdi gulv	0,08 [W/m ² K]	Typisk verdi NS3700: 0,08
U-verdi vindu	0,60	NS3700: ≤ 0,8
U-verdi dør	0,74	NS3700: ≤ 0,8
Normalisert kuldebroverdi	0,03	NS3700: ≤ 0,03
Lekkasjetall, n ₅₀	0,60	NS3700: ≤ 0,6
Årlig gjennomsnittlig virkningsgrad [h ⁻¹]	0,85	NS3700: ≥ 80 %
SFP	1,50 [kW/(m ³ s)]	NS3700: ≤ 1,5
Operativ temperaturer	19-26 °C	TEK17, Termisk komfort

Bygget har varmetilskudd iht. passivhus, NS3700. I passivhus er det kriteriet om å benytte seg av energieffektive løsninger for utstyret og belysningen som befinner seg i boligen [8]. Det å benytte energieffektive løsninger gir lavere varmetilskudd. I NS3700 er det gitt verdier for

driftstiden for personer, belysning og utstyret. Dette er lagt inn i IDA-ICE. I tabellen under er kravene som er benyttet [8].

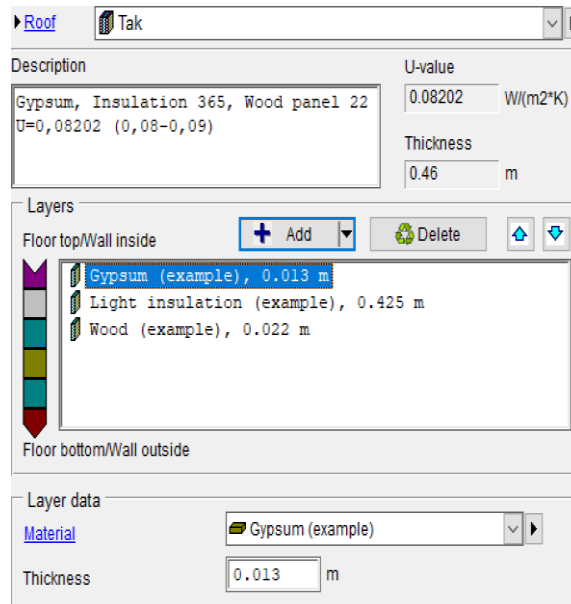
Tabell 3 - Varmetilskudd ved NS3700 [8].

Type krav	Varmetilskudd (W/m ²)	Årlig netto energibehov (kWh/m ² år)	Driftstid (timer/dager/uker)
Personer	1,50		24/7/52
Utstyr	1,80		16/7/52
Belysning	1,95		16/7/52
Varmtvann		29,8	16/7/52

I IDA-ICE er det lagt inn varmetilskudd for både belysning og utstyr. Belysning er lagt inn i alle soner, men utstyret er i stua, loftstua, kjøkkenet, soverommene og bad/vaskerom. NS3700 forteller videre at det er 60 % av varmetilskuddet til utstyret som omgjøres til varme, de resterende 40 % går tapt i sluk og avkastluft ved bruk av utstyr som vaskemaskin, oppvaskmaskin og trommel [8]. Videre er boligen designet for fire personer, noe som er lagt inn i IDA-ICE som MET. Den energi som utvikles ved oksidasjonsprosessen i menneskekroppen kalles metabolisme. Dette er også kalt for stoffskiftet. Metabolismen, som energi er med på å utføre mekanisk arbeid og indre varmeproduksjon [9]. Det er benyttet 1 Met for per person, det tilsvarer 58,2 W/m². For å få eksakt Met for per m² er det mulig å dividere disse verdiene, men i IDA-ICE er det tatt inn personer som følge av hvor mange personer en sone er designet for [26].

3.1.3.1 Tak

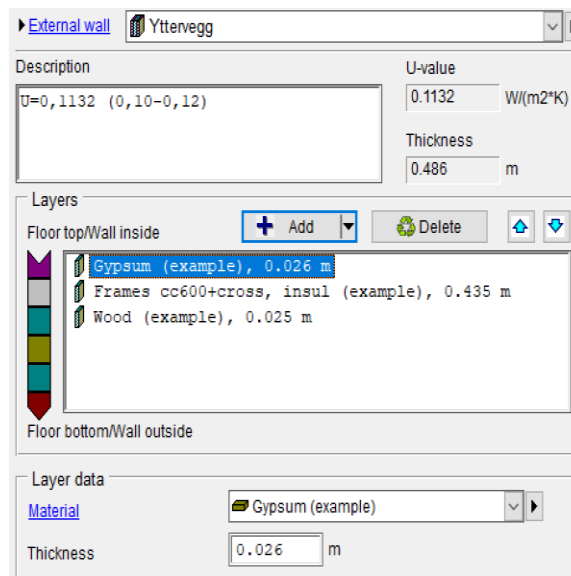
Figur 6 omhandler hvordan taket til referansebygget er konstruert i IDA ICE. Taket er satt sammen av gips på 13 mm, isolasjon på 425 mm og treverk på 22 mm. Denne konstruksjonen av taket for bygget gir en u-verdi på $0,082 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Anbefalt verdi er mellom $0,08-0,09 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. [8].



Figur 6 - Oppbygning av tak

3.1.3.2 Yttervegg

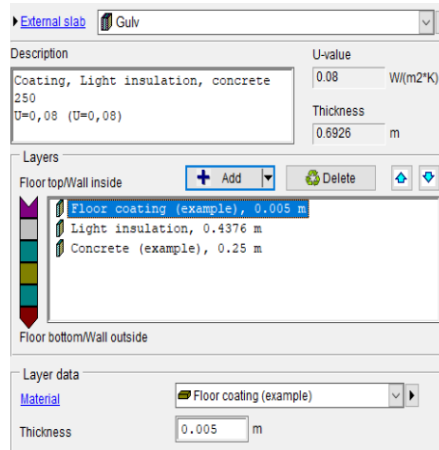
Figur 7 uttrykker konstruksjonen av ytterveggene til eneboligen. Gipsen har en tykkelse på 26 mm, isolasjonen på 435 mm og treverket på 25 mm. Dette gir en U-verdi på $0,1132 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Anbefalt verdi fra NS3700 er mellom $0,10-0,12 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ [8].



Figur 7 - Oppbygning av ytterveggen

3.1.3.3 Gulv mot grunn

Figuren under illustrerer hvordan gulvet er konstruert. Gulvbelegget er på 5 mm, isolasjonen er på 437,6 mm og betongen er på 250 mm. Dette gir en U-verdi på $0,08 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. [8].

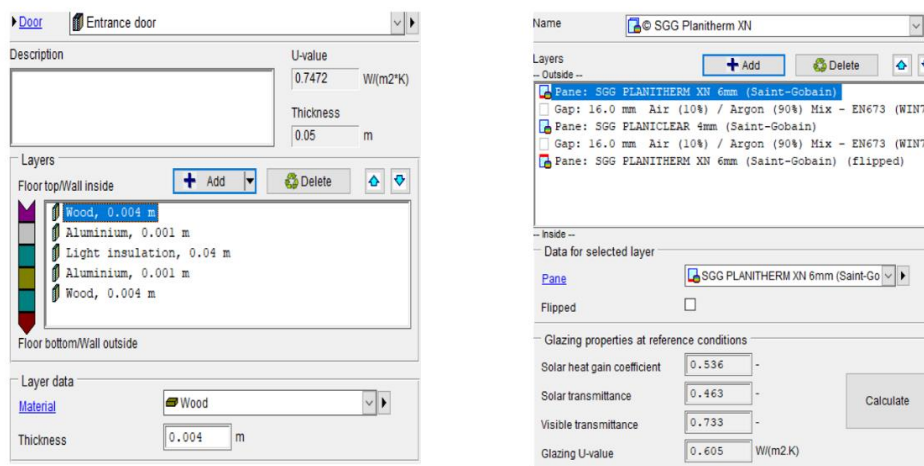


Figur 8 - Oppbygning av gulvkonstruksjonen

3.1.3.4 Vinduer og dører

Figur 9, framstiller på venstre side oppbyggingen til ytterdøren av huset, som er av god kvalitet. Den er satt sammen av treverk, aluminium for å ha en viss tyngde og isolasjon i den midtre delen. Dette gir en samlet U-verdi på $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$. Døren er på til sammen på 50 mm tykkelse [8].

Den lave U-verdien er med på å få redusert energibehovet som trengs i huset. Vinduer som er benyttet er vist i høyre del av figuren under. Det er et 3-glassvindu med 16 mm mellomrom for luft, slik at det samlede glasset har en viss tykkelse og dermed lav U-verdi som er på $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lav soltransmisjon, varme koeffisient og lav verdi for soloverføring gjør det enkelt for solen å bryte inn.



Figur 9 - Oppbygning av ytterdør og vindusglass

3.2 Valg av PCM

Det gjelder å klarlegge og velge riktige type PCM som muliggjør at materialet både smelter og størkner. (Av denne grunn vil det bli testet flere materialer for å kunne teste og redegjøre hvilken type som vil være bra for temperatursvingninger i en bolig). For sammenlikningens del har referansebygget hatt identisk utgangspunkt, derfor er det benyttet vinduslufting med samme settpunktstemperaturer for samtlige case. For å bringe en riktig temperatur for hjemmet, gjelder det å kunne velge riktig type PCM. Det er ønskelig å ha mulighet til passiv kjøling ved behov i de mest kritiske sonene i boligen. Mer om passiv kjøling i kapittel 3.3.2.

Gyproc er en parafinbasert type PCM som har en lavere størkningstemperatur enn andre PCM som er benyttet. Gyproc er et material som enkelt fester seg til vegger og himling, det er praktisk med tanke på dens størrelse og egenskaper vist i vedlegg C [12, 27].

Bio-Q25 er et miljøvennlig material. Noen av fordelene ved bruken av Q25 er at materialet ikke er giftig og samtidig er biologisk nedbrytbar. Materialet etses ikke, er kjemisk stabilt og har en lang levetid på ytelse fordi den ikke har nedbrytning i smeltetemperatur/lagring av termisk energi etter at den har hatt flere tusenvis av smeltesykluser. En annen stor fordel er at materialet har lite volumendringer i løpet av sine faseoverganger. I vedlegg D er det beskrevet flere egenskaper materialet har. Smeltepunktet til materialet er på 25 °C og størkningstemperatur ligger på omtrent 22 °C. Dette visualiseres i grafen til vedlegget. Input data som er benyttet for materialet i IDA-ICE er vist i vedlegg D1 [28].

RT24 er organiske materialer. Denne type materialet er fordelaktige der det er begrenset med volumendring. Det gir et veldig effektivt middel for lagring av varme og kulde, selv når begrensede volumer og lave forskjeller i driftstemperaturer. Noen fordeler ved RT24 er at den har høy lagringskapasitet for termisk energi, ingen superkjølede effekt, lang levetid og denne type materialet har et bredt utvalg av temperaturer som kan benyttes. Dermed kan samme type materialet anvendes for vekslende temperaturer og klima [29]. Informasjon innhentet for materialet er vist i vedlegg E – RT24. Input data som er benyttet for materialet i IDA-ICE er vist i vedlegg E1 [29].

Bio-Q25 inneholder plantebaserte bioprodukter, RT24 er av saltvannblandinger og Gyproc er parafinbasert [27, 28, 29]. Se tabellen under for en bedre oversikt for de ulike PCMene som er valgt.

Tabell 4 - PCM som er benyttet [12]

Type PCM	Produsent	Smeltepunkt (°C)	λ (W/mK)	C_p (maks) (kJ/kgK)	ρ (kg/m ³)	Type PCM	Kilde
Gyproc	Saint-Gobain	24	0,1	14,3	970	Parafin	[27]
Q25	Energy solutions	25	0,15-2,5	88,5	840-1500	Plantebasert	[28]
RT24	Rubitherm	24	0,2	36,0	880	Saltvannblanding og tilsetningsstoffer	[29]

3.3 Ventilasjon

I TEK17, kapittel 13, inneklime og helse, er det krav til ventilasjon. Generelt skal et boligbygg ha ventilasjon som gir og sikrer en overbevisende kvalitet med tanke på rommets struktur, utforming, emisjoner, menneskeaktivitet, forurensning og lukt [30]. Eneboligen er designet med tilluft i soverommene, stua og loftstua. Bad, kjøkkenet og WC-ene er designet med avtrekk. I tillegg benyttes avtrekk i inngangspartiet og trapp for å få ventilasjonen balansert.

Alle bygg kan ha varierte ventilasjonsløsninger. Den billigste løsningen med tanke på selve anlegget, sett bort i fra energibesparelse for forbrukeren er løsningen for boliger med CAV ventilasjon. Det er et anlegg hvor luftmengdene ikke er mulig å endre etter behovet, eller tid. Alt forblir sånn slik som det er. Det gir økt energibruk og er uheldig. Ved CAV anlegget, starter anlegget ved hjelp av ur og holder konstant luftmengde gjennom døgnet.

Det er benyttet CAV-strategi. Konstante luftmengder, gir noen faktorer som er viktige å redegjøre. Faktorene dette innebærer er at rommene er i ulik bruk med tanke på ulikt aktivitetsnivå, personer sonene er designet for og hva soner er tiltenkt i kraft av fysisk aktivitet. Inneklimate i rommene er også ulik, for eksempel om en bod ligger midt i etasjen eller et bad, så har de hver sine krav. Det har ikke noe særlig å si om det er ventilasjon på boden eller ikke, da boden er for utstyr, men badet derimot har krav og skal ha personer innom daglig. Krav fra TEK17 og tre forhold som er anbefalt å velge mellom for boligen:

1. Generell ventilasjon med 1,2 m³/h.
2. Tilluft per sengeplass på 26 m³/h person.
3. Avtrekk på kjøkken og våtrom.

I TEK17 kommer det frem at det vanligste er å oppfylle de preaksepterte ytelsene til kjøkken, våtrom og luftmengde per sengeplass. Med punkt 3, avtrekk på kjøkken, bad og WC skal i

tillegg ha muligheten for forserte luftmengder ved behov. Avhandlingen har kun lagt som basis grunnventilasjon. Dette fordi PCM er hovedfokuset og forsert ventilasjon (avtrekk for kjøkkenet, bad og WC (punkt 3)) skjer i en veldig liten periode av dagen [31].

Virkemåten for den balanserte ventilasjonen er at huset ventileres med like store mengder tilluft og avtrekksluft. Det styres med vifter i tilluft- og avtrekksiden. Anlegget sørger for gjenvinning av varme. Denne måten å ventilere på gir energieffektivt og et godt inn klima. Tilluften har egne kanaler som går i stue og soverommene og avtrekken har avtrekksventiler i kjøkkenet, bad, WC-ene, trapp og inngang. Det er ingen krav om verdi for å ha ventilasjon i trapp og inngang, men for å få anlegget balansert er det valgt å ha avtrekk i disse sonene. Det skal være luftstrømning mellom rom, som er overstrømning. Dette gjøres ved å ha små åpninger mellom dør og gulv [9, 26, 31].

Luftmengdene som er satt inn for tilluft og avtrekk i IDA ICE er vist i tabellen under.

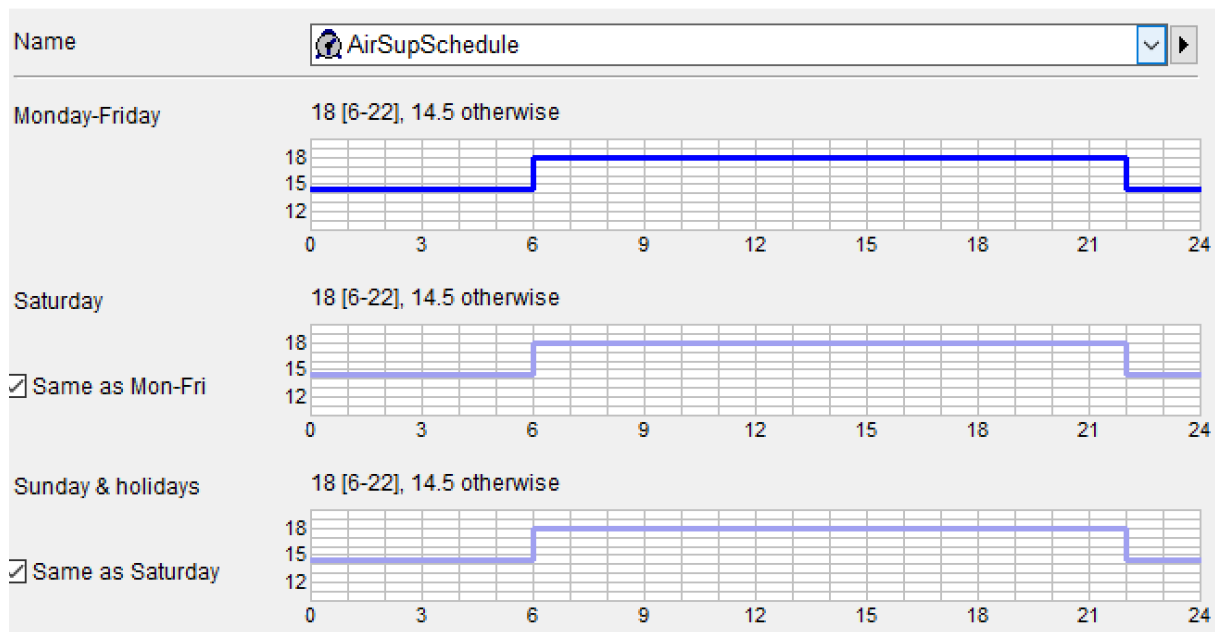
Tabell 5 – Luftmengder, ved balansert ventilasjon [9, 31]

Sone	Tilluft (m ³ /h)	Avtrekk (m ³ /h)
Bad/Vaskerom		54
Inngang		30
Soverom 1	26	
Kjøkken		36
WC		36
Stue	62	
Soverom 2	26	
Studierom	26	
Soverom 3	52	
Loftstue	30	
Bod		
Walk-in Closet		
WC 2. etasje		36
Trapp		30
Totalt	222 m³/h	222 m³/h

Dette er balansert ventilasjon, da den totale verdien på tilluftsiden er den samme som på avtrekk.

3.3.1 Tilluftstemperaturer

For å ha ulik strategi i løpet av døgnet benyttes det tilluftstemperaturer på 14,5 °C og 18 °C. Denne strategien er benyttet for å få materialene til å størkne om natten. Som figuren under fremstiller er dette det samme for samtlige dager i løpet av året. Fra klokken 06:00-22:00 er det 18 °C som tilluftstemperatur og de resterende timene fra 22:00-06:00 er det 14,5 °C.



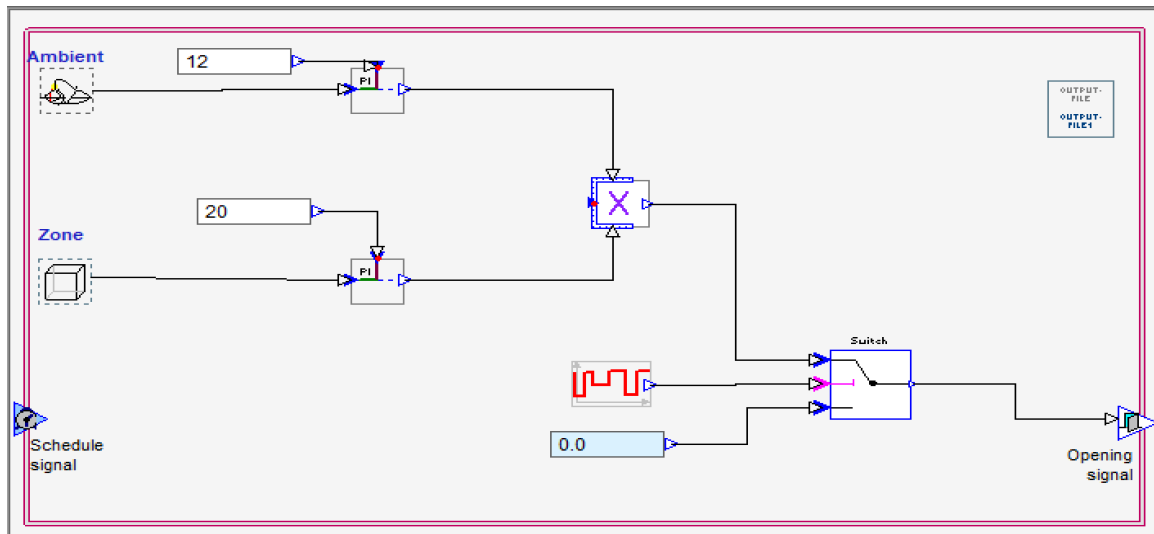
Figur 10 - Temperaturen for ventilasjonsluften ved ulik tid

3.3.2 Vinduslufting

Tidligere studier framstiller at naturlig ventilasjon kan være godt egnet [32]. Vinduslufting benyttes på flere skoler i Norge og det er en vanlig og kostnadseffektiv løsning. Automatisk vinduslufting bidrar til å kunne størkne materialet og redusere temperaturer ytterligere i løpet av natten. Kontrollstrategien for vinduet som er benyttet er alltid lik for alle byene, for at alt er sammenlignbart. Altså at kontrollstrategien for vinduet alltid er som vist i figur 11. Vindusstrategien er i utgangspunktet gjort for Oslo-klima og gir temperaturvariasjoner slik at materialene størkner og kan ha anledningen til å redusere temperaturer og kjølebehovet optimalt.

Kontrollstrategien virker ved at vinduet åpnes automatisk fra klokken 21:00-02:00. Når utetemperaturen blir lavere enn 12 °C og den operative temperaturen inne i sonen kommer over 20 °C, åpnes vindusåpningen. Dette oppdages av en PI-regulator som registrerer ytterpunktene når disse inntreffer innenfor driftstiden. Signalet videreføres da fra «multiplayer» til en «switch» som sikrer at det ikke blir for kaldt, eller at vinduet åpnes uten behov. Samtidig erfares

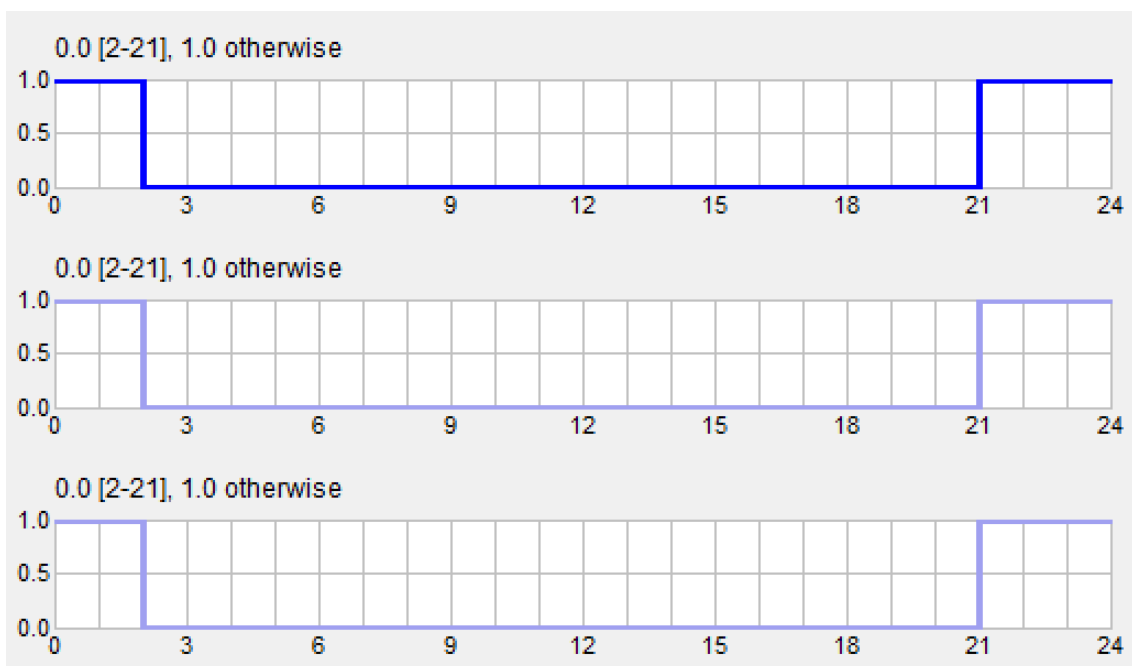
at temperaturen på innsiden blir tilstrekkelig lav for at PCMen størkner. En «OUTPUT-FILE» belyser når og hvor mye vinduet er åpnet innenfor driftstiden.



Figur 11 - Enkel automatikk for vindusåpneren

Tidligere studier konkluderer til at det er energibesparende og enklere å følge passivhus ved å benytte seg av passive tiltak for kjøling [33, 34, 35].

Figur 12 illustrerer når vindusluftingen vil slå inn, som er fra 21:00-02:00, dersom de overnevnte temperaturene inntreffer. Dette gjelder for alle tilfeller uansett dag og uke, fordi dette er for PCM i en bolig, så er det viktig å ha tiltenkt den termiske komforten for menneskene som er på innsiden av boligen.



Figur 12 - Timene vinduene åpnes automatisk, dersom tilfellet i figur 11 inntreffer mellom 21-02

3.4 Simuleringer

Det er gjort simuleringer fra 01.05-30.09.2020 i Oslo og hele året i Los Angeles, Cape Town og Singapore. Grunnen til at det er gjort i fem måneder for Oslo er fordi dette er måneder med temperaturer tilegnet PCM bruk. Det er uklart, når PCM hjelper mest i andre byer enn Oslo og hvilke måneder det direkte skal sammenliknes med. Derfor er det blitt konkludert at simuleringer skal kjøres for ett års periode. Grunner til det er at det ikke er sikkert når i løpet av året PCM egner seg i de resterende byene og det er variasjon på når det er sommer fra by til by. For eksempel har Cape Town sommer, når det er vinter i Oslo og Los Angeles. I Singapore er det omtrent like temperaturer året rundt fordi landet befinner seg på ekvatorlinja.

Det er gjort simuleringer for referansebygget, der etter med PCM på vegger, tak og himling, kun vegger og til slutt kun tak og himling. For et enkelt material har det altså blitt gjort simuleringer slik: PCM i vegger og tak, PCM på vegger og PCM i tak og himling. Dette for å se hvordan PCM gir lavere operativ temperatur mht. referansebygget. Dette er gjort med tre ulike PCMer i hele bygget, dog vist fire mest kritiske soner. Til slutt er det også simulert den beste casen etter endt optimalisering. Tykkelsen som er benyttet for simuleringer er 3 mm, etter anbefaling fra veileder pga. kostnad [12, 27].

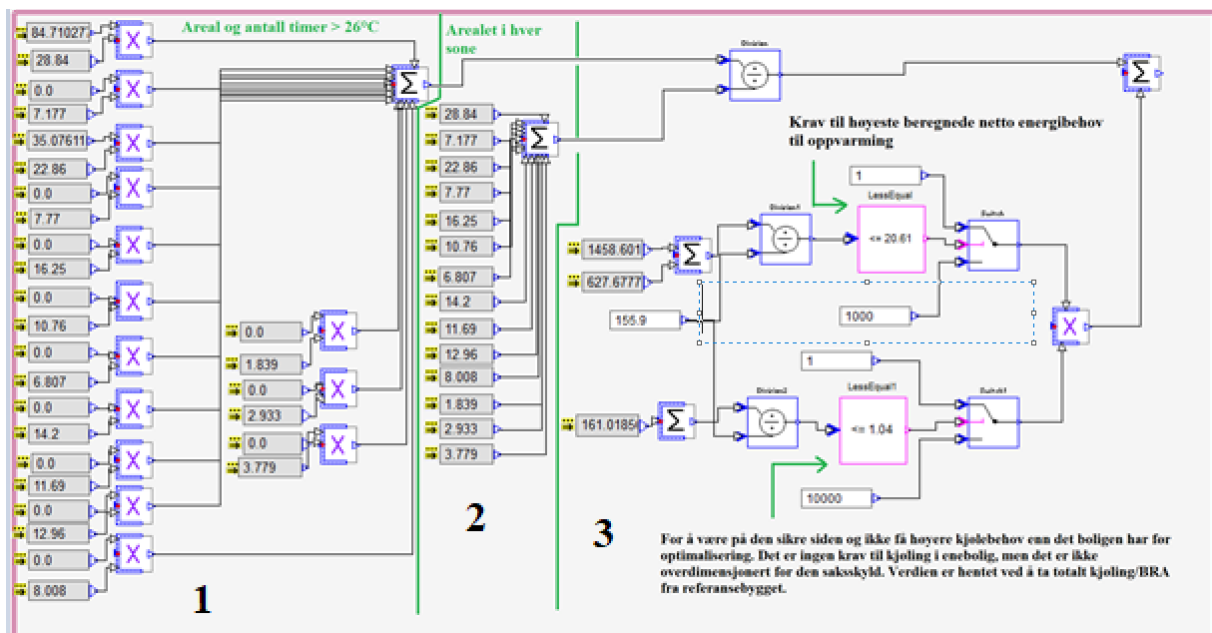
3.4.1 Grafisk script

I IDA-ICE er det en funksjon kalt grafisk script. Den gjør avanserte funksjoner enkelt å opprette slik det passer best for parametriske optimaliseringer og benyttes for å formulere hva som er målet med oppgaven. I dette tilfellet formulerer Scriptet begrensingsfunksjoner, som definerer hva som ettersøkes [36].

Det er definert de 14 sonene i det grafiske scriptet for optimaliseringen, for å ha hele byggets soner med. Funksjonen som er satt inn gjør det umulig å overskride krav, da det er maks grensen som kan være svaret etter endt optimalisering. Scriptet har verdier fra referansebygget som gjør slik at optimaliseringen aldri kan gå over disse tallene, selv om dette er verdier som er litt under krav.

Det er ingen krav i NS3700 som tilsier noe om maks kjølebehov, men i scriptet ble dette lagt inn for og ikke overskride referansebygget. Figur 13, under skisserer fra helt til venstre arealene til de 14 sonene multiplisert med antall timer over 26 °C i hver sone. Alle resultatene av denne multiplikasjonen blir summert, dette er vist rett under skriften hvor det står 26 °C med grønn skrift (se felt 1). I den andre delen av scriptet (se felt 2) er alle arealene i hver sone som blir summert. Det 3. feltet illustrerer at den første seksjonen deles på den andre seksjonen. Siste

seksjonen av figuren framstiller arealet til bygget som er lagt inn manuelt på 156 m^2 . Før sumtegnene (Σ) i denne sonen ved arealet har verdier som endrer seg etter simuleringen som kjøres, for eksempel vil verdiene være forskjellige ift. hvor lang simuleringen er, hvordan vindusåpningen og utstyret i boligen er. Øvre Σ viser summasjon av AHU (Air handling unit) heating og zone heating. Videre er arealet dividert på denne summen av varmen. Dette resultatet skal være under kravet som er på $20,61 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{år}}$, hentet fra NS3700. Nedre Σ tar kun AHU cooling (ventilasjonkjøling) i dette tilfellet, fordi akkurat denne simuleringen har skjedd uten lokal kjøling [37].



Figur 13 - Grafiske skriptet som er benyttet ved optimalisering [37]

3.5 Optimalisering for Oslo

Programmet benyttes for å finne ut hvilke av resultatene som gir best utfall. Det er viktig når det gjelder tykkelse og den mest egnede smelte- og størknetemperaturen for materialet. Det er begrensninger hva angår hva som er optimalisert i avhandlingen.

Før optimaliseringen begynner, så settes det inn verdier som skal optimaliseres. Det gjøres ved å gå inn til det stedet hvor det som skal optimaliseres befinner seg, se i vedlegg K. Figuren under omhandler hva som er optimalisert, først helt til venstre «navn» på hva som blir lagt inn. Her er alle fire tykkelser av materialet for vegger og tak som innebærer yttervegg, innervegg, himling og tak. Der etter kommer «Value», i figurene under gir denne verdien det som gjelder før optimaliseringen for Gyproc med vegger og tak, men det lar seg gjøre å legge inn en hvilken som helst «Value» (verdi) som ligger innenfor «OK range». «Resolution» er antall simuleringer

innenfor «OK range». Dette er viktig å begrense for å ikke ha altfor lange optimaliseringsperioder, slik som figuren under er, tar optimaliseringen cirka to døgn. Dette er gjort for alle tre materialene for både vegger og tak, kun vegger og kun tak. Det tilsvarer tre optimaliseringer for hvert material, altså totalt ni optimaliseringer for endelige resultater. Se vedlegg K for å få en tydelig oversikt over hvordan verdiene er innsatt i input og vedlegg L for output.

Name	Value	Unit	OK range	Distribution	Resolution	Target
■ Thickness	0.003	m	[0.001 0.01]	UNIFORM	10	Yttervegg .PCM layer.Thickness
■ Thickness1	0.003	m	[0.001 0.01]	UNIFORM	10	Innervegg.PCM layer.Thickness
■ Thickness2	0.003	m	[0.001 0.01]	UNIFORM	10	Internal Floor, Himling.PCM la...
■ Thickness3	0.003	m	[0.001 0.01]	UNIFORM	10	Tak .PCM layer.Thickness
■ TH[1]	15.0	°C	[14.9 15.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[1]
■ TH[2]	16.0	°C	[15.9 16.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[2]
■ TH[3]	17.0	°C	[16.9 17.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[3]
■ TH[4]	18.0	°C	[17.9 18.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[4]
■ TH[5]	19.0	°C	[18.9 19.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[5]
■ TH[6]	20.0	°C	[19.9 20.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[6]
■ TH[7]	21.0	°C	[20.9 21.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[7]
■ TH[8]	22.0	°C	[21.9 22.8]	UNIFORM	10	Gvøroc.TH[8]
■ TH[9]	23.0	°C	[22.9 23.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[9]
■ TH[10]	24.0	°C	[23.9 24.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[10]
■ TH[11]	25.0	°C	[24.9 25.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[11]
■ TH[12]	26.0	°C	[25.9 26.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[12]
■ TH[13]	27.0	°C	[26.9 27.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[13]
■ TH[14]	28.0	°C	[27.9 28.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[14]
■ TH[15]	29.0	°C	[28.9 29.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[15]
■ TH[16]	30.0	°C	[29.9 30.8]	UNIFORM	10	Gyproc.TH[16]

Output			
Name	Target	Function	Role
■ OUTSIGNAL	Graphical script 1.ADDER.OU...		MIN
■ oppvarming	Graphical script 1.Division1.y_...		SHOW

Figur 14 - Verdier lagt inn i Tools i IDA-ICE

Det er optimalisert tykkelse og temperaturer for PCM i Oslo. Den casen som hadde færrest timer over 26 °C kom frem i resultater etter optimaliseringer som den øverste casen på «min» under resultater for «outsignal». Outsignal er resultater som kommer fra optimaliseringen, den laveste verdien er den som gir færrest antallet timer over 26 °C.

Denne casen blir dobbeltklikket på og dermed åpner casen seg og det simuleres. Alle de endelige casene som er simulert etter at optimaliseringen er vist i grafene illustrerer hva temperaturer og tykkelsen skal være for å få færrest mulig timer med temperaturer over 26 °C.

3.6 Soner

Det har blitt valgt de to mest utsatte og kritiske sonene, altså loftstue og stue. Disse sonene utfyller ikke det anbefalte kravet til å ha maks 50 timer med temperatur over 26 °C. I tillegg er det valgt det største rommet (to personer), som både har annerledes krav i form av luftmengder, antall personer og en annen retning på fasaden (vest). Dette soverommet er også det tredje mest kritiske rommet. Siste sone som er valgt er studierommet, dette er sonen som kan brukes både til studie og annet hva angår beboernes behov. Det har altså blitt valgt fire soner hvorav to av sonene er de mest kritiske og på sør-fasaden (stue og loftstue), en sone på vest fasaden (soverommet) og en siste på nordøst-fasaden (studierommet).

3.7 IDA-ICE til Excel

Etter å ha simulert, optimalisert og sett på resultater i programmet IDA-ICE har det blitt overført antall timer (x-akse) og operative temperaturer (y-akse) til Excel. Det er blitt benyttet en egen Excel-fil for alle materialer som ble sortert ut for testbygget for avhandlingen, der etter sett på spesifikk varmekapasitet og temperatur for hvert materiale (totalt ti materialer) og ut ifra det valgt tre egnede materialer for referansebyggets temperatursvingninger.

Eksporteringen ved IDA ICE har blitt gjort fordi IDA ICE er veldig Excel-vennlig program og er direkte linket til Excel ved at resultater kan bli kartlagt og overført til Excel ved behov. Det er blitt overført resultater fra referansebygget og alle tre PCMen for alle fire sonene.

3.8 Bruken av PCM forskjellige steder i verden

Oslo har nordlig klima, Los Angeles og Cape Town har middelhavsklima og Singapore ekvator klima. Vekslende klima er grunnen til at kjølebehovet for bygget har en stor betydelig endring. For å se nærmere på klimadata, se vedlegg B. For å se dokumentasjon på innhentede verdier i tabell 6, se vedlegg F.

Tabell 6 - Kjølebehovet i referansebygget for vekslende byer

By	Kjølebehov Referansebygg [kWh]
Oslo	166,2
Los Angeles	1149,8
Cape Town	1409,1
Singapore	37033,0
Singapore løsning	17952,0

3.9 Endringer for Singapore

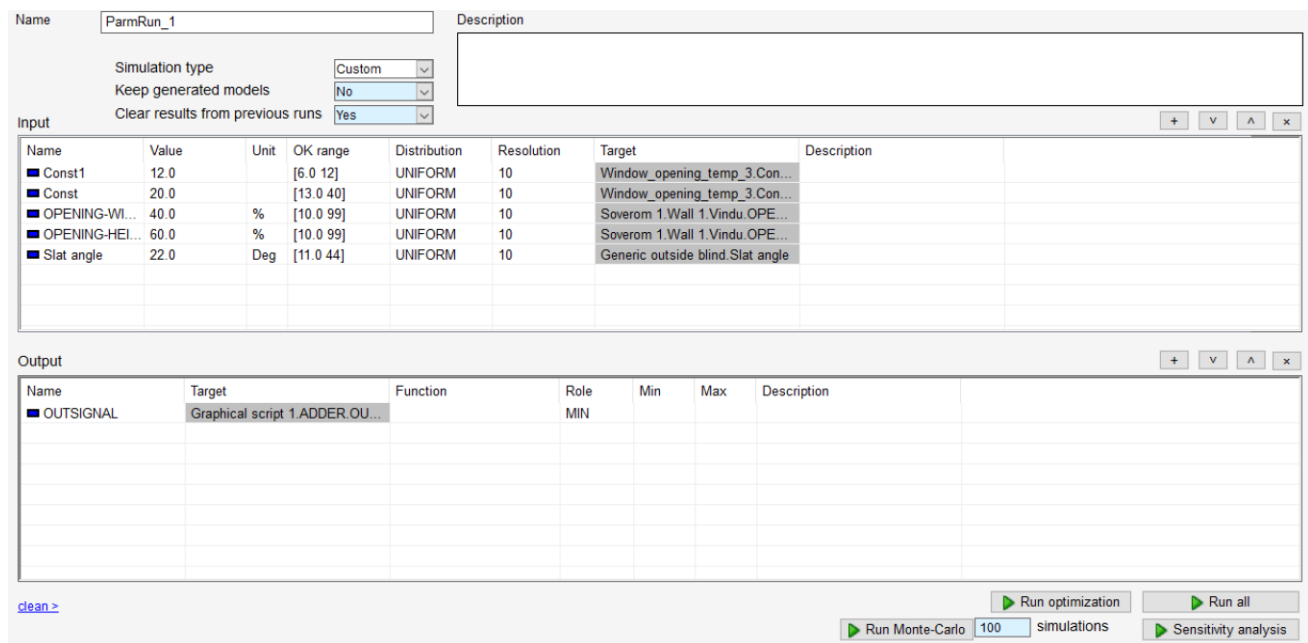
Det ansees fra gjennomføringen av likt utgangspunkt som i Oslo ved andre klimadata at det i områder nær ekvator blir et enormt kjølebehov. Fremstilt i tabell 6, kjølebehov referansebygg, Singapore. Grunnen til at dette ansees på som mulig kritisk er at temperaturen ikke vil ha intervaller for å kunne størkne fordi temperaturene til enhver tid er for høye. Dermed er det gjort tiltak for å endre på disse resultatene ved ekvator-områder. Tiltakene som er gjort er å optimalisere strategier for vinduer og vinkel for solavskjerming. Det er også optimalisert egnet åpningshøyde og bredde for vinduer for å få bekreftet at det faktisk er mest egnet å ha vinduene lukket.

Det er undersøkt en rekke muligheter for å få ned temperaturen i boligen. Utførelsen underveis ble å teste lavere tilluftstemperaturer for ventilasjonsluften, optimalisere solavskjermingsvinkler og åpning på vinduslufting også ha lavere settpunktstemperaturer for kjøling.

Resultater for klimaet i Singapore vil bli sammenliknet med de resterende grafene for å få sett på hva optimaliseringer er i stand til med tanke på å endre resultater.

3.9.1 Optimalisering for Singapore

Det optimaliseres for å finne ut om de mest mulig egnede løsninger. Outsignal fra grafisk skript settes på «MIN» under «Role» ved «output» for å finne den laveste verdien på Outsignal som igjen tilsvarer resultatet med minst antall timer over 26 °C i Singapore [37, 38]. For å få en bedre oversikt over hvordan verdier er innsatt til «Tools» og «ParmRun_1». Se vedlegg M. Se kapittel 4.8 for endelig graf for Singapore.

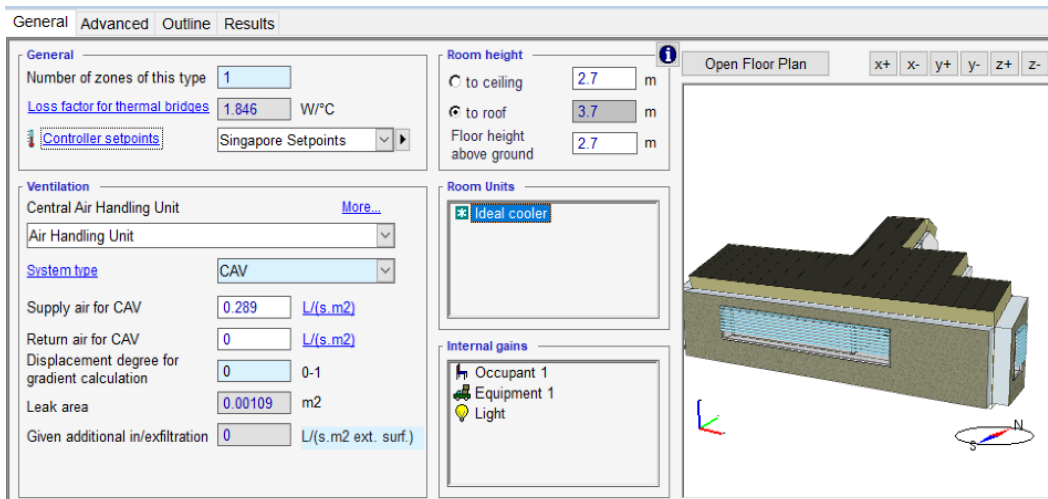


Figur 15 - Optimalisering for Singapore for å få overbevisende temperaturrendringer

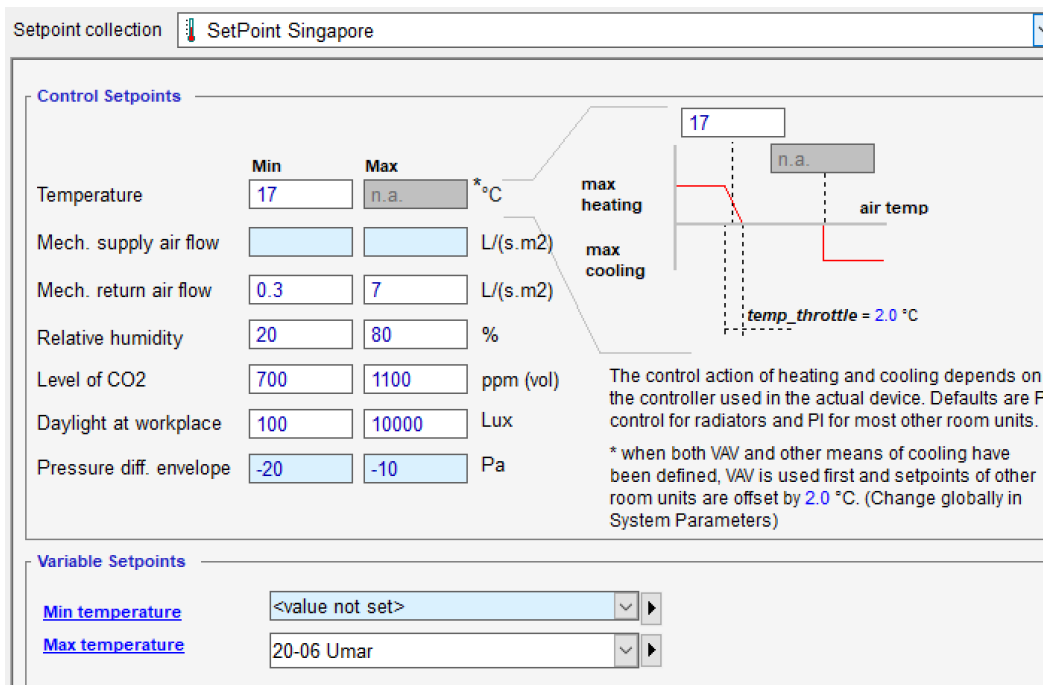
3.9.2 Essensielle tiltak

Det som ble gjort ved at resultater i kapittel 4.7.3 ikke var tilfredsstillende var å se på muligheter ved å optimalisere vindusåpningen, vinduets høyde, bredde og solavskjermingsvinkel som tidligere nevnt. Etter optimaliseringen viste det seg at det ikke holdt for å få materialet til å størkne og lave nok temperaturer. Det ble da prøvd å sette ned temperaturer for ventilasjonsluften, ikke det heller ga et overbevisende resultat. Det er ikke tatt med alle resultatene underveis, men endelige løsninger før tiltak er i kapittel 4.7.3, etter tiltak i vedlegg M beviser optimaliseringsdata som ga et betydelig mye bedre resultat og endelig resultat av alle tiltak og optimalisering er i kapittel 4.8.

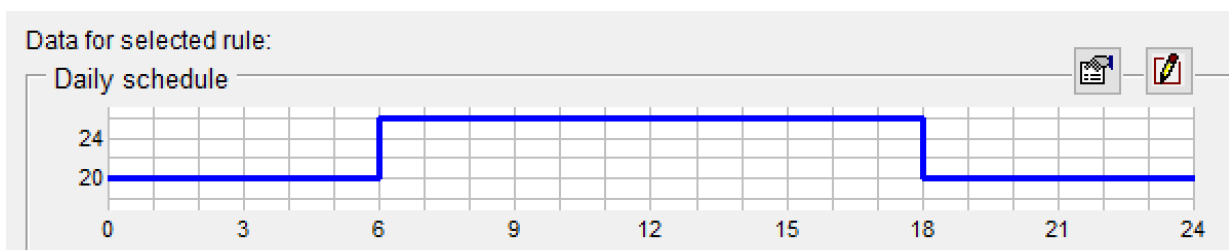
Figur 16-19 under konkretiserer tiltakene som er blitt gjort for å oppnå akseptable resultater med PCM i ekvator klima, i medfør av analysemetoden. Dette er en metode for å finne ut hva mulige løsninger kan være.



Figur 16 - Sted for å endre «Singapore setpoints», kjølesettpunkter



Figur 17 - Nytt minimum og maximum setpoints (temperatursettpunkter)



Figur 18 - Varierende maksimale setpoints

0:00	20.0
6:00	20.0
6:00	26.0
18:00	26.0
18:00	20.0
24:00	20.0

Figur 19 - Variasjon av temperatur i maksimal settpoints

Luftmengdene er de samme og bygget har samme type bygningsparametere også for løsningen i Singapore, det eneste endret er solavskjermingsvinkel, vindusåpning, temperaturer for tilluft og settpunktstemperaturer. PCM resultatet blir spennende å studere og sammenlikne, se i kapittel 4.8.

4 Resultater og diskusjon

Kapittel 1 og 2 introduserer de faglige forutsetninger for oppbygning av nødvendig kunnskap, mens kapittel 3 har til oppgave å fremstille hele virkeområdet for passivhusmodellen som referanse til en analytisk gjennomgang. Til undersøkelsene er det stilt til rådighet et referansebygg med soneinndeling, geografisk plassering (Oslo) og krav iht NS 3700. I den praktiske gjennomføringen i IDA-ICE ble PCMe undersøkt for kontroll av temperaturreduksjon. For å få nytte av PCMe ble balansert ventilasjon vha. tilluftstemperaturer av luftmengder og vindusutlufting simulert i et simuleringsverktøy. Tykkelse for PCMe og temperaturer for materialene ble optimalisert i GenOpt, som er et brukervennlig program i samarbeid med IDA-ICE. Undersøkelsene ved optimalisering klarer en solid bruk av sonene. Der etter ble forskjellige klimatiske forhold analysert for å kunne se sammenlikningen av bruken av PCM med samme forutsetninger av bygget og bygningsparametere som i Oslo. Underveis ble alle data fra IDA ICE eksportert til Excel for å få mer oversiktlige figurer for både temperaturreduksjoner i Oslo ved referansebygget, med PCM og etter optimaliseringer. Andre ting som ble eksportert til Excel er redusert kjølebehov ved plasseringer (vegger, tak og både og) i boligen, materialet RT24 sine temperaturer i overensstemmelse med spesifikk varmekapasitet og årsstudier av temperaturreduksjon ved optimalisering. Temperaturreduksjoner med bruken av PCM på vegger og i tak i klimatiske forhold som Los Angeles, Cape Town og Singapore for å sammenlikne disse med Oslo. Klimatisk forhold nær ekvator gir naturlignok ikke resultater med likt utgangspunkt som i Oslo pga. for høye temperaturer. Dermed er det undersøkt og optimalisert løsninger som vil få PCM til å reagere i Singapore.

Resultatdelen er delt inn i seks deler. De presenteres i rekkefølgen:

- Temperaturer ved bruken av PCM på 3 mm tykkelse og optimaliseringsresultater. (24 resultater for enhver PCM, totalt 72 figurer med resultat). For å gjøre resultatene oversiktlige og enkelt for leseren å følge med er alle resultater for vegger separat og tak separat i vedlegg «G – Gyproc», «vedlegg H – Bio-Q25» og «vedlegg I – RT24». Resultater i resultatdelen er for bruken av PCM på både vegger og i tak, samtidig.
- Sammenlikning av resultatene i Oslo. (Alle fire valgte soner: loftstue, stue, soverom 3 og studierommet).
- Temperaturreduksjon etter optimaliseringer for materialet, RT24.
- Spesifikk varmekapasitet og smelte- og størknetemperaturer etter optimalisering

- Sammenlikning av lokal kjøling ved 3 mm tykkelse, på de tre PCM og de tre plasseringene for boligen.
- Resultater av byer i verden på hensyn til å komprimere temperaturer med samme konsept som i Oslo.
 - Sammenlikning av enhver PCM i samme by.
 - Løsning for konsept som ikke har fungert nær ekvator, Singapore.
 - Sammenlikning av alle byene med sitt referansebygg.

Boligen tilfredsstillter passivhuskravene for eneboliger iht. NS3700. Det er testet om bygget innfrir passivhuskravet for hele året, selv om simuleringer er kun gjort for sommerperioden. Varmebehovet består av ventilasjonsoppvarming, radiatorer i form av romoppvarming og oppvarming av tappevann.

Eneboligens høyeste beregnede energibehov til oppvarming er beregnet i simuleringprogrammet, IDA ICE. Resultatet av beregningen som beriker kravet kan sees på i tabellen under.

Tabell 7 - oppvarmingsbehovet til boligen [8]

Energibehov	Gjeldende	Maksimalt krav	Benevning
Oppvarming	13,57	20,61	$\frac{kWh}{m^2\text{år}}$

Se vedlegg A for å se årsmiddeltemperaturen for Oslo som er benyttet, vedlegg A1 for å se formelen og vedlegg A2 omhandler beregningen gjort. Dette kravet er tilfredsstilt ved ethvert resultat i Oslo. Delkapitlene videre skal redegjøre simuleringene for hver av PCMe i fire kritiske soner for både tak og vegg, tak separat og vegger separat. Alle materialene er lagt inn i vegger, tak og på begge steder.

Resultatene blir presentert gruppevis og PCM er presentert i vekslende farger sett ut fra hvordan materialet ser ut i realiteten. Hver PCM er inndelt i tre simuleringer og tre optimaliseringer. Hver graf inneholder tre verdier. Verdiene er referansebygget (samme for alle graf, men ulikt fra sone til sone), med simulering for 3 mm tykkelse for PCM (Gyproc, Q25 og RT24) og optimalisering med hver av PCMe (det resultatet som gir færrest timer over 26 °C, oppnådde resultatet i GenOpt). Det er forbedring med plassering av materialene både i taket og på veggene. Alt utenom alle 3 PCMe i taket og himlingene i stua gir et positivt utslag, se vedlegg G6, H6 og I6. Resultatene vil fremstille hvor langt ned temperaturen går ved tilfellene, hvor det

egner seg mest å plassere PCM og om det er verdt å bruke tykkere material enn 3 mm, da de optimaliserte tilfellene går fra å være 3 mm til opp mot 9-10 mm tykkelse for materialet. Sonene som er valgt i resultatdelen er de to mest kritiske sonene som er på sørfasaden, mest kritiske ved å ha flest timer som overskrider 26 °C. Dette er loftstuen i 2. etasje og stua i 1. etasje. Videre er det valgt å se på to soner til for å kunne drøfte hvor mye plasseringer i bygget har å si for PCM. Dermed er det valgt det største soverommet som er dimensjonert med luftmengder for to personer og ligger på vest-fasaden og et studierom på nordøst-fasaden som tidligere nevnt i metoddelen. Det er altså fire rom med ulik plassering i overensstemmelse med solstråling, ulikt aktivitetsnivå og ulikt formål.

Oppsummering av hvilke simuleringstyper som er gjort er beskrevet i tabell 8 for den mest kritiske sonen, loftstuen. Det samme gjelder for de tre resterende soner, men feltet «etter optimalisering» gir ulikt resultat ved enhver optimalisering. Til sammen er det blitt benyttet 36 simuleringer (3 mm tykkelse) og 36 optimaliseringer (1-10 mm tykkelse og andre temperaturer) for eneboligen i Oslo.

Tabell 8 - Simuleringer og optimaliseringer som er gjort i loftstuen

PCM	Plassering i sonen	Tykkelse (mm)	
		Med PCM	Etter optimalisering (Ytter-. innervegg, himling og tak)
Gyproc	Vegger og tak	3	10, 10, 3 og 10
	Vegger	3	8 og 10
	Himling og tak	3	1 og 10
Q25	Vegg og tak	3	8, 7, 7 og 6
	Vegger	3	8 og 10
	Himling og tak	3	4 og 10
RT24	Vegger og tak	3	10, 10, 4 og 9
	Vegger	3	10 og 10
	Himling og tak	3	8 og 10

Videre i resultatkapitlet vil det være flere figurer som plottet hva som skjer i sonene med hensyn til temperaturreduksjon ved 3 mm tykkelse og etter optimalisering for både tykkelse og temperaturer som er berikende for materialet. Etter en del gjentakelser i resultater pga. de tre materialene i både vegger og tak, vegger separat og tak separat. Altså totalt 72 figurer i del 1 av

resultater (totalt fem deler som skal drøftes) er det som tidligere nevnt blitt bestemt at alle resultater for kun vegger og kun tak flyttes til vedlegg G - Gyproc, H - Bio-Q25 og I - RT24.

I kapittel 4.1-4.3 er det diskutert og drøftet resultater for redusering av operative temperaturer. Videre er det sammenlikning av hvilken type PCM som er mest egnet for temperaturreduksjon. Seinere i resultatdelen, ved kapittel 4.4 er det diskutert hvor mye reduksjon av kjølebehovet materialene gir ved alle tre tilfellene: vegger, tak og vegger & tak. Der etter i kapittel 4.5 sees det på spesifikk varmekapasitet og optimaliserte smelte- og størkningstemperatur. I kapittel 4.6 er lokal kjøling disponibel. Videre i 4.7 er det sammenliknet PCM i Los Angeles i USA, Cape Town i Sør-Afrika og Singapore Changi Airport i Singapore. Videre er det funnet en løsning ved optimaliseringer for Singapore, da konseptet i Oslo logisk nok ikke har fungert i Singapore med tanke på settpunktstemperaturer, vinduslufting, temperaturer på tilluften og solavskjermingsvinkler. Det vil seinere bli forklart hvorfor konseptet i Oslo ikke har fungert i Singapore. Til slutt i kapittel 4.9 er det blitt sett på temperaturforskjeller for de alternerende byene. Dette er utrolig interessante resultater, da resultatene får frem svar på om det er ulike/like PCM som er mest egnet ved blandete klimaforhold.

4.1 Gyproc i Oslo

Antall timer som blir redusert kan sees på i figur 25 og 26 under. Figur 25 gjengir antall timer redusert for temperatur over 26 °C ved simulering og optimalisering for enhver sone. Figur 26 skildrer antall timer redusert for temperatur over 25 °C.

Et interessant punkt ved optimaliseringen er at himlingen ikke har noe å si, ettersom casen for vegger og tak optimaliseres, se verdien som er i **fet** skrift i tabell 8. Derimot er det slik i IDA-ICE at taket (ikke himling, men tak) går fra å være 3 mm til 10 mm. Himlingen forblir på 3 mm, fordi det gir samme resultat om materialet er 3 eller 10 mm tykt. Dette foreviser at himlingen ikke har en betydning for optimaliseringen ved kun Gyproc. Hentet inputdata for tykkelsene er i vedlegg F1-F3.

Figur 20a illustrerer hvordan loftstuens temperaturer er ved referansebygget uten PCM, med PCM og etter optimalisering. Dette er sonen hvor materialet fungerer overbevisende og det kan være fordi det er det mest kritiske rommet, får en stor mengde solstråling og har egnede temperatursvingninger for referansebygget. Videre kan det fra tabell 8 leses at tykkelsen etter optimalisering er over tre ganger mer enn med PCM. Reguleringen er altså at den sorte grafen har 3 mm tykkelse og temperaturen går 1,8 °C ned og ved tykkelsen etter optimalisering som er ved 10, 10, 3 og 10 mm går ned ytterligere ca. 0,8 °C. Det hjelper å ha høyere tykkelse på

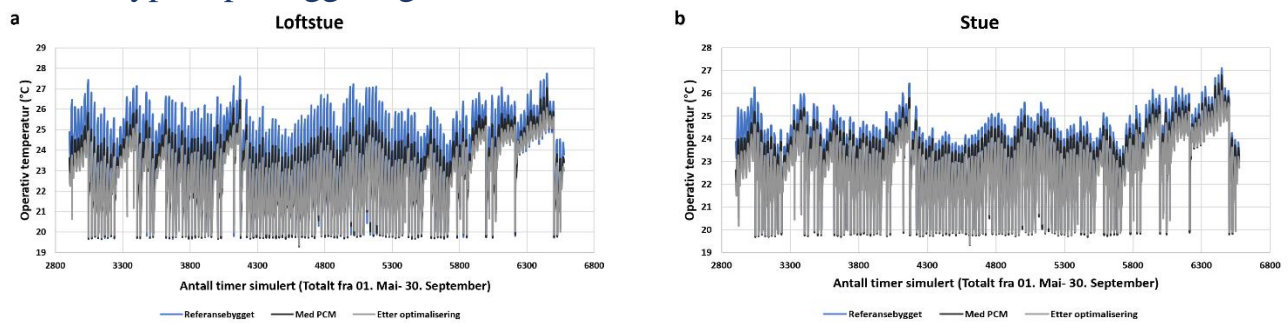
materialet, men det er såpass lite at det ikke vil være fordelaktig økonomisk å ha denne endringen på tykkelsen for Gyproc.

Figur 20b billedgjør den nest-mest kritiske sonen, stuen. Gyproc overbeviser ikke noe særlig her pga. stuens plassering i 1. etasje kanskje fordi sonens temperatursvingninger ikke blir lave nok for egnet størkning, altså beveger ikke temperaturen seg nok for materialets faseendringsegenskaper. Det kan skyldes antall personer, glassareal, mye sol, utstyr og lite luftmengder. Materialet får ned temperaturen omtrent 0,5 °C. Dette er sonen hvor Gyproc er lite ettertraktet og det er fordi endringen av temperaturen i løpet av 24 timer er noe mindre enn de tre andre sonene. Selv om andre rom er mindre kritiske (se figur 21a og 21b), så virker altså PCM minst like bra her fordi de andre rommenes temperaturforskjeller ved referansebygget (blå grafen) er høyere (større ΔT).

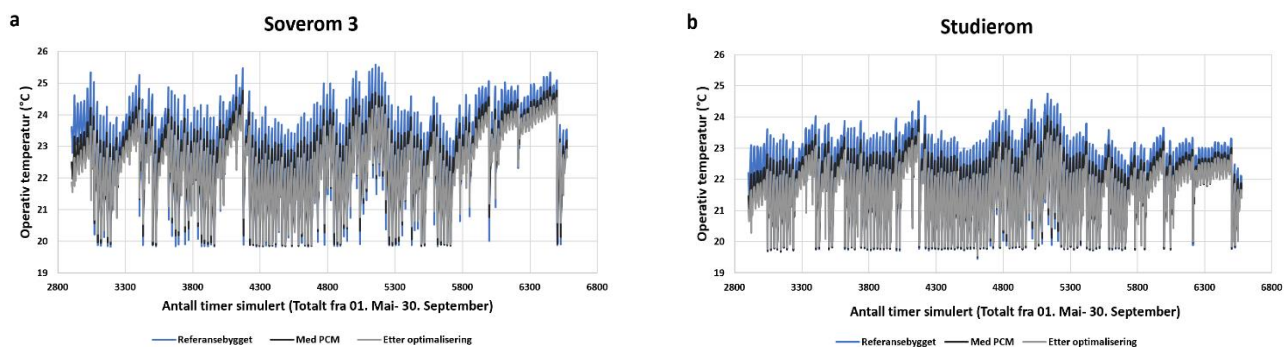
Figur 21a gjelder for soverommet og er den mest kritiske sonen av de som ikke ligger på sør-fasaden. Resultatet med PCM gir gjennomsnittlig ca. 1 °C reduksjon. Optimaliserte tilfellet gjelder for Gyproc på 10 mm på ytterveggen og innerveggene. Det optimaliserte tilfellet gir ca. 0,7 °C lavere temperatur enn tilfellet på 3 mm for veggene. Det beviser at det ikke egner seg å øke tykkelsen på materialet pga. den lave temperaturendringen sett ut fra den store tykkelsen som endres.

Figur 21b illustrerer studierommet, dette er et rom på nordøst-fasaden av bygget. Siden det er mindre mengde sol som inntreffer glassarealene på nord-fasaden er det gjort undersøkelser og funnet resultater for å se om det hjelper å plassere PCM også et sted i bygget hvor det ikke vil være like mye sol og temperaturer vil være lavere. Blå grafen gjengir at referansebygget virkelig har lavere temperaturer i denne sonen, dette kan også sees på i figur 22 og 23 (antall timer over 26 °C og 25 °C). Gyproc hjelper mer her enn det den gjør i stua for både vegger og tak, dette er fordi laveste temperaturene for referansebygget blir lavere i studierommet og materialet størkner bedre. Det blir lavere temperaturer pga. mindre sol, utstyr, antall personer og glassarealet. Figuren konkretiserer at det ikke er egnet å ha høyere tykkelse på Gyproc i studierommet heller, selv om optimaliseringstilfellet naturlig nok gir et bedre resultat.

4.1.1 Gyproc på vegger og tak



Figur 20 - Loftstue (a) og Stue (b)



Figur 21 - Soverom 3 (a) og Studierom (b)

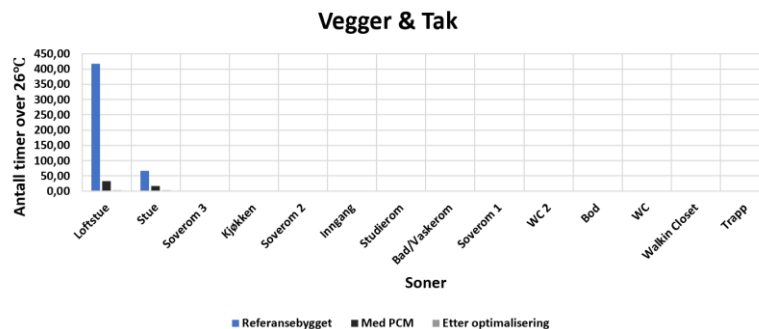
Tabellen nedenfor gir en oversikt på hvor mye temperaturene går ned angående resultatene i figur 20 og 21. Dette er den solide verdien som oppnås ved bruk av nyanserte Gyproc. Det er videre beskrevet hvilken periode den mest egnede verdien gir, prosentvis reduksjon og om det anbefales å optimalisere for den sonen iht. endringene for tykkelsen av materiale. Tabell 9 gir en tidligere forklaring.

Tabell 9 - Maksimal temperaturreduksjon for Gyproc

Sone	Temperaturrendring	Reduksjon	Egnet periode for bruk (best)	Anbefalt å optimalisere iht. tykkelse
Loftstue	1,8 °C	7,1 %	01.05-01.09 (15.07-30.07)	Nei
Stue	0,6 °C	2,3 %	01.05-01.07 (01.05-15.05)	Nei
Soverom 3	1,1 °C	4,0 %	01.05-20.08 (15.07-22.07)	Nei
Studierom	0,7 °C	2,9 %	01.05-01.09 (10.07-25.07)	Nei

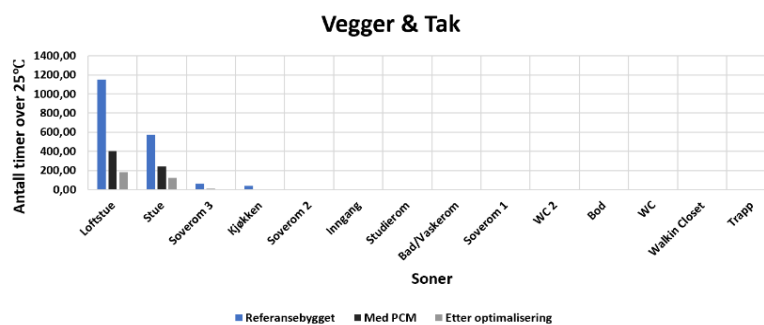
Figur 22 uttrykker at referansebygget ikke tilfredsstillt anbefalte kravet før Gyproc plasseres i sonen. Anbefalte kravet som tilsier at det maks kan være 50 timer over 26 °C i bygget i løpet av året. De blå søylene i figur 22 uttrykker at bygget har 429 timer over 26 °C i loftstua, og 77 timer over 26 °C i stua. Kravet er tilfredsstillt etter at Gyproc benyttes og bygget til sammen får under 50 timer over 26 °C i løpet av året. Den optimaliserte casen (grå) ved figur 22, uttrykker

at det er null timer over 26 °C. Disse resultatene beviser at både bruken av PCM og optimalisering gir berikende resultater. Det vil si at materialet Gyproc både størkner og smelter, lagrer energi og benytter den etter ønske.



Figur 22 - Antall timer over 26 °C i alle soner (kun loftstue og stue som kritiske)

Det er henvist til «antall timer over 25 °C», i figur 25. Dette er gjort for å gi en bedre oversikt om andre mulige kritiske soner og for å vise reduksjon av antall timer over 25 °C, dermed gi et innblikk for en ytterligere bedre komfort. Av resultatet fremkommer det at tilfellet for at det blir over 25 °C kun gjelder for loftstue, stue, kjøkken og soverom 3. Det er pga. rommenes geografiske plassering, antall personer rommene tilrettelagt for, glassareal og utstyret i rommet. For eksempel har kjøkkenet vaskemaskin, stekeovn og liknende. Det kommer frem fra resultatet at PCM reduserer antall timer over 25 °C med over 700 timer i loftstuen og over 340 timer i stuen. Figur 23 illustrerer at i soverom 1, bad/vaskerom, WC, inngangen, soverom 2, trapp, Walkin Closet, studierom, WC2 og bod **ikke** har en eneste time på over 25 °C.



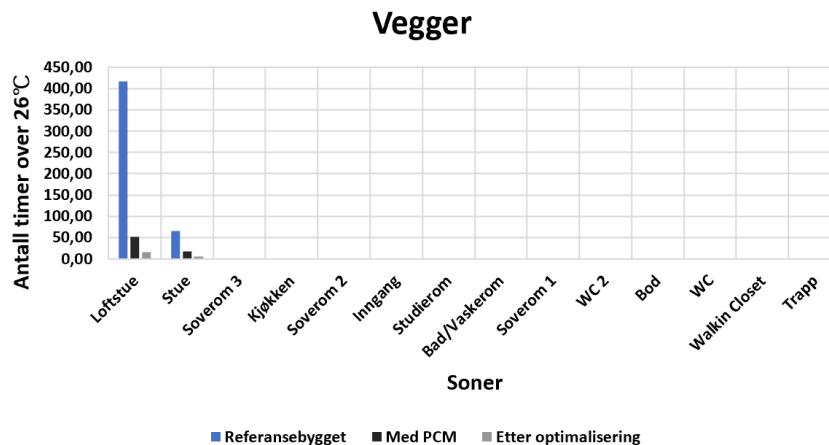
Figur 23 - Antall timer over 25 °C i alle soner

Av resultatene for Gyproc på vegg og tak fremkommer det at loftstuen er spesielt godt egnet for Gyproc-materialet. Det hjelper også bra på soverom 3 og studierommet. Derimot er ikke materialet like godt egnet for stua. Det er ikke anbefalt å utnytte Gyproc-materialet med større tykkelse enn 3 mm, fordi 3 mm lever opp til det anbefalte kravet fra NS3700. I tillegg er PCM generelt kostbart og tykkelsen gir ikke store atskillelser i resultatene [12].

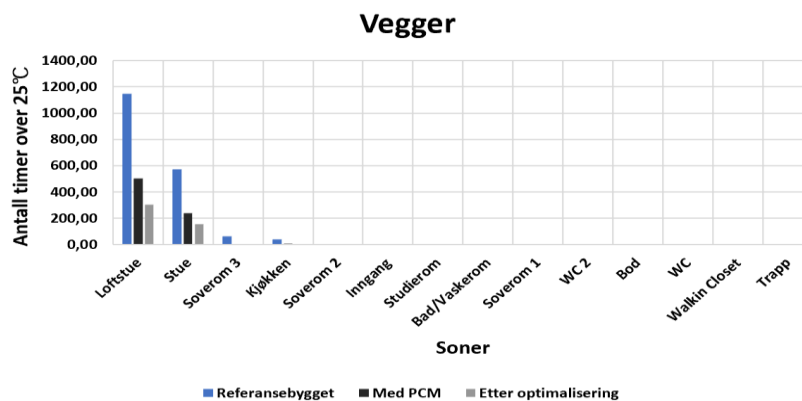
4.1.2 Gyproc på vegger

I vedlegg G1-G4 vises det resultater av Gyproc kun på vegger. Gyproc separat på vegger utgjør et dårligere resultat på studierommet ift. hva som er tilfellet for de resterende soner. Det gir noe bedre resultat ved å optimalisere enn ved PCM, naturlig nok da tykkelsene øker fra å være 3 mm på alle vegger til 8 mm på yttervegger og 10 mm på innervegger. Denne tykkelsen er gjengitt i tabell 8. Av alle sonene i vedlegg G1-G4 kommer det frem at både loftstuen, stua og soverom 3 er tilegnet å benytte PCM på veggene. Mer om hvorfor ikke studierommet er egnet for denne plasseringen står i neste delkapittel, 4.1.3 Gyproc i tak.

Figur 24 og 25 viser antall timer over 26 °C og 25 °C for Gyproc på veggene. Det er oppnåelig å komme under maks grensen i en sone hver for seg på maksimalt 50 timer ved og kun ha Gyproc på veggene. Ved optimalisering som gir et resultat av hvilken tykkelse som er egnet for PCMen, sees det av figurene at det oppnås resultater som er langt under kravet (se på grå søyler i figur 24). Fortsatt er det optimaliseringen av PCM på veggene som muliggjør det å holde antall timer under det anbefalte kravet på maks 50 timer over 26 °C, se figur 24.



Figur 24 - Antall timer over 26 °C for Gyproc på vegger

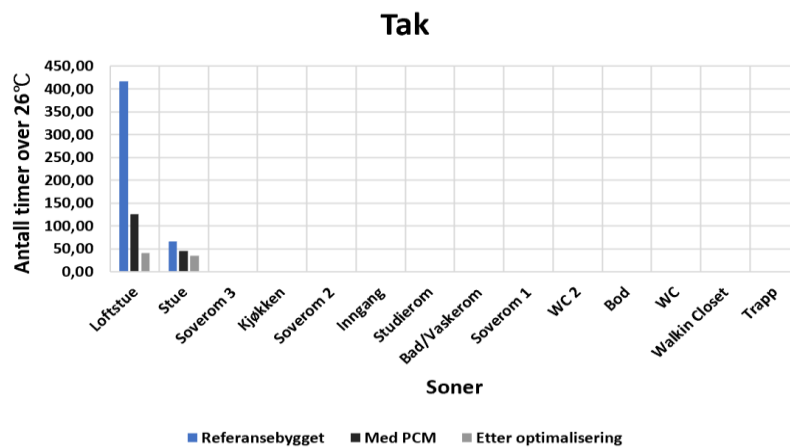


Figur 25 - Antall timer over 25 °C for Gyproc på vegger

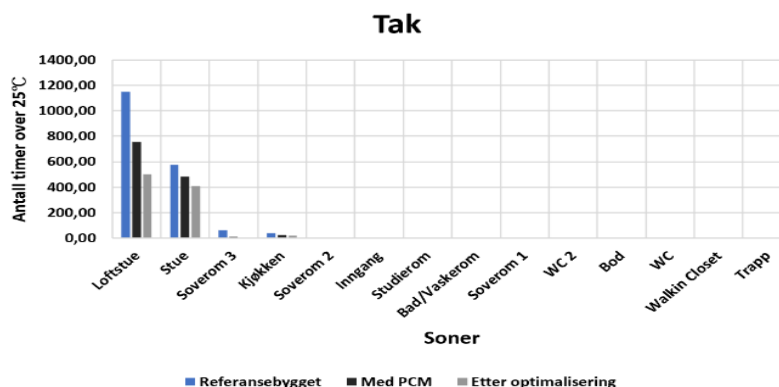
4.1.3 Gyproc i tak

Resultater for Gyproc i tak er presentert i vedlegg G4-G8. Gyproc i tak gir et spennende resultat i studierommet, se på G8. Dette kan ha noe å gjøre med at rommet befinner seg på nord-fasaden av bygget og sola treffer taket på en tilegnet måte med tanke på hvordan glasset er plassert. Samtlige av vedlegg G5-G7 med Gyproc i tak gir et dårlig resultat av Gyproc. Det anbefales ikke å benytte seg av Gyproc i taket, for disse sonene. Det kommer av at solstrålingen ikke treffer taket direkte, men reflekteres fra vegger eller gulv før det går opp i himling og tak.

Antall timer Gyproc for tak som hjelper fra å bli redusert for over 26 °C går ikke under ønskelige kravet på maks 50 timer over 26 °C. Det er ikke anbefalt og kun legge Gyproc i taket, med mindre det er nødvendig med PCM i studierommet. Figurene under med søylediagram for Gyproc i tak viser at det ikke skal være nødvendig med PCM i studierommet, da dette rommet har 0 timer over 25 °C. Ved ønskelig behov for beboere kan det benyttes Gyproc i tak for studierommet. Se på vedlegg G8.



Figur 26 - Antall timer over 26 °C for Gyproc i tak



Figur 27 - Antall timer over 25 °C for Gyproc i tak

Beste resultatet for hver sone med Gyproc er henvist i tabellen under. Samtlige av resultatene som overbeviser det anbefalte kravet med under 50 timer med over 26 °C.

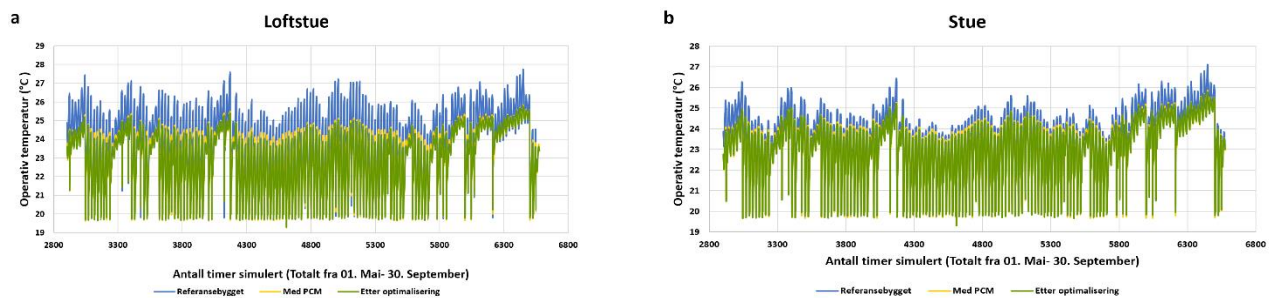
Tabell 10 - Egned plassering og tykkelse for hver sone ved Gyproc

Sone	Sted i sonen	Figur/vedlegg nummer	Krav oppfylt	Egnet tykkelse
Loftstue	Vegger	G1	Ja	3 mm
Stue	Vegger	G2	Ja	3 mm
Soverom 3	Vegger	G3	Ja	3 mm
Studierom	Tak	Trenger ikke PCM	Ja	3 mm

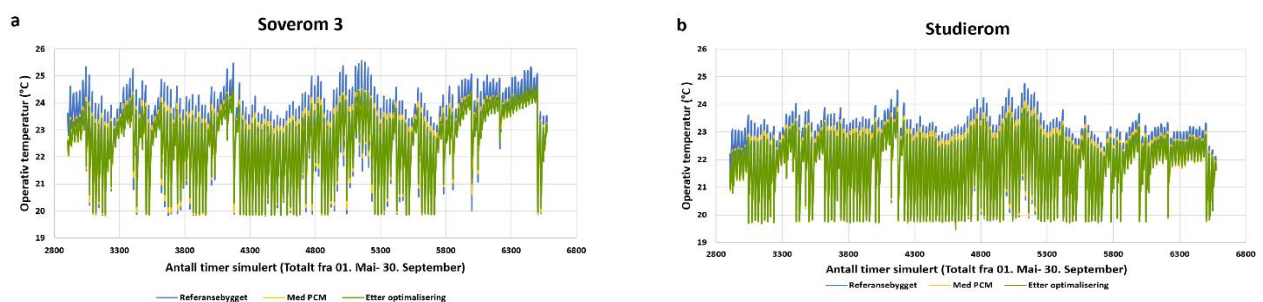
4.2 Bio-Q25 i Oslo

Bio-Q25 får tilfredsstilt kravet med å ha mindre enn 50 timer over 26 °C. Se på figur 30. To spesielt interessante funn ved Bio-Q25 er at høyere tykkelse (optimaliseringsresultat) gir ikke noe særlig utslag i resultatet. Med optimalisering hjelper kun 0,2 °C uavhengig av hvilken sone det er. Se figur 28 og 29. Av å ha opp mot 8 mm mer i tykkelse for Bio-Q25. Et annet funn er at Bio-Q25 fungerer dårlig i taket. Q25 opptrer bedre med både vegger og tak i loftstua, men det anbefales å benytte Q25 i veggene, da det gir et akseptabelt resultat for samtlige soner. Temperatur som blir redusert i loftstua er 1,8 °C for både vegger og tak. Kun vegger for loftstua reduserer 1,3 °C. Det er derfor ikke verdt å ha Bio-Q25 i både vegg og tak, da temperaturen faller ytterligere 0,5 °C fordi temperaturen ikke er kritisk lenger iht. for høye temperaturer med hensyn til antall timer over 26 °C, når Bio-Q25 plasseres på veggene. Av figur 30 og 31 illustreres det at optimaliseringen for tykkelsen har svært lite å si. Det kan sees med endringen fra gul til grønn graf, som har en liten endring. De to mindre kritiske sonene i figur 31, viser ingen søyler for verken Bio-Q25 eller optimalisering, fordi Bio-Q25 gir null timer over 25 °C. Ikke nødvendig å optimalisere tykkelse for Bio-Q25. Det er mye av Bio-Q25 til omtrent ingen reduksjon av temperatur.

4.2.1 Bio-Q25 på vegger og tak

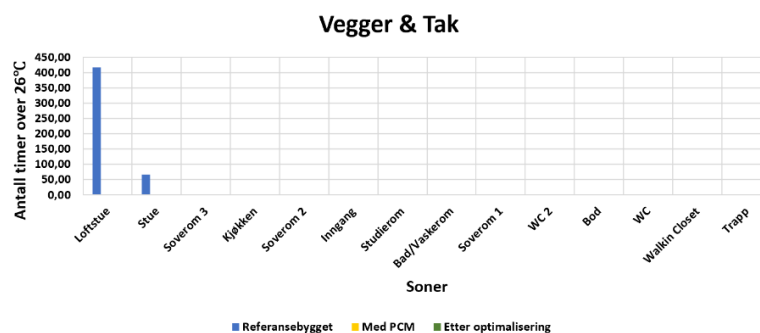


Figur 28 - Loftstue (a) og Stue (b)

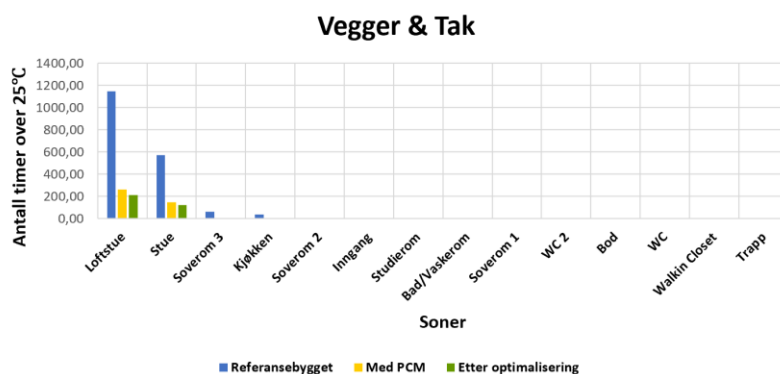


Figur 29 - Soverom 3 (a) og studierom (b)

For å vise soner sammenliknet med referansebygget, med PCM og etter optimalisert er det skissert diagrammer for antall timer over både 26 og 25 °C. Ved soverom 3 er det 76,4 timer og ved kjøkkenet 27,5 timer over 25 °C, nøyaktige verdier er hentet fra IDA ICE. Det er ingen timer over 26 °C i disse to sonene. I loftstuen som er den mest kritiske sonen går det pga. Bio-Q25 timer fra 1180 til 250 timer. Derimot fra å øke tykkelsen på materialet fra 3 mm til 10 mm, så er det kun 30 timer mindre enn det er over 25 °C. Det er absolutt ikke en eneste time over 26 °C ved bruken av Bio-Q25. Det er interessant hvor godt 3 mm på vegger og tak opptrer.



Figur 30 - Antall timer over 26 °C med Bio-Q25



Figur 31 - Antall timer over 25 °C med Bio-Q25

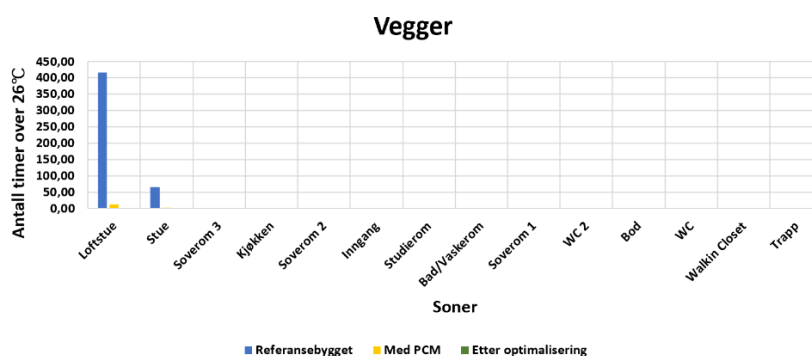
Tabell 11 - Maksimal temperaturreduksjon for Bio-Q25

Sone	Temperaturrendring	Reduksjon	Egnet periode for bruk	Anbefalt å optimalisere iht. tykkelse
Loftstue	2,3 °C	9,2 %	01.05-30.09 (15.07-30.07)	Nei
Stue	1,0 °C	4,4 %	01.05-01.07 (01.05-15.05)	Nei
Soverom 3	1,2 °C	4,9 %	01.05-20.08 (15.07-22.07)	Nei
Studierom	0,8 °C	3,6 %	01.05-01.09 (10.07-25.07)	Nei

4.2.2 Bio-Q25 på vegger

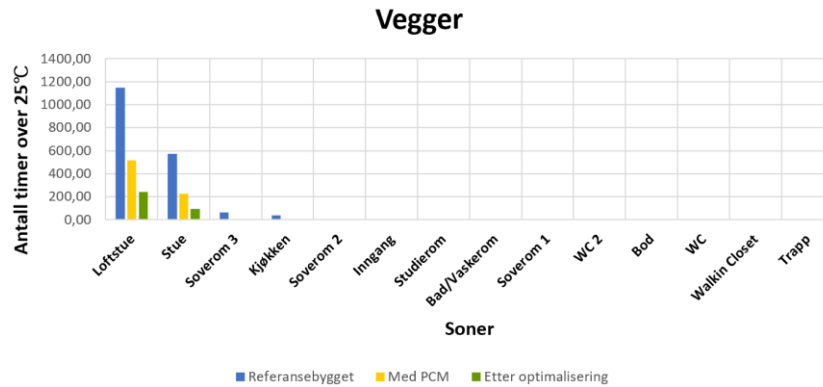
I vedlegg H1-H4 er det resultater for temperaturrendringer for Bio-Q25 kun i vegger. Resultatene viser til at det er egnet og kun benytte vegger for Bio-Q25 sin gode evne til å minske temperaturer. Det anbefales ikke å optimalisere Bio-Q25 noen gang for tykkelsen, da 3 mm tykkelse er godt egnet for temperaturreduksjon og sammenliknet med optimaliseringene blir temperaturen redusert ca. 0,3 °C. Se vedlegg H1, H2, H3 og H4.

For å vise soner sammenliknet med referansebygget, med PCM og etter optimalisering, er det skissert søylediagrammer for antall timer som overskrider 26 og 25 °C. Resultatene under viser at det ikke er nødvendig å sette Bio-Q25 i taket og på himlingene, da de forrige søylediagrammene i figur 30 og 31 ikke gir særlig bedre resultater enn og kun ha Bio-Q25 på vegger. Se på gule søyler i figuren under, figur 32.



Figur 32 - Antall timer over 26 °C med Bio-Q25

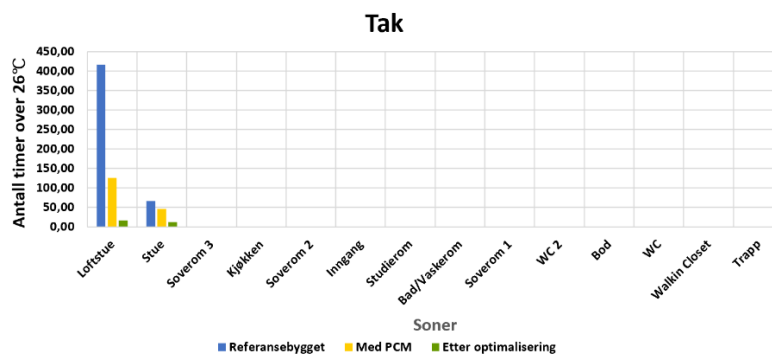
Figuren under viser soner som får en høyere temperatur enn 25 °C. Dette er tilfellet kun for loftstue, stue, soverom 3 og kjøkkenet. Det er kun behov for Bio-Q25 i loftstue og stue, dermed ikke optimalisere fordi gapen mellom gule og grønne søyler er mye mindre enn det prisen vil være for Bio-Q25 3 mm mot Bio-Q25 10 mm på alle vegger [12].



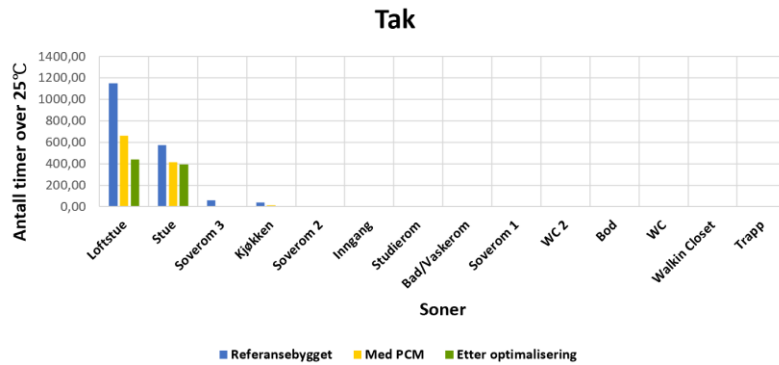
Figur 33 - Antall timer over 25 °C med Bio-Q25

4.2.3 Bio-Q25 i tak

Resultatgrafene er i vedlegg H5-H8 og illustrerer soner sammenliknet med referansebygget, med PCM og etter optimalisering er det skissert diagrammer for både 26 og 25 °C. For loftstue i vedlegg H5 i tak hjelper, men ikke i nærheten av slik det er kun på vegger, 0,5 °C i en sone av 4 soner som er vurdert er ikke godt nok. Dersom temperaturene hadde vært veldig høye i loftstuen og valget står mellom å ha mer tykkelse på veggene eller Bio-Q25 i både vegger og tak, anbefales å prioritere Bio-Q25 på både vegger og tak fremfor høyere tykkelse.



Figur 34 - Antall timer over 26 °C med Bio-Q25



Figur 35 - Antall timer over 25 °C med Bio-Q25

Tabell 12 - Egnert plassering og tykkelse for hver sone ved Bio-Q25

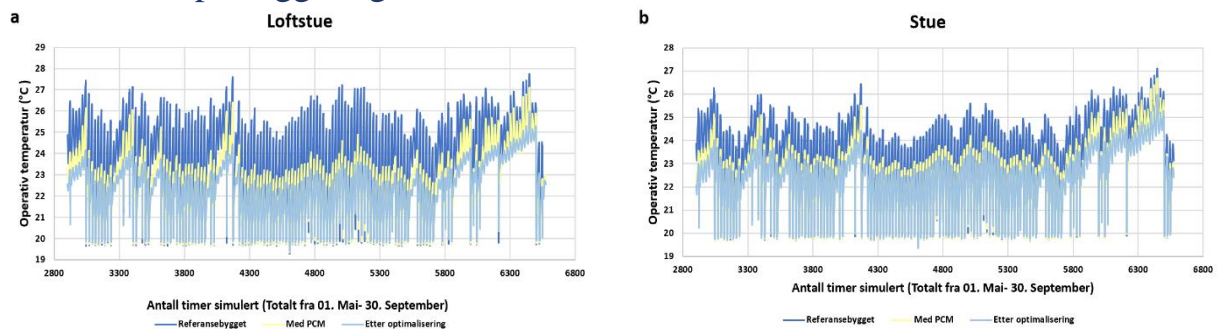
Sone	Sted i sonen	Figur/vedlegg	Krav oppfylt	Egnert tykkelse
Loftstue	Vegger	H1	Ja	3 mm
Stue	Vegger	H2	Ja	3 mm
Soverom 3	Vegger	H3	Ja	3 mm
Studierom	Vegger	H4	Ja	3 mm

4.3 RT24 i Oslo

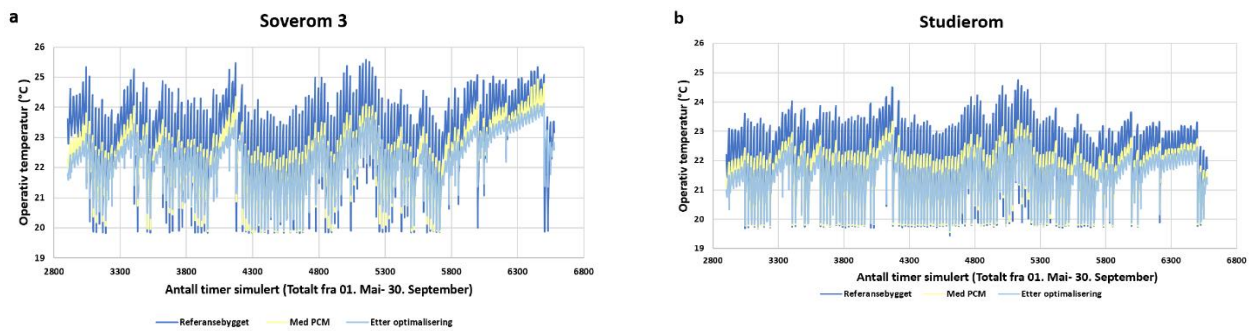
Funn i RT24 for Oslo er spesielt interessante, da PCM på kun 3 mm utgjør en temperatur reduksjon på 11,5 % for operative temperaturer i perioden fra 10. juni til 10. august. Noe som er illustrert i figur 36 i delkapittelet, det er i loftstuen for både vegger og tak. RT24 viser at tykkelse fra 3 mm opp mot 10 mm, altså etter endt optimalisering utgjør en liten endring, denne endringen på 7 mm tilsvarer 0,9 °C i reduksjon for loftstuen, som er den mest kritiske sonen. Det er ikke lønnsomt å optimalisere pga. tykkelsen, i likhet med andre materialer.

RT24 er det materialet som er mest overbevisende for klimaet i Oslo. Materialet reagerer utmerket godt på veggene og det er ikke behov for å ha vekslende resultater for hva som er egnert for enhver sone. Grunnen til at RT24 er godt egnert for eneboligen kommer av egenskapene for smelting og størkning. Det er sannsynligvis lagret over lengre tid og trenger ikke spesielt lave temperaturer for å størkne. I tillegg har RT24 høyere spesifikk varmekapasitet enn Gyproc som omtrent har samme smeltningstemperatur.

4.3.1 RT24 på vegger og tak

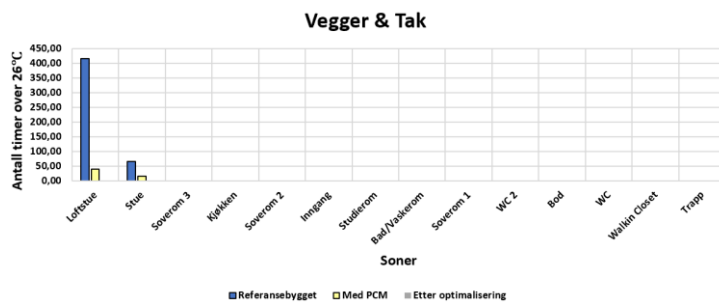


Figur 36 - Loftstue og stue

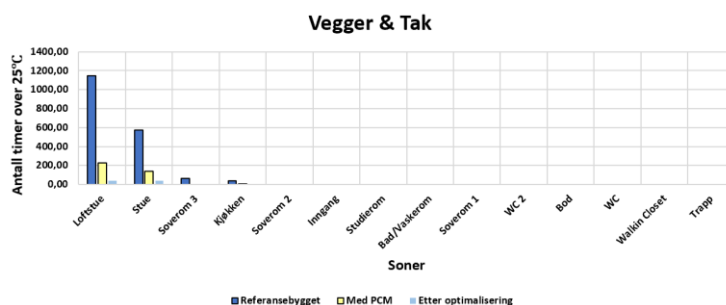


Figur 37 - Soverom 3 og studierom

For å vise ulike soner sammenliknet med referansebygget, med PCM og optimalisering er det skissert søylediagrammer for både 25 og 26 °C med antall timer over disse nevnte temperaturene. Se på figur 38 og 39 for å få en tydelig oversikt.



Figur 38 - Antall timer over 26 °C med RT24 og optimalisering vegger og tak



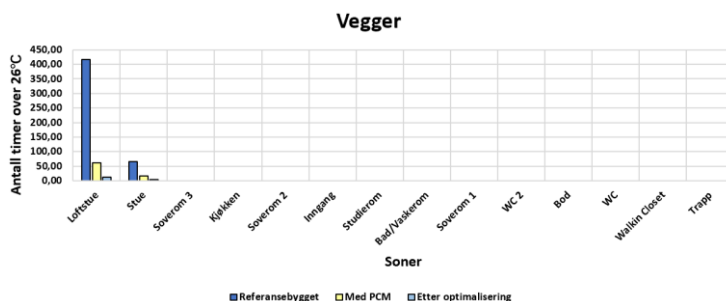
Figur 39 - Antall timer over 25 °C med RT24 og optimalisering vegger og tak

Tabell 13 - Maksimal temperaturreduksjon for RT24

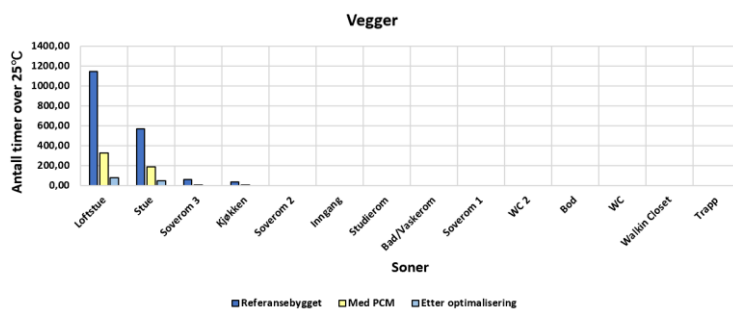
Sone	Temperaturendring	Reduksjon	Egnet periode for bruk (best)	Anbefalt å optimalisere iht. tykkelse
Loftstue	2,7°C	11,5 %	01.05-30.09 (10.06-10.08)	Nei
Stue	1,5°C	4,4 %	01.05-01.07 (01.05-15.05)	Nei
Soverom 3	1,2°C	4,9 %	01.05-20.08 (15.07-22.07)	Nei
Studierom	0,8°C	3,6 %	01.05-01.09 (10.07-25.07)	Nei

4.3.2 RT24 på vegger

Resultater av temperaturendringen for kun på vegger er satt opp i vedlegg I1-4. Det er veldig gode og mest egnede resultater pga. 1 °C lavere smeltetemperatur enn Bio-Q25. I tillegg har materialet større varmekapasitet og størkner tidligere. Temperaturforskjellene er godt egnet og er ikke mer enn nødvendige, slik at materialet blir nødt til å hente inn temperaturene. Antall timer over 25 °C for loftstuen blir redusert betraktelig. Se på vedlegg I, hvor I1 - Loftstue, I2 – Stua, I3 – Soverom 3, I4 – Studierommet.



Figur 40 - Antall timer over 26 °C med RT24 og optimalisering, vegger

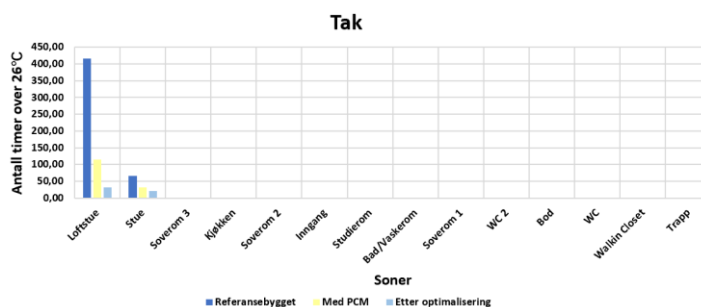


Figur 41 - Antall timer over 25 °C med RT24 og optimalisering, vegger

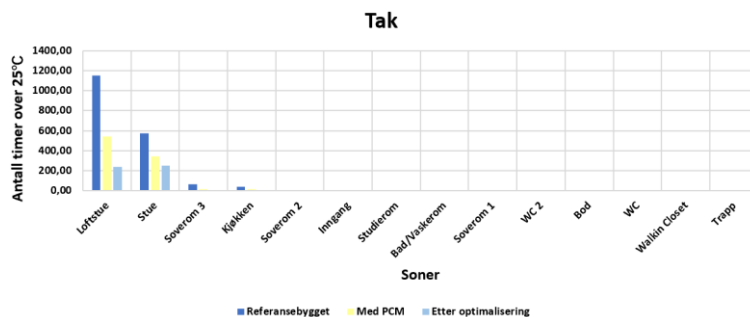
4.3.3 RT24 i tak

Resultater er tydeliggjort i vedlegg I5-8. Nummer 8 for studierom viser at RT24 er mer solid for studierommet i tak enn de resterende sonene. Dette kan være pga. nord-fasaden og konstruksjonen av vinduet og rommet iht. hvordan solinnstrålingen inntreffer.

Figurene under viser at antall timer over 26 °C og over 25 °C ikke egner seg med tanke på RT24 kun i tak. Figur 44 viser at det fortsatt er 114 timer som overskrider 26 °C i kun loftstua og 32 i stua. Skal det benyttes RT24 i tak, bør det optimaliseres. Anbefales ikke pga. mengde RT24.



Figur 42 - Antall timer over 26 °C med RT24 og optimalisering, tak



Figur 43 - Antall timer over 25 °C med RT24 og optimalisering, tak

Tabell 14 - Egned plassering og tykkelse for hver sone ved RT24

Sone	Sted i sonen	Vedleggnummer	Krav oppfylt	Egned tykkelse
Loftstue	Vegger	I.1	Ja	3 mm
Stue	Vegger	I.2	Ja	3 mm
Soverom 3	Vegger	I.3	Ja	3 mm
Studierom	Vegger	I.4	Ja	3 mm

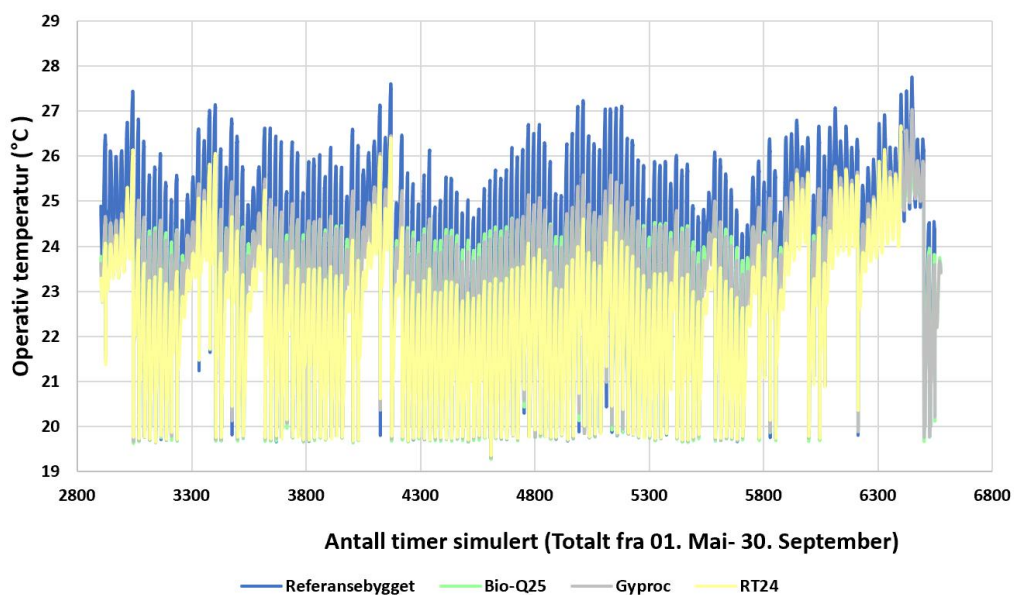
4.4 Sammenlikning i Oslo

PCM sine egenskaper er beskrevet i kapittel 3.2 og materialet får ned antall timer med overtemperatur, som har vært et viktig mål med avhandlingen. I figurene under vises det hvilken type PCM av som får ned temperaturene mest. Fargene er satt når det gjelder hvordan materialet er i realitetene og figurene over. Resultatene viser at RT24 er det beste materialet med tanke på å få ned temperaturene i passivhusbygget i Oslo-klimaet med settpunktstemperaturer fra 19-26 °C.

Det har vært avgjørende å vise de tilfellene av resultatene over som tar hensyn til både vegger og tak kombinert fordi det gir de beste resultatene, sett bort i fra kostnad. Samtidig at det sees på resultater uten optimalisering. (Dette fordi materialer og soner gir ulikt utgangspunkt for hva som er mest egnet etter optimaliseringen, for eksempel er tykkelsen som er best for Gyproc lik 10 mm for vegger og tak, men 3 mm for himling. Tykkelsene for Bio-Q25 er 8 mm for yttervegg, 7 mm for innervegg og himling og 6 mm for tak). (Se på tabell 8 for detaljer). For å ha et likt utgangspunkt og dermed mulighet for å sammenlikne disse materialene mot hverandre har alle tilfellene for PCM-sammenlikningen i figurene under vært på 3 mm og alle resultater sammenliknet iht. samme sted i sonen.

Et annet spennende funn ved resultatene er at Bio-Q25 og Gyproc gir tilnærmet like resultater i de to mest kritiske sonene (loftstue og stue). Avviket er såpass likt at resultatene blir tilnærmet like. Selv om dette er tilfellet, så er Bio-Q25 mer egnet iht. dens referansebygg fordi det minsker antall timer med overtemperatur. For en illustrasjon se på figur 22 og figur 23 (Gyproc), sammenliknet med figur 30 og figur 31 (Bio-Q25). Hvor de sistnevnte to figurene gir betydelig mye bedre resultater, for både loftstua og stua.

Det er illustrert alle fire soner, hvor det sammenliknes referansesonen med alle tre PCMe i sonen. Under figurene er det verdier i tabell for å enklere drøfte hva som er redegjort i figuren. Dette gjelder for figur 44-47, som viser loftstue, stue, soverom 3 og studierommet.



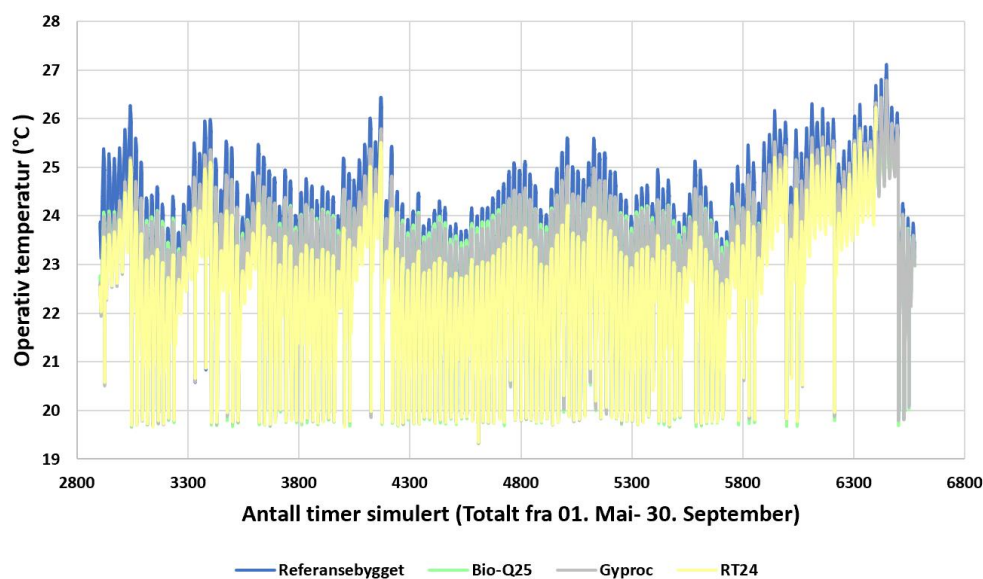
Figur 44 - Sammenlikning av PCM i loftstuen i Oslo, 3 mm tykkelse

Ut ifra å se på resultater i Excel og tatt inn store mengder data kommer det frem resultater i tabellen nedenfor. Det er rangering på hver materialet iht. referansebygget, hvor første plassen er mest egnet for bruk i Oslo. Videre er det reduksjon i simuleringsperioden fra 01.06 til 30.07 som er den perioden hvor materialene egner seg mest. Der etter om materialet er egnet for bruk, eller ikke i referansebygget i Oslo.

Tabell 15 - Rangering av PCMe i loftstua

Type PCM	Rangering	Temperaturforskjell	Prosent	Egnet for bruk
RT24	1	2,0 °C	7 %	Ja
Gyproc	3	1,5 °C	5,5 %	Ja
Bio-Q25	2	1,5 °C	5,5 %	Ja

Figur 45 illustrerer en sammenlikning av referansebygget, Gyproc, Bio-Q25 og RT24 i stua. Dette gjelder for en tykkelse på 3 mm både på veggene og i taket.



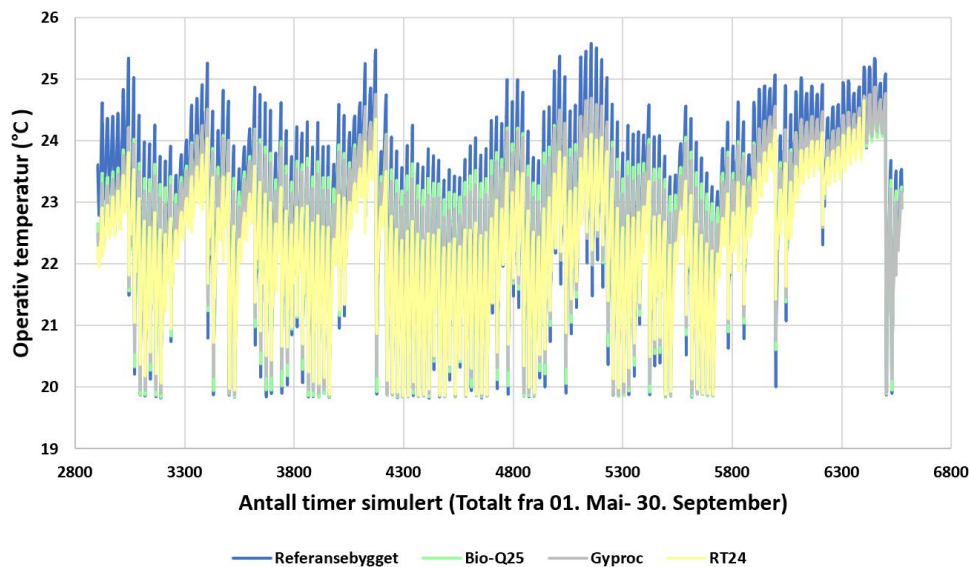
Figur 45 - Sammenlikning av PCM i stua i Oslo, 3 mm tykkelse

Tabellen viser rangering av de ulike type PCMene, videre drøftes det at temperaturreduksjonen for enhver PCM er betydelig dårligere i stua enn i loftstua og soverommet, også omtrent likt som i studierommet. En forklaring er at temperatursvingningene i stua er mindre, slik at materialet ikke størkner på samme måte som i andre soner. Temperatursvingningene kan være mindre begrunnet av antall personer, glassareal og utstyret i stua.

Tabell 16 - Rangering av PCMene i Stua

Type PCM	Rangering	Temperaturforskjell	Prosent	Egnet til bruk
RT24	1	1,1 °C	4 %	Ja
Gyproc	2	0,4 °C	1,5 %	Nei
Bio-Q25	3	0,4 °C	1,5 %	Nei

Figur 46 viser en sammenlikning av referansebygget, Gyproc, Bio-Q25 og RT24 i soverom 3. Dette gjelder for en tykkelse på 3 mm både på veggene og i taket.



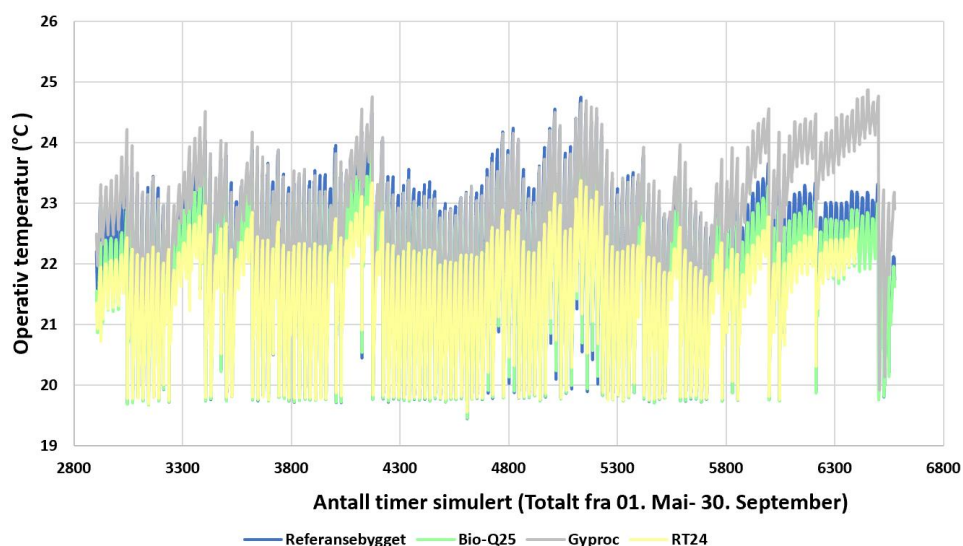
Figur 46 - Sammenlikning av PCM i soverom 3 i Oslo, 3 mm tykkelse

Tabell 17 viser rangering av de ulike type PCMene, videre klarlegges det at temperaturreduksjonen for enhver PCM er betydelig, spesielt for RT24. Egnert periode for bruken av Gyproc i soverommet er fra 01. mai til 16. juni.

Tabell 17 - Rangering av PCMene i Soverom 3

Type PCM	Rangering	Temperaturforskjell	Prosent	Egnert til bruk
RT24	1	1,5 °C	5 %	Ja
Gyproc	2	0,8 °C	3 %	01.05-16.06
Bio-Q25	3	0,6 °C	2 %	Ja

Figur 47 viser en sammenlikning av referansebygget, Gyproc, Bio-Q25 og RT24 i studierommet. Studierommet ligger som tidligere nevnt på nordøst-fasaden. Pga. lite solmengde bør det ikke være en prioritering å legge PCM i denne sonen, dersom det skal være et stort behov og beboere vanligvis synes det er veldig varmt; anbefales det å benytte seg av materialet kun i taket og det anbefales på det sterkeste å benytte Gyproc. Sammenlikningen gjelder for materialer både på vegger og i tak, derfor gir RT24 bedre resultat. For å se på resultater for materialer kun i tak, se på vedlegg G8 – Gyproc i tak. Andre materialer enn Gyproc gir ikke resultater kun i tak, kanskje fordi rommet ikke får høye nok temperaturer for at materialet skal kunne smelte og selv om RT24 har samme smeltepunkt har den høyere spesifikk varmekapasitet. Se tabell 4 og vedlegg C-E.



Figur 47 - Sammenlikning av PCM i studierom i Oslo, 3 mm

Tabellen nedenfor viser soner med vekslende resultater som er hentet fra figuren over. For Bio-Q25 reagerer ikke materialet i studierommet, både i vegger og tak. Dette er fordi temperaturene i sonen ikke når opp til det stadiet hvor materialet vanligvis smelter og blir lagret for latent varme.

Tabell 18 - Rangering av PCMe i Studierommet

Type PCM	Rangering	Temperaturforskjell	Prosent	Egnet til bruk
RT24	1	1,5 °C	4 %	01.05-26.08
Gyproc	3	0,6 °C	2 %	Ja, i tak 01.05-01.08
Bio-Q25	2	0,4 °C	1 %	Anbefales ikke

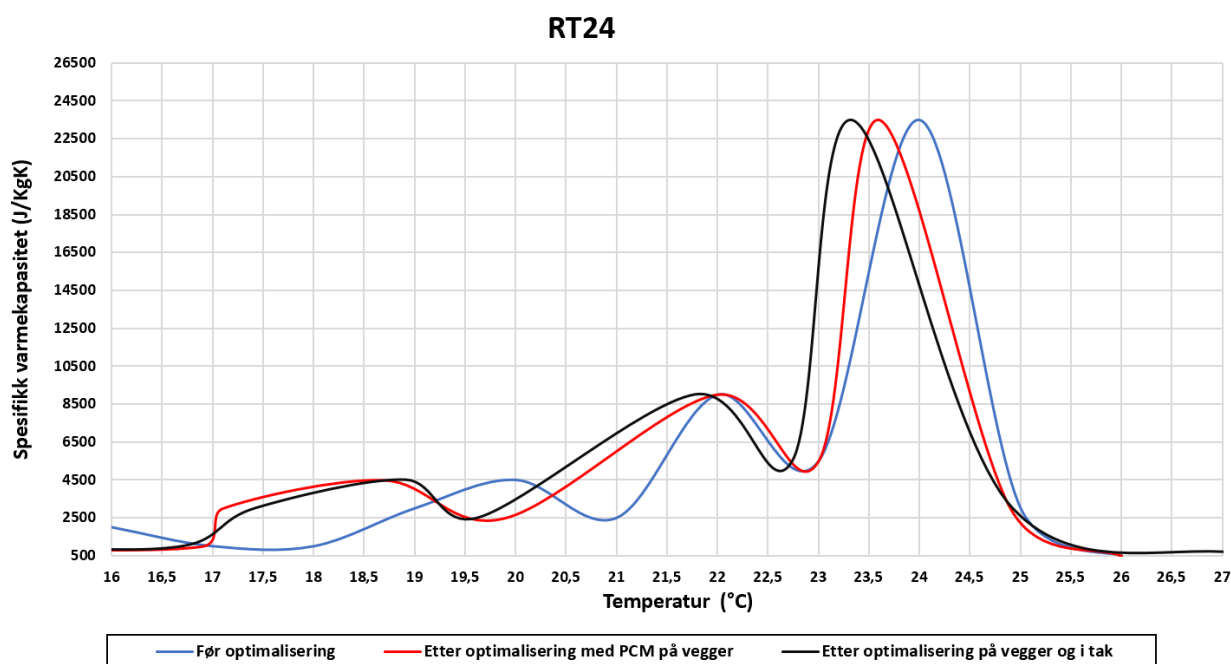
Sammenlikningen mellom materialene gir best temperaturreduksjon for RT24. For taket i nordøst fasaden er Gyproc mest egnet. Dette kan sees i vedlegg G8 mot H8 og I8.

Et interessant funn er at PCM ikke bidrar med temperaturreduksjon i det hele tatt for taket i første etasje, altså for stua. Verken Gyproc, RT24 og heller ikke Bio-Q25 selv om det kan virke slik i grafen H6 (Bio-Q25). Det kan ha noe med arealstørrelse og mest med temperatursvingninger å gjøre.

For å få redusert temperaturen mest mulig egner det seg å benytte RT24 som PCM i Oslo for PCM på vegger og tak. For å få redusert temperaturen kun i studierommet, dersom det skal bli et behov for PCM i studierommet (ikke kritiske temperaturer) er Gyproc i tak mest egnet, med tanke på mengde materialet og det å få temperatur ned.

4.5 Spesifikk varmekapasitet

I dette delkapittelet vises optimalisering av smeltepunkttemperatur etter endret tykkelse med hensyn til den spesifikke varmekapasiteten. Materialet som er valgt å bli disponibelt er RT24, fordi det gir de mest egnede resultater. Figuren under viser at materialet smelter ved 24 °C før optimalisering. Etter optimalisering med PCM på vegger forflytter verdien seg til 23,5 °C og for både vegger og i tak til 23 °C. Grunnen til at RT24 er valgt er fordi det er materialet som gir mest temperaturreduksjon i samtlige byer.



Figur 48 - Endring av smeltetemperatur og Cp pga. optimalisering

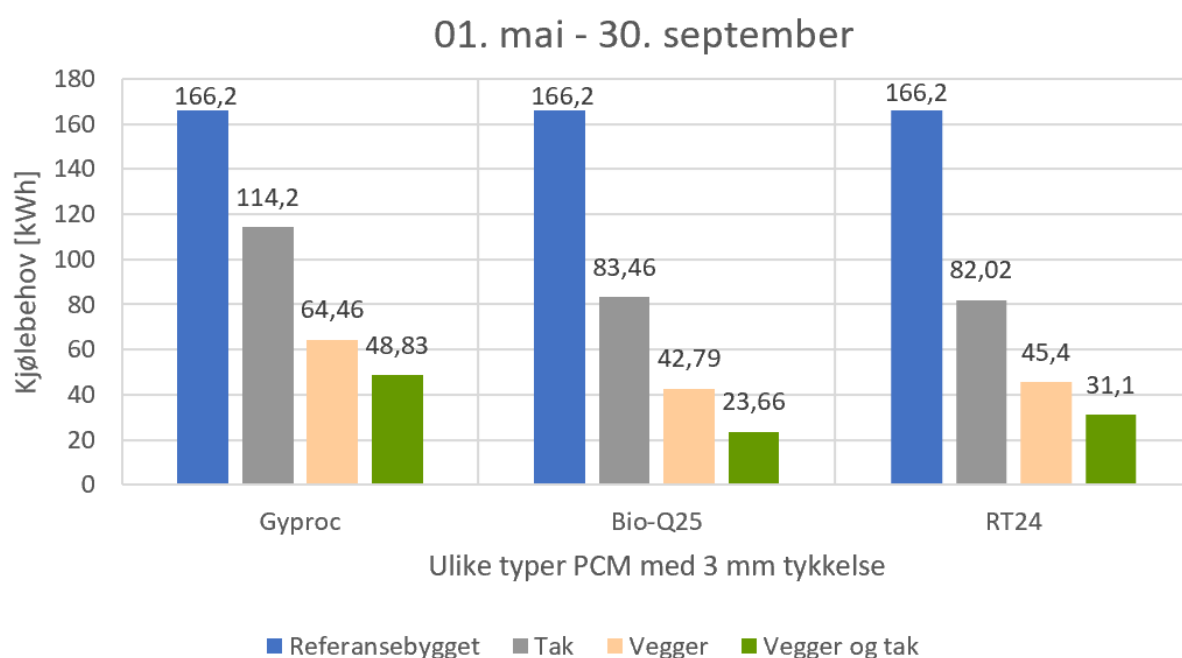
4.6 Lokal kjøling i eneboligen

Resultatet av kjølebehovet viser at kjølebehovet går betraktelig ned både i tak, vegger og for PCM på begge steder. Her er det et veldig interessant funn som viser at kjølebehovet ikke har en sammenheng med hvilken PCM som får ned den operative temperaturen til eneboligen mest. Den PCMen som egner seg mest for å redusere kjølebehovet til eneboligen i Oslo for vegger, vegger og tak er Q25, for tak er det RT24 og det er ellers jevnt mellom disse to materialene. Gyproc setter ned kjølebehovet 70 %, Bio-Q25 85 % og RT24 81 % for vegger og tak. Det viser at det litt mindre effektive materialet også er utrolig effektivt. Se tabell 19.

De grå søylene viser hvor mye kjølingen er redusert for boligen med PCM i taket. Den beige søylen viser resultatet ved vegger og grønn for både vegger og tak. Resultatet av tilfellene er disponible i figuren og tabellen under.

Tabell 19 - Reduksjon av kjølebehov ift. referansebygget

Plassering	PCM	Kjølebehov [kWh]	Reduksjon ift. Referansebygg [%]
Vegger og tak	Gyproc	48,83	70,62
	Bio-Q25	23,66	85,76
	RT24	31,1	81,29
Vegger	Gyproc	64,46	61,22
	Bio-Q25	42,79	74,25
	RT24	45,4	72,68
Tak	Gyproc	114,2	31,28
	Bio-Q25	83,46	49,78
	RT24	82,02	50,64



Figur 49 - Typer PCM med 3 mm tykkelse, kjølebehov

Ut ifra resultater for kjølebehov både i figur 49 og i tabell 19 kommer det frem at for å få redusert kjølebehovet er det best å plassere PCM både i vegger og tak, men på basis av mengde PCM vil det være økonomisk gunstig å sette PCM på veggene [12]. Fordi resultater for kun vegger og resultatet for vegger og tak utgjør et såpass lite avvik for å oppnå et godt resultat med antall prosent redusert kjølebehov. Se tabell 19 og figur 49.

To veldig interessante funn for alle PCM er at Bio-Q25 som har størst spesifikk varmekapasitet og høyere smeltetemperatur gir størst reduksjon av kjølebehovet. Størst reduksjon av kjølebehov, kan videre bety bedre utnyttelse av materialet fordi det blir høyere økonomisk besparelse. Det skal sies at alle tre materialene er godt egnet for å få ned kjølebehovet i en enebolig på 156 m². Det anbefales å benytte PCM.

4.7 Klimaforhold

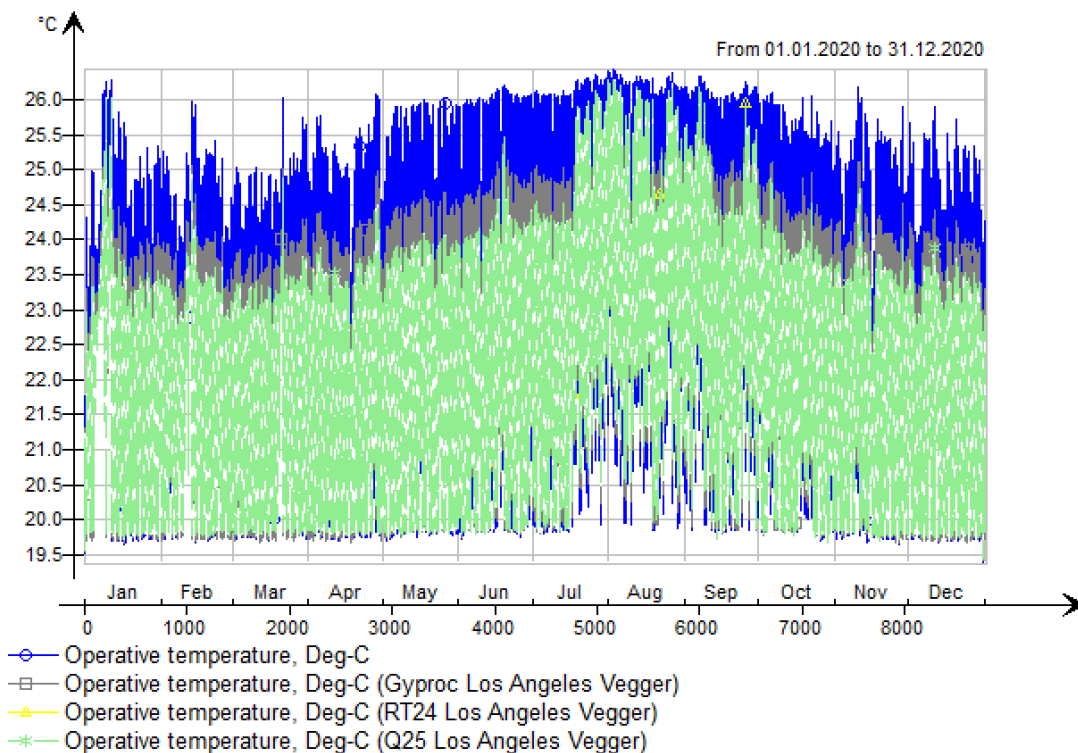
Dette delkapittelet gir en pekepinn på hvordan materialene hjelper og hvor lenge i løpet av året de vil gi temperaturreduksjon med samme bygg og konsept som i Oslo. Dette er noe urealistisk, da det er varierte materialer som blir benyttet for hvordan et bygg bygges sett ut fra hva som er tilgjengelige i de respektive byene, det er krav fra sted til sted og det er ulikt antall gjennomsnittlig familiemedlemmer. Det forventes ikke at Los Angeles, Cape Town og Singapore følger NS3700 i USA, Sør-Afrika og Singapore. Inspirasjon for sammenlikning av PCM i varierte verdensdeler ble anbefalt fra veiledere, med utfordring om og ikke påvirke komfortnivået [38, 39, 40].

Sammenlikningen går med eksakt samme tykkelse som er simulert i Oslo, altså 3 mm. Det er valgt samme settpunktstemperaturer og all input er identisk. Resultatet varierer fra sted til sted, hvor godt materialene virker og i hvor lang periode i løpet av året materialet vil fungere optimalt. Det er alltid RT24 som er mest gunstig. Noe felles for alle resultatene er at materialet med disse settpunktene som er benyttet i Norge får utfordringen med å størkne, når klimaet er på sitt varmeste. Det skal ikke være slik, fordi PCM skal helst være mest effektivt når det er sommer. Slikt skjer i tilfellene fordi det er benyttet samme utgangspunkt som i Oslo. Fortsatt er PCM mer egnet både i Cape Town og Los Angeles, tenk hvor stort potensial det er, dersom hver av disse byene benytter seg av egne optimaliseringer. Se på figur 59. Materialene smelter bedre om sommeren, dermed er det helt avgjørende å få mer kjøling i boligen, da det er sommer i de valgte klima og det trengs at materialet klarer å størkne ved høye temperaturer. Det analyseres også i løsningen på hvorfor PCM er minst tilegnet hvor det er varmest i løpet av hele året, Singapore. Derfor er det seinere optimalisert og gjort andre tiltak for Singapore, som har et klima nærme ekvator, resultat fra essensielle tiltak kan sees i figur 16-19 i kapittel 3.9.2, 53-54 og det endelige resultatet av temperaturreduksjon etter alle tiltak er beskrevet i figur 55 i kapittel 4.8.

I figurene 50-52 under, kan det vurderes hver PCM og referansebygget i alle byer er identisk med bygget i Oslo. Figur 52 gir forklaring på hvorfor tiltakene ble gjort i Singapore.

4.7.1 PCM i Los Angeles

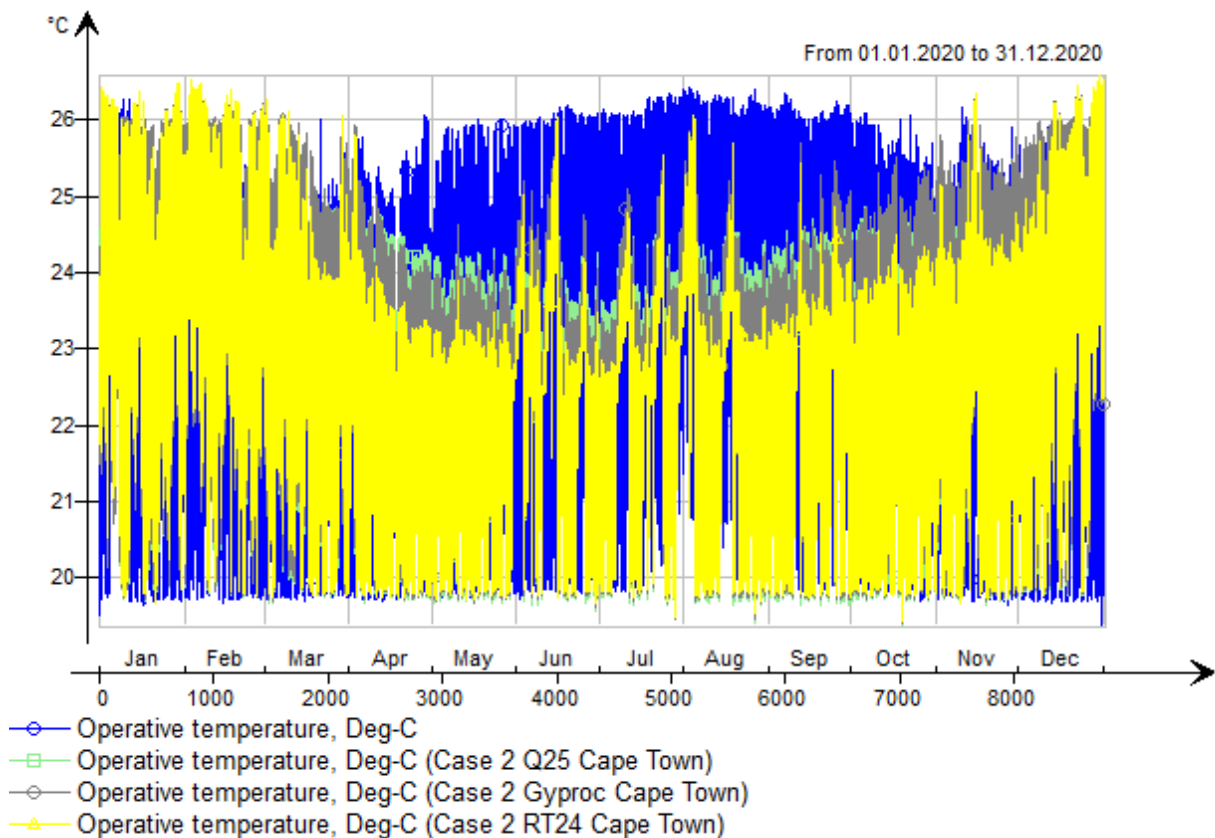
Figuren under viser temperaturvariasjonen i Los Angeles, hvor Q25 (grønne grafen) og RT24 (gult) er identiske hva angår referansebygget, på ca. 1,5 °C (derfor det ikke er mulig å se gul graf). Der etter er det ca. 1,2 °C mellom Gyproc (grå grafen) og referansebygget. Sommerperioden i Los Angeles er mellom juni-august slik det er i Oslo, men PCMen egner seg ikke i Los Angeles for bygget fra begynnelsen av juli til august. Dette er et resultat som ikke er overraskende, da det ikke blir lave nok temperaturer i denne perioden når det gjelder settpunktstemperaturer, solavskjermingsvinkler og tilluftstemperaturer. Hvis det undersøkes ut ifra grafen, skyldes dette at temperaturen om natten ikke blir lav nok, altså hjelper ikke vindusåpningen som den er i Oslo for Los Angeles, for juli måneden. Vinduet blir ikke åpnet, materialet blir ikke størknet og da vil ikke PCM kunne dra nytte av omgivelsene, som i Oslo ved lave temperaturer om nettene. Dette er tilfellet for samtlige materialer, alle gir eksakt samme resultat i denne perioden som er maksimal på 0,5 °C (ingen resultat). Et betydelig funn ved Los Angeles er som tidligere nevnt at PCMen funksjonerer omtrent gjennom hele året. Det vil også påvirke kjølebehovet gjennom et helt år. Det er essensielt, da resultatet vil garantert bli enda bedre ved optimaliseringer for byen og lavere settpunktstemperaturer.



Figur 50 - Temperatur med forskjellige materialer av eneboligen i Los Angeles, California, USA

4.7.2 PCM i Cape Town

I Cape Town med alle like forutsetninger er RT24 bedre enn Gyproc og til slutt Bio-Q25. Under perioden fra mai til august opptrer RT24 materialet opp mot 3 °C. Dette er helt fabelaktige resultater som tilsier at materialet på 3 mm tykkelse klarer å utgjøre en gap på 3 °C. En annen ting som er spennende å sammenlikne angående andre steder i verden er at det er vinterperioden i Cape Town, Sør-Afrika er mest egnet. Da sommeren i Sør-Afrika er fra november til januar. Dette skyldes for høye temperaturer, som ikke muliggjør det for materialet å størkne om sommeren. Dette er mulig å løse ved å ha lavere temperaturer på innsiden med for eksempel høyere luftmengder, lavere tilluftstemperatur og mindre sol inn ved hjelp av større vinkler på solavskjerming (se figur 53). Vindusåpningen hjelper ikke i løpet av sommeren slik tilfellet er i Los Angeles også. Dette resultatet viser at Oslo, Los Angeles og Cape Town gir samme type materialer i rekkefølgen av hva som reagerer som følge av smelte- og størknetemperaturer for ethvert material. Grunnen er temperatursvingningene i eneboligen.

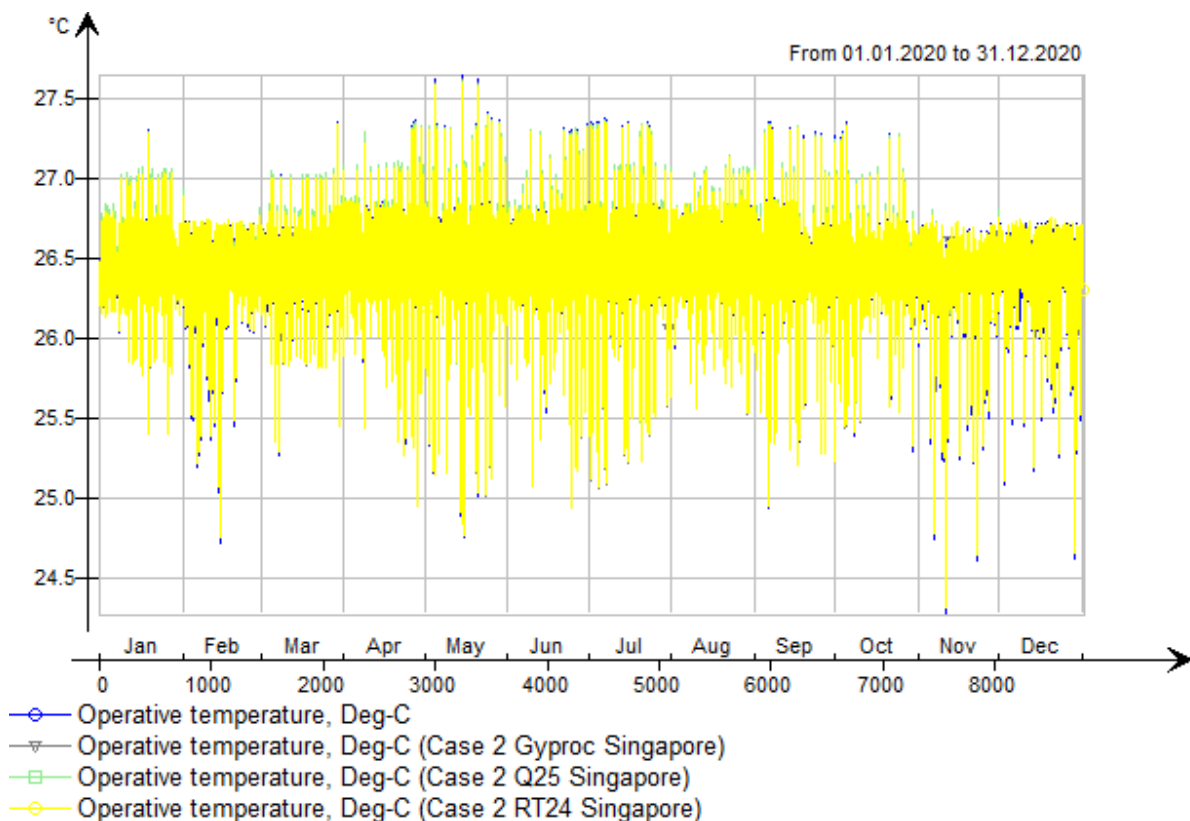


Figur 51 - Temperatur med forskjellige materialer av eneboligen i Cape Town, Sør-Afrika

4.7.3 PCM i Singapore

I Singapore hvor byggene både vil være tett og det er høye temperaturer, så er resultatene ikke tilstrekkelige. PCM synes ikke å opptre etter formålet. Det egner seg ikke å benytte PCM med konseptet som i Oslo. Dette fordi materialet ikke størkner pga. for høye temperaturer, samtidig jevne og høye temperaturer i boligen hele året. Det gir en situasjon hvor det er nødt til og gjøres andre tiltak. Det er dog gjort optimaliseringer for klimaet i Singapore, for å se hva som kan være riktig å få gjort for å ha sjans for at materialene skal være tilegnet bruk.

Nedenfor er resultater til identiske utgangspunktet for Singapore som for bygget i Oslo, Los Angeles og Cape Town. Resultater for referansebygget, Gyproc, Bio-Q25 og RT24 er identiske. Dette er pga. for høye temperaturer at materialer aldri størkner.



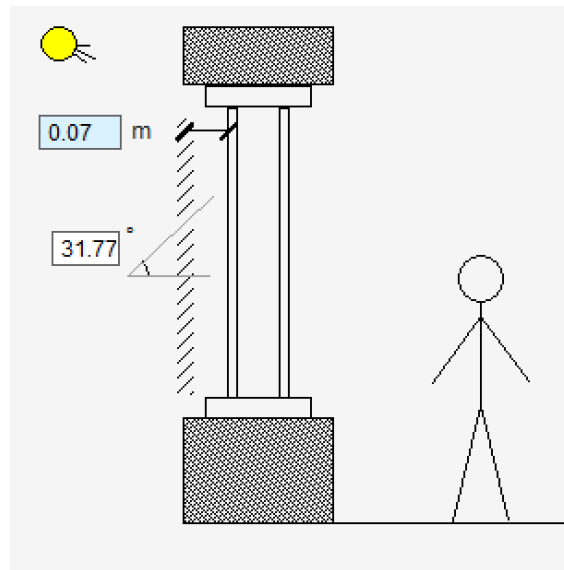
Figur 52 - Temperatur med varierte materialer av eneboligen i Singapore

For å finne en løsning er det blitt gjort 26 antall simuleringer og optimaliseringer for eneboligen i Singapore. Resultater av alle er ikke tatt med i avhandlingen pga. all data. Hvorfor bidrar ikke konseptet som er i Oslo til temperaturreduksjoner også i Singapore? Jo pga. for høye utendørs temperaturer. Singapore har en plassering nær ekvator og har flere soldager og dermed høyt operativ temperatur på innsiden. Endelig løsning for problemet har vært å endre vindusstrategi,

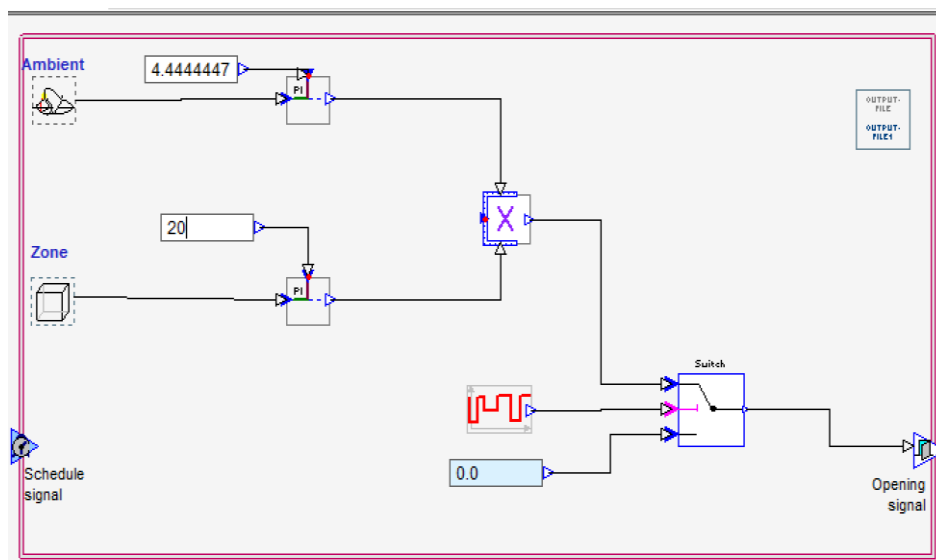
endre på solavskjermingsvinkelen etter optimalisering til $31,77^\circ$ og redusere settpunktstemperaturer. Innfriende resultater etter endringer er gjengitt i figur 53-55 under kapittel 4.8.

4.8 Singapore løsning

Fra optimaliseringen av vinduer i Singapore, kommer det frem resultater tydeliggjort i figurene under. Dette er resultater fra kapittel 3.9 som er gjort ifølge vedlegg M.



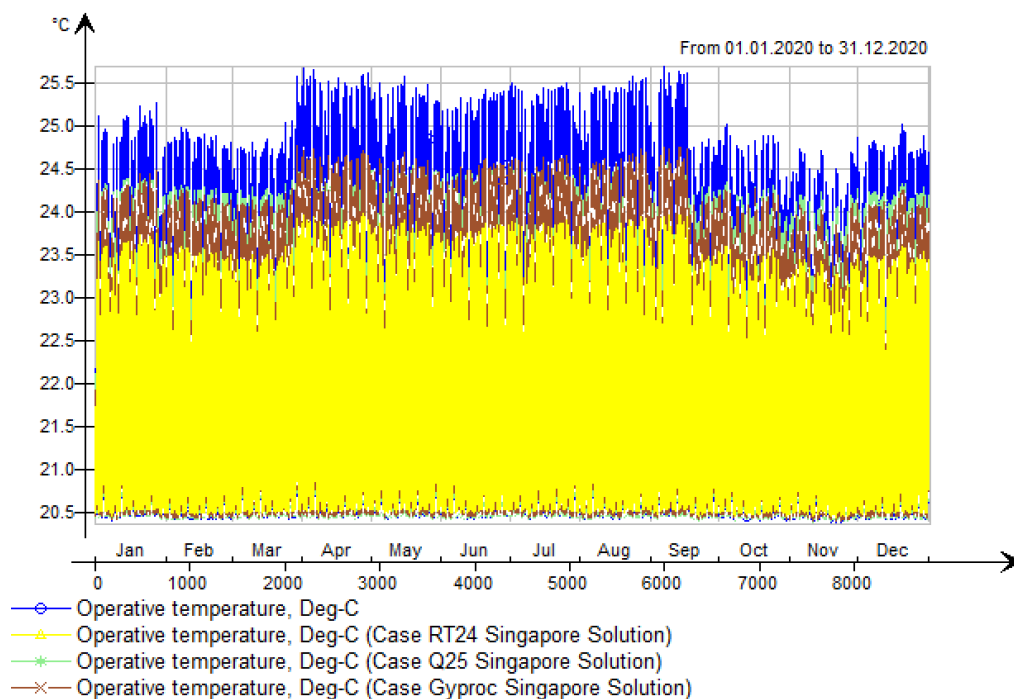
Figur 53 - Ny solavskjerming etter optimalisering



Figur 54 - Optimaliseringsresultat for vindusåpning

Inputdata for resultatet som er endret er gjengitt i kapittel 3.9 som skisserer ting som har blitt endret for å løse problemet ved altfor høye temperaturer i bygget. Det anbefales for enhver by

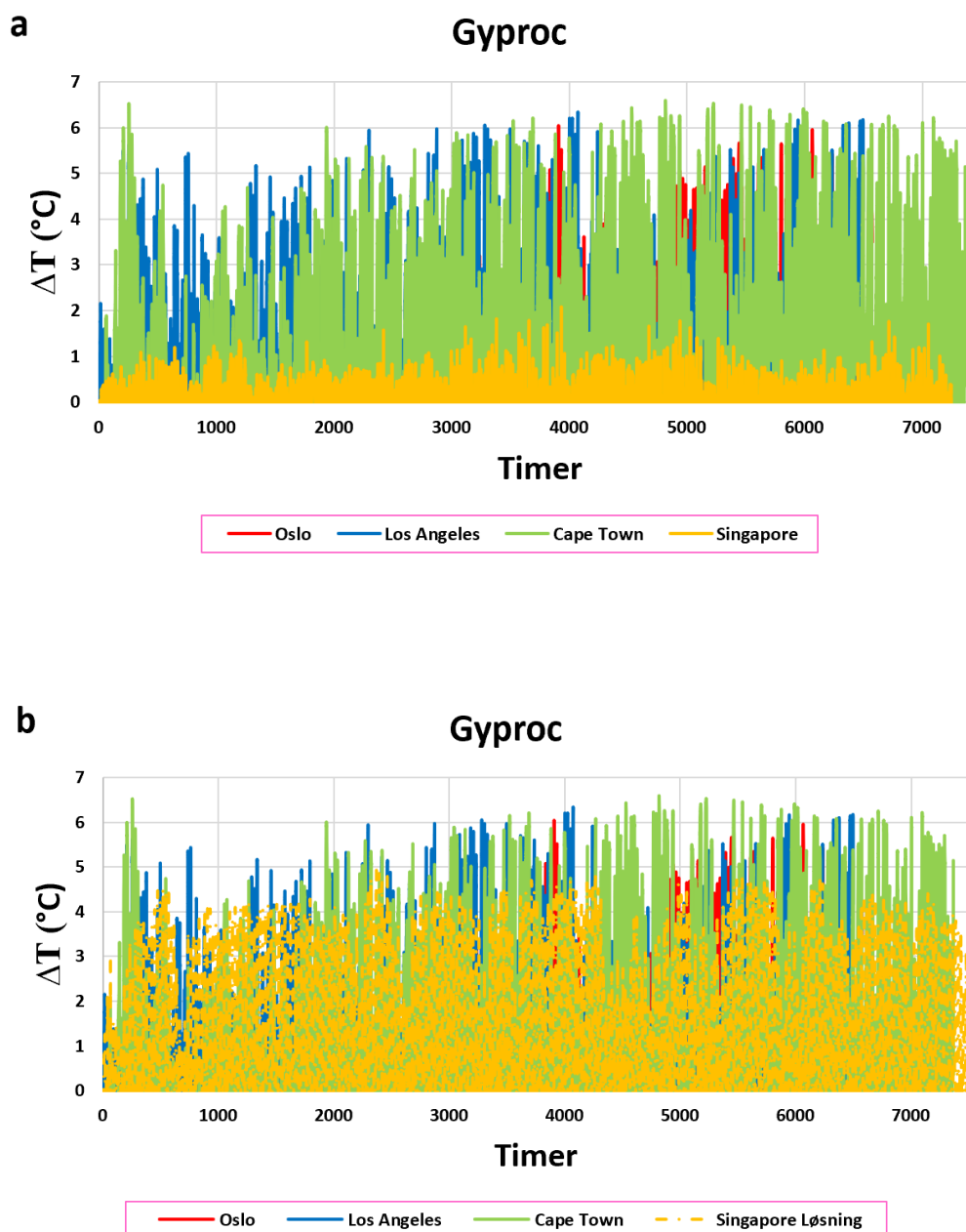
å gjøre optimaliseringer og endringer ift. hvordan klimaet er og hvordan det er muligheter for å benytte PCM etter best mulig evne. Variasjonen i et varmt klima året rundt som Singapore klarte å gå fra og ikke redusere operative temperaturer med PCM til å få temperaturen ned minst 2 °C fra perioden 15. mars til begynnelsen av september. Det er for det PCMet som er mest egnet, RT24. Fra optimaliseringen av vinduet kom det frem at vinduet alltid skal være stengt i Singapore for å kunne få lave nok temperaturer, se figur 54. Dette fordi det året rundt er for høye temperaturer for at det skal være mulig å få kjølt ned bygget om nettene, som det gjøres i Oslo. I tillegg er det blitt justert solavskjerming, etter resultat fra optimaliseringen. Vinkelen for solavskjermingen er endret fra 22° til 31,77°, illustrert i figur 53. Dette får ned temperaturene i boligen fordi det kommer mindre solmengde inn til referansebygget, noe som vil bidra for at temperaturene ikke forblir høye i boligen.



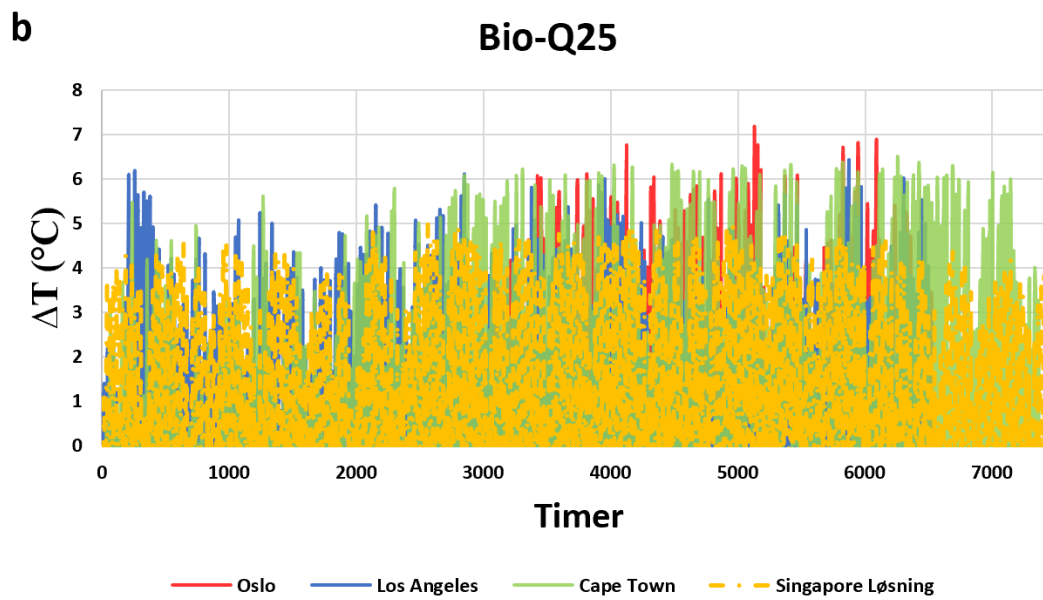
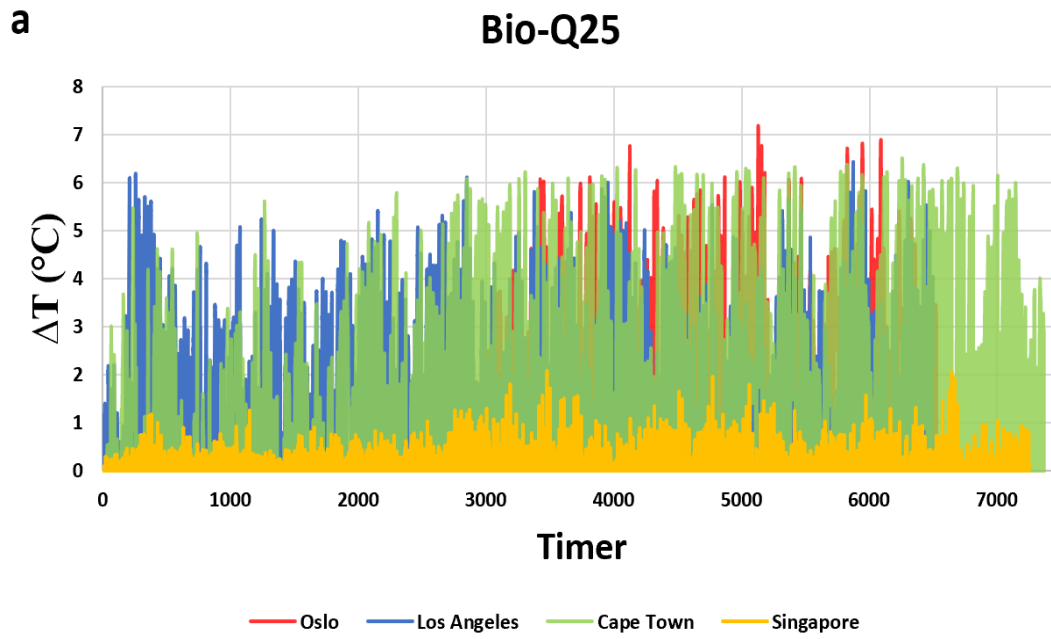
Figur 55 - Løsning etter tiltak i Singapore

4.9 Temperaturreduksjon

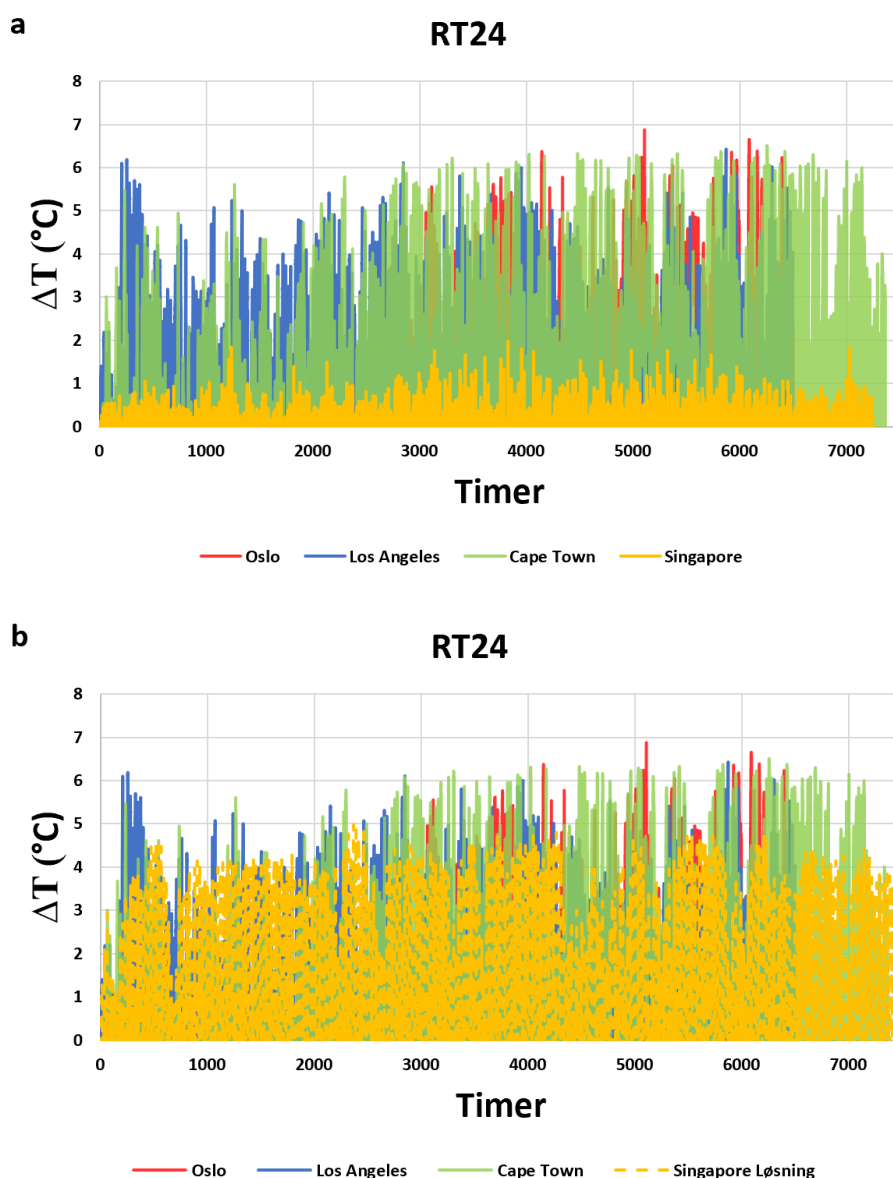
For å ha muligheten til å se hvor mye temperaturen blir redusert ift. sitt eget referansebygg er det presentert i figurene under hvor mye dette utgjør, presentert i figur 56-59. Figurene under demonstrerer hvilken by som gir høyest temperaturendring rundt om i løpet av året, for ulike PCM, før (a) og etter (b) tiltakene av Singapore.



Figur 56 - Sammenlikning i Oslo, Los Angeles, Cape Town og Singapore før (a) og etter (b)



Figur 57 - Sammenlikning i Oslo, Los Angeles, Cape Town og Singapore før (a) og etter (b)



Figur 58 - Sammenlikning i Oslo, Los Angeles, Cape Town og Singapore før (a) og etter (b)

Disse resultatene viser til at PCM er mest gunstig i rekkefølgen for Gyproc i tabell 20, Bio-Q25 i tabell 21 og RT24 i tabell 22.

For å få til disse resultatene er det tatt referansebygget i enhver sone og trukket fra materialene for samme mengder timer, i Excel. For tabell 20-22, vær kritisk til resultatene for temperaturer å se mer på hvilket material som har rangering 1. til 4. plass, forholdet mellom hvert tilfelle og perioden for da varierende PCM er mest tilstrekkelige. Søylene går opp helt mot 6 °C ikke fordi PCM reduserer 6 °C, men fordi det er den gapen i akkurat det ene øyeblikket, kanskje i noen få minutter er på 6 °C. For eksempel ser det ut som at temperaturen blir redusert med opp mot 2

°C i Singapore og det er ikke tilfellet fordi materialet aldri størkner for Singapore i figurene 56a, 57a og 58a. Se på figur 59 for en endelig rangering.

Løsningen for Singapore står separat. Oslo og Singapore har noe usikker rangering, da Oslo virker mye bedre for den perioden den reduserer operative temperaturer. Til slutt er det avgjort å gi Oslo 3. plass, fordi Singapore var avhengig av tiltak. Dog er PCM i andre steder årlig bedre. Maksimalt delta T er valgt for den perioden PCM reduserer mer for stedet. Rangering er gjort i kraft av årlig reduksjon. Maks temperaturendring er tydeliggjort for perioden med mest reduksjon i det ene øyeblikket og perioden som er henvist er den perioden dette gjelder. Se figur 59 for en rangering av hvor PCM er mest overbevisende, med samme utgangspunkt (utenom Singapore løsning).

Tabell 20 - Rangering av by på basis av Gyproc

Gyproc			
Sted	Rangering	Maks Δ Temperatur	Periode
Cape Town	1 (2)	6,5 °C	Jan, april-desember (feb-mars)
Los Angeles	2 (1)	6,2 °C	Feb-mars (jan, april-desember)
Oslo	3	6,0 °C	Mai-september
Singapore løsning	4	4,5 °C	Jan-desember
Singapore	5	0,5 °C (0)	-

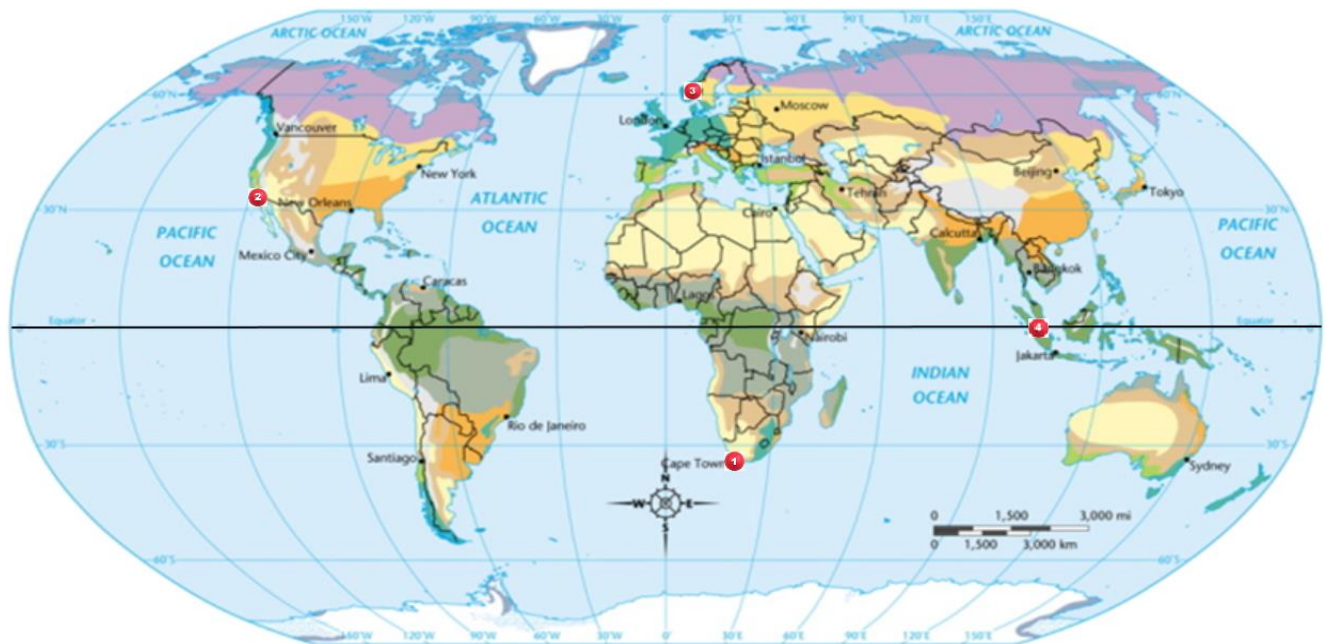
Tabell 21 - Rangering av by iht Bio-Q25

Bio-Q25			
Sted	Rangering	Maks Δ Temperatur	Periode
Oslo	1	7,1 °C	Mai-september
Cape Town	2	6,2 °C	April-desember
Los Angeles	3	6,1 °C	Januar-mars
Singapore løsning	4 (3)	4,2 °C	Januar-desember
Singapore	5	0,5 °C (0)	-

Tabell 22 - Rangering av by som følge av RT24

RT24			
Sted	Rangering	Maks Δ Temperatur	Periode
Oslo	1	6,8 °C	Mai-september
Cape Town	2	6,2 °C	April-desember
Los Angeles	3 (4)	6,1 °C	Januar-mars (Jan-des)
Singapore løsning	4 (3)	4,2 °C	Januar-desember (Jan-mars)
Singapore	5	0,5 °C (0)	-

Ved å ta hensyn til hvor lenge materialet reduserer operative temperaturer, illustrerer figuren under hvor endelig rangering for enhver by med samme utgangspunkt som Oslo, i samsvar med referansebygget og passivhuskrav er ifølge NS3700.



Figur 59 - Komparative studier av referansebygget i Oslo er verifisert i relasjon til de klimatiske årssykluser i verdensbyene Cape Town, Los Angeles og Singapore [41]

5 Konklusjon

Avhandlingen gjør undersøkelser på tre ulike PCM i henhold til passivhuskrav i norske eneboliger, NS3700. I Oslo er det foretatt simuleringer i IDA-ICE, analyser av temperaturreduksjon og reduksjon av kjølebehovet til passivhusbolig på 156 m². GenOpt er benyttet for å optimalisere tykkelse og temperaturer for materialene. Samlet antall timer av PCM går over 26 °C fra 506,8 timer til 0 timer for alle tre PCM etter endt optimalisering for vegger og tak.

Temperaturreduksjon med PCM

Resultatene illustrerer at PCM bidrar med temperaturreduksjoner i passivhus i enebolig. Imidlertid oppstår variasjon i alle soner med tilgang til vindusglass, solvinkler og plassering. Resultatene i de fire sonene etter hvor PCM virker bedre: *Andre etasje*: 1. loftstua, 2. soverom, 3. studierom og *første etasje*: 4. stua. RT24 fungerer overbevisende på grunn av temperatursvingninger i rekkefølgen: Cape Town, Los Angeles, Oslo og Singapore. Der etter følger Bio-Q25 og til slutt Gyproc som også er godt egnet.

Plassering og kjølebehov

Det kan konkluderes med at bruken og mengden av materialets effekt oppnås naturlig nok det beste resultatet i vegger og tak. Pga. kostnad av PCM bør fortsatt PCM på vegger benyttes. På veggene ble resultatet redusert 61 % for Gyproc, 74 % for Bio-Q25 og 72 % for RT24. Bio-Q25 og RT24 får redusert kjølebehovet bedre pga. deres høyere spesifikke varmekapasitet og Bio-Q25 er enda litt bedre i vegger og tak og for vegger separat sannsynligvis pga. høyere smeltetemperatur enn RT24.

Optimalisering

Optimalisering hjelper for å oppnå lavere temperaturer. Det er optimalisert tykkelse, smelte- og størknetemperaturer, vindusåpning og solavskjermingsvinkler hvor alt bidrar til å oppnå berikende resultater. Det anbefales å optimalisere ethvert klima.

Varmere klima

Optimaliseringstiltakene er konsentrert om vindusåpning og solavskjerming. Det er videre foretatt reduserte temperaturer for settpunkt og tilluft. Resultatet av disse enkle tiltak reduserte kjølebehovet fra 37033 til 14017 kWh, slik det ble målt for Singapore (Ekvator).

Generell konklusjon

PCM bør benyttes i eneboliger, spesielt i passivhus. Valg av plassering bør konsentrere seg om veggene, fordi materialet smelter og størkner bedre av stråling direkte via vinduet og ikke av refleksjon opp mot taket. – Fordi undersøkelsene er gjort på antakelser i et ikke-eksisterende frittstående bygg, tas forbehold om usikkerhet og feilkilder. PCM har en dynamisk resultatkurve som åpner for et behov om videre undersøkelser.

6 Videre arbeid

Ambisjoner om å dekke flere overordnede felt innenfor PCM, har måttet begrense seg til antakelser og forenklinger. Viktig har det vært å anta at eneboligen ikke er skygget av annet enn solavskjermingen. Her ligger mulige feilkilder og ytterligere behov for analyse, måling og LENI-beregning. Så om et eksisterende bygg ble omgitt av et bygningsmiljø vil observasjonssituasjon skape reelle måleparametere, - også i forhold til resultat varierte steder i verden med oppdaterte klimafilere.

PCM har egenskaper som visualiserer verdier fra og til. Det er antatt å benytte seg av den laveste verdien for spesifikk varme, lambda og tetthet for å oppnå for «lave» resultater enn for høye.

Det anbefales å optimalisere mest mulig viktige og interessante faktorer, som operative temperaturer. I tillegg bør smelte- og størkningstemperatur, vindusåpning når den skal inntreffe for andre steder og tykkelse for PCM, optimaliseres også for andre byer ikke kun for Oslo. (Enhver optimalisering tok ca. to døgn.)

Det bør foretas LCC (life cycle cost) for PCMe. Lønnsomhetsberegninger krever samhandling med leverandør og strømpris, foruten hvor mye det kan bespares ved PCM og behovet redusert kjølebehov. Ettersom materialet kun er testet for CAV anlegg, muliggjør det ikke å endre luftmengdene når det gjelder behov utover døgnet. En avbøtende mulighet er å benytte VAV anlegg med CO₂ og temperatursensorer for å redusere ytterligere kostnader. Tidligere studier henviser til at det er mulig å redusere energibruken med omtrent 50 % ift. CAV [42].

Med disse forutsetningene tatt i betraktning for avhandlingen, gjengir resultatene at PCM er godt egnet og være en mer gunstig løsning for miljøet og bærekraftig utvikling.

7 Referanser

- [1] Xiaodong Cao, Xilei Dai, Junjie Liu. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and buildings*, **128** (2016) 198-213. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816305783?fbclid=IwAR155-NotlMIInHdsK3vtyhq7RGc4TWdqwz93qoeCZXrdXGnYFyW4OcHsdI>
- [2] Haojie Wang, Qingyan Chen. Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States: *Energy and buildings*, **82** (2014) 428-436. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814005726?fbclid=IwAR2ZKbxKd9GdGiw4YQLJ2v30wPF3frBH9HRNwn2FwWwCN3cW74o7dplAHV0>
- [3] Habtamu Bayera Madessa. A review of the performance of buildings integrated with Phase change material: Opportunities for application in cold climate: *Energy Procedia*, **62** (2014) 318-328. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214034249>
- [4] Madessa Habtamu Bayera, Vik Tor Arvid, Aslaksrud Petter, Folkedal Eirik, Øvrevik S. Ottar. Performance of an Office Cubicle Integrated with a Bio-based PCM: Experimental Analyses: *Energy Procedia*, **111** (2017) 609-618. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217302539>
- [5] Jana Mlakar, Janez Štrancar. Overheating in residential passive house: Solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. **43** (2011) 1443-1451. Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.008>
- [6] Byggforskserien/Byggdetaljer/teknikk-ingeniørfaglig/energibehov. (2013). *Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser.* (473.010). Hentet fra https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser?fbclid=IwAR0_S3_G1n6rIP9gSn-CPPG7w-Qv7FxV-KGQDzsci5uuDQsgJcVsuf75ITs
- [7] Rygh, Per. (2009). passivhus i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 20. januar 2020 fra <https://snl.no/passivhus>
- [8] Standard Norge. (2013). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger: Boligbygninger.* Norsk Standard (NS3700:2013). Hentet 22. november fra <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS+3700&subscr=1>. Lastet ned fra <https://www-standard-no.ezproxy.hioa.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=ns3700&subscr=1>
- [9] Ingebrigtsen, Sturla. (2018). *Ventilasjonsteknikk: Del 1.* Oslo: Skarland press AS
- [10] Byggforskserien/Byggdetaljer/Innemiljø/Temperatur og luftkvalitet. (2016). Godt inneklima i nye boliger. (421.510). Hentet fra https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/197/godt_inneklima_i_nye_boliger#i4
- [11] Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals & Applications.* (Fifth edition in SI Units). New York: McGraw Hill Education
- [12] Habtamu Bayera Madessa. *Termodynamikk og varmetransport: Forelesninger.* (2018). Møter under avhandlingen om: *Høye pris for PCM og Gyproc (2020)*
- [13] Ali Tahouri. *Evaluation of Windows and Energy Performance Case-Study: Colored Building, Faculty of Architecture (EMU).* (2015). Hentet fra: https://www.researchgate.net/figure/Heat-Transfer-Mechanism-through-Glazing-wwwhomepowercom_fig10_292389622
- [14] Thormod, Henriksen. (2002). *Solstråling: Sol-ozon-helse, En bok om vårt miljø.* Hentet fra: <https://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/biofysikk/Solstr%C3%A5ling.pdf>

- [15] Sharma, Atul, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Bhuddi. *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. (2009). Hentet fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032107001402>
- [16] Kosny, Jan. *PCM-Enhanced Building Components: An Application of Phase Change Materials*. Boston, USA: Springer. (2019). Designed by SiteWizard. ISBN 978-3-319-14285-2. Hentet fra: <http://www.pcmproducts.net/>
- [17] Saiph Neumann. (2018). *Bruk av faseendrede (PCM) og hydroskopiske materialer som passive kjøletiltak i et rom samt vurdere effekten av det på energibruk og inn klima ved hjelp av numeriske simuleringer i STAR-CCM+*. Oslo: OsloMet.
- [18] Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi. *PCM thermal storage in buildings: A state of art*. **11** (2007) 1146-1166. Hentet fra https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032105000973?casa_token=pP2n8v7UJuYA_AAAA:qpJqpV-Nmk3EPaMbQMVCzWURgPXQY8hkRqTEbURW-EVi3ZXI04D3rOT0Ae1CICPYx7-gcn9pqH4
- [19] Byggforskserien/Byggdetaljer/Innemiljø/Temperatur og luftkvalitet. (421.501). *Termisk inn klima. Betingelser, tilrettelegging og målinger*. (2017). Hentet fra https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/193/termisk_inneklima_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger
- [20] Belen Zalba, Harald Mehling. *Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications*. **23** (2003) 251-283. Hentet fra https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431102001928?casa_token=Z6QkbvFFU6U_AAAA:BTiRb8RLLgtndJ1qBmWNCeEMJqyT4g9fkeYYxbwICdZ7d787HMmOMYHD7Zlpc2eGy38ocJnA6w
- [21] Skirbekk, Sigurd. simulering – samfunnsvitenskap i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10.04.2020 fra [https://snl.no/simulering - samfunnsvitenskap](https://snl.no/simulering_-_samfunnsvitenskap)
- [22] IDA-Indoor Climate and Energy. *Parametric runs: help guide*. Lastet ned 15.05.2020.
- [23] Wetter, Michael. *GenOpt – A Generic Optimization Program*: Simulation Research Group, Building Technologies Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. (2001). Hentet fra <https://simulationresearch.lbl.gov/sites/all/files/48371.pdf>
- [24] Byggforskserien/Byggdetaljer/Meteorologi – klima. (451.021). *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. (2018). Hentet fra https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring?fbclid=IwAR3c5IM8PS1sM1VMkJfnC5A3ffirs7g1YElcmwzvKqAINyBt0eEPzFtFMw
- [25] (ASHRAE 2013), Data from ASHRAE Fundamentals 2013.
- [26] Andresen, Julie Flakne. (2018). *Hvordan oppnå lavere soveromstemperaturer i passivhus med varmluft via ventilasjon som oppvarmingskilde*. Hentet fra: Madessa, Habtamu Bayera.
- [27] Saint-Gobain, Sweden AS. (2020). Hentet fra <https://www.gyproc.se/>
- [28] Phase Change Energy Solutions. BioPCM, Q25, Tunable Physical and Chemical Properties. Hentet fra <https://phasechange.com/wp-content/uploads/2018/02/BioPCM-Data-Sheet-Q25.pdf>
- [29] Rubitherm Technologies gMBh, RT24. (2018). Rubitherm. Hentet 18.05.2020 fra https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_RT24_EN_06082018.PDF
- [30] Byggforskserien/Byggdetaljer/Installasjoner/Ventilasjonsanlegg. (552.301). *Ventilasjon av boliger. Prinsipper*. (2017). Hentet fra https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/527/ventilasjon_av_boliger_prinsipper

- [31] Byggforskserien/Byggdetaljer/Innemiljø/Temperatur og luftkvalitet. (421.503). *Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger*. (2017). Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder_i_ventilasjonsanlegg_krav_og_anbefalinger
- [32] Ebrahim Solgi, Zahra Hamedani* , Ruwan Fernando, Henry Skates, Nnamdi Ezekiel Orji. *A literature review of night ventilation strategies in buildings*. **78**, (2018) 337-352. Hentet fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818307850?casa_token=kYFRcKIPqT0AAAA%3A0J_fSiB8MDr-Y2uwq8vskUeDiNAz7NyvfKTm4KCfuvMMeSGyY1SKj9at8YcjUwF8SaNU64rZU&fbclid=IwAR3LUTStXD_nhzNDCINfbvQyb7025gr2qYXkc12KzVzXII0x6VvICGvzhAU
- [33] Ahmad Sanusi Hassan, Mahyuddin Ramli. *Natural Ventilation of Indoor Air Temperature: A Case Study of the Traditional Malay House in Penang, Malaysia*. *American J. of Engineering and Applied Sciences* 3, (3) (2010): 521-528. Hentet fra https://www.researchgate.net/profile/Mahyuddin_Ramli/publication/49619573_Natural_Ventilation_of_Indoor_Air_Temperature_A_Case_Study_of_the_Traditional_Malay_House_in_Penang/links/54bd81aa0cf218d4a16a2a37/Natural-Ventilation-of-Indoor-Air-Temperature-A-Case-Study-of-the-Traditional-Malay-House-in-Penang.pdf
- [34] Ivan Oropeza-Perez, Poul Alberg Østergaard. *Potential of natural ventilation in temperate countries – A case study of Denmark*. **114** (2014) 520-530. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008283>
- [35] Mehrdad Rabani, Habtamu B. Madessa, Natasa Nord. *A state-of-art review of retrofit interventions in buildings towards nearly zero energy level*. **134** (2017) 317-326. Hentet fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217346635>
- [36] IDA-Indoor Climate and Energy. *Highlights in 4.8*. Hentet fra <https://www.equa.se/en/ida-ice/what-is-new/highlights-in-4-8>
- [37] Mehrdad Rabani, Habtamu B. Madessa, Omid Mohseni, Natasa Nord. *Minimizing delivered energy and life cycle cost using Graphical script: An office building retrofitting case*. **268** (2020) 114929. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920304414>
- [38] Mehrdad Rabani, GenOpt, Optimalisering. Forelesning og opplæring under masteravhandling.
- [39] Mohammed Saffari, Alvaro de Garcia, Cecar Fernandez, Luisa F. Cabeza. *Simulation-based optimization of PCM melting temperature to improve the energy performance in buildings*. **202** (2017) 420-434. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917306104>
- [40] Akram Ezzat, Samar Jaber, Liana Rashdan. *Optimization of PCM melting temperature to reach zero energy buildings*. (2017). Hentet fra: https://www.researchgate.net/publication/325019463_OPTIMIZATION_OF_PCM_MELTING_TEMPERATURE_TO_REACH_ZERO_ENERGY_BUILDINGS
- [41] Saskia Ruijsink. *Integrating climate change into city development strategies (CDS)*. (2015). Hentet fra <https://citiesalliance.org/sites/default/files/Integrating%20Climate%20Change%20into%20City%20Development%20Strategies%20final%2019%20September.pdf>
- [42] B.J. Wachenfeldt, M. Mysen, P.G. Schild. *Air flow rates and energy saving potential in schools with demand-controlled displacement ventilation*. **39** (2007) 1073-1079. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806002933>

Vedlegg

A - Årsmiddeltemperatur

Kommune		Temperatur (°C)				Frostmengde (h°C)					H ₀
03 Oslo		θ _{1d}	θ _{3d}	θ _m	θ _a	F _N	F ₁₀	F ₂₀	F ₅₀	F ₁₀₀	m
0301	Oslo	-21,8	-19,8	6,1	16,7	7 000	14 000	17 000	20 000	23 000	1,6

A1 – Høyeste beregnede netto energibehov

Årsmiddeltemperatur, θ _{ym}	Høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming kWh/(m ² ·år)	
	Boligbygning der A _{fl} < 250 m ²	Boligbygning der A _{fl} ≥ 250 m ²
≥ 6,3 °C	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}$	15
< 6,3 °C	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100} + \left(2,1 + 0,59 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}\right) \times (6,3 - \theta_{ym})$	$15 + 2,1 \times (6,3 - \theta_{ym})$

A2 – Beregning for netto energibehov

$$15 + 5,4 * \frac{(250 - 156)}{100} + \left(2,1 + 0,59 * \frac{(250 - 156)}{100}\right) * (6,3 - 6,1) = 20,61 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$$


A3 - Årssimulering for eneboligen

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	1449.0
■ Zone cooling	0.0
■ AHU heating	666.1
■ AHU cooling	155.0
■ Dom. hot water	4657.8
Cooling	155.0
Heating	6772.9

$$\frac{\text{Zone heating} + \text{AHU heating}}{\text{Area}} = \frac{1449 + 666}{156} = 13,57 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$$

B – Klimadata

B1 - Oslo

Location  © Oslo/Gardermoen_013840 (ASHRAE 2013) ▼


Position

Country:

City:

Latitude: ° Elevation: m

Longitude: ° Time zone: h

 **Climate description** © NOR_OSLO-GARDERMOEN_013840(IW2) ▼ ▶

Design day data


Design data file: User-defined design days

	Winter	Summer	
Dry-bulb min	<input type="text" value="-20.1"/>	<input type="text" value="13.3"/>	°C
Dry-bulb max	<input type="text" value="-14.4"/>	<input type="text" value="26.2"/>	°C
Wet-bulb max	<input type="text" value="-14.6"/>	<input type="text" value="16.8"/>	°C
Wind direction	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="200"/>	°
Wind speed	<input type="text" value="1.1"/>	<input type="text" value="3.5"/>	m/s
Clear-sky tau_b	<input type="text" value="0.348"/>	<input type="text" value="0.336"/>	
optical depth tau_d	<input type="text" value="2.435"/>	<input type="text" value="2.43"/>	

Object

Name:

Description:

Filename  [View data](#)

...

Wind measurement height: [m]

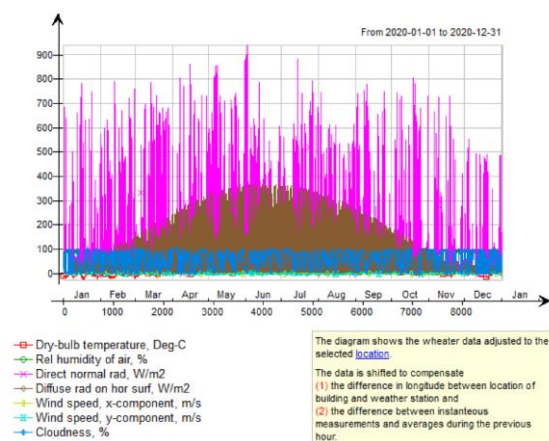
Position

Station:


Country:

Latitude: [°] Elevation: [m]

Longitude: [°] Time zone: [h]



B2 - Los Angeles

Location  © Los Angeles (Int. Airport)_722950 (ASHRAE 2013) ▼


Position

Country

City

Latitude ° Elevation m

Longitude ° Time zone h

 Climate description © USA_CA_Los_Angeles.Intl.AP.722950_TMY3 ▼ ▶

Design day data


Design data file User-defined design days

	Winter	Summer	
Dry-bulb min	7.0	19.3	°C
Dry-bulb max	15.6	26.6	°C
Wet-bulb max	11.5	20.3	°C
Wind direction	80	250	°
Wind speed	2.2	4.0	m/s
Clear-sky tau_b	0.33	0.359	
optical depth tau_d	2.621	2.444	

Object

Name

Description

Filename  [View data](#)

...

Wind measurement height [m]

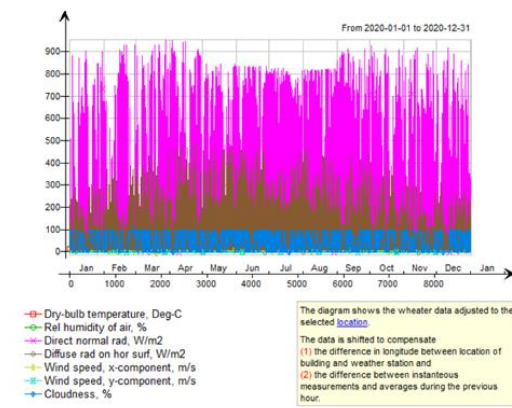
Position

Station

Country

Latitude [°] Elevation [m]

Longitude [°] Time zone [h]



B3 - Singapore

Position

Country:

City:

Latitude: ° Elevation: m

Longitude: ° Time zone: h

[Climate description](#) © SGP_SINGAPORE-CHANGI-AP_486980(IW2) ▼ ▶

Design day data

Design data file: User-defined design days

	Winter	Summer	
Dry-bulb min	<input type="text" value="23.1"/>	<input type="text" value="26.8"/>	°C
Dry-bulb max	<input type="text" value="28.5"/>	<input type="text" value="33.0"/>	°C
Wet-bulb max	<input type="text" value="25.3"/>	<input type="text" value="26.9"/>	°C
Wind direction	<input type="text" value="290"/>	<input type="text" value="30"/>	°
Wind speed	<input type="text" value="1.9"/>	<input type="text" value="3.9"/>	m/s
Clear-sky tau_b	<input type="text" value="0.472"/>	<input type="text" value="0.434"/>	
optical depth tau_d	<input type="text" value="2.421"/>	<input type="text" value="2.323"/>	

Filename: View data

Wind measurement height: [m]

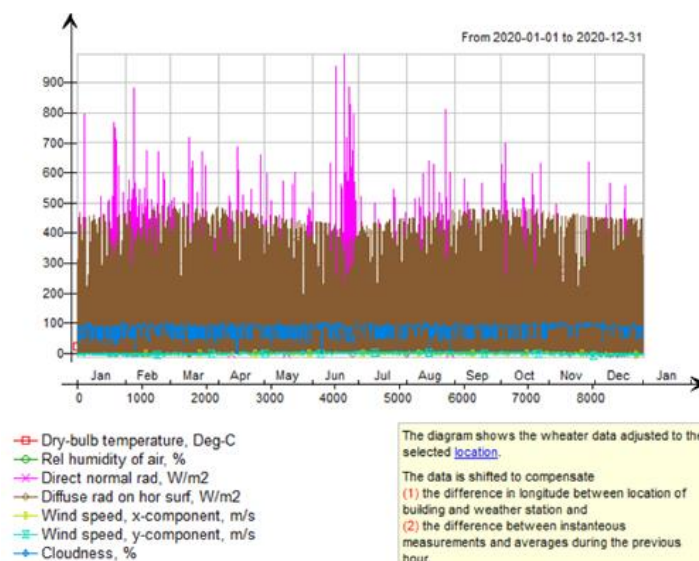
Position

Station:

Country:

Latitude: [°] Elevation: [m]

Longitude: [°] Time zone: [h]



B4 - Cape Town

Position

Country:

City:

Latitude: ° Elevation: m

Longitude: ° Time zone: h

Climate description © ZAF_CAPE-TOWN-INTL-AP_688160(IW2)

Design day data

Design data file: User-defined design days

	Winter	Summer	
Dry-bulb min	<input type="text" value="3.8"/>	<input type="text" value="17.2"/>	°C
Dry-bulb max	<input type="text" value="13.4"/>	<input type="text" value="30.5"/>	°C
Wet-bulb max	<input type="text" value="11.5"/>	<input type="text" value="20.2"/>	°C
Wind direction	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="180"/>	°
Wind speed	<input type="text" value="1.1"/>	<input type="text" value="5.5"/>	m/s
Clear-sky tau_b	<input type="text" value="0.298"/>	<input type="text" value="0.351"/>	
optical depth tau_d	<input type="text" value="2.519"/>	<input type="text" value="2.622"/>	

Filename: View data

Wind measurement height: [m]

Position

Station:

Country:

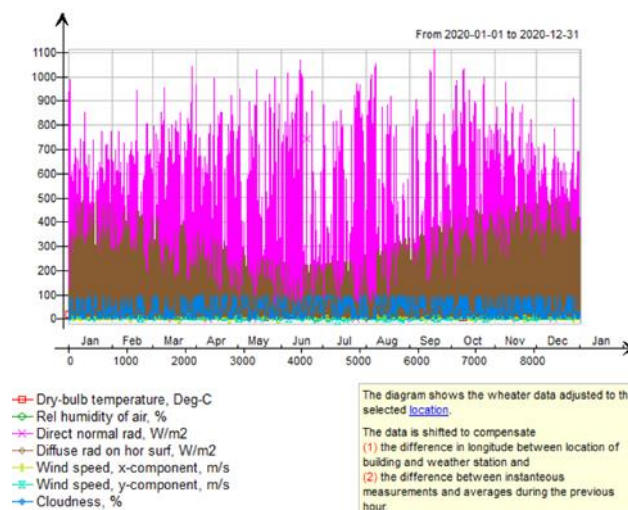
Latitude: [°] Elevation: [m]

Longitude: [°] Time zone: [h]

Object

Name:

Description:



C - Gyproc

Pc-Material			
Pc-Material		Gyproc	
Gyproc		Gyproc 3mm Professor Habtamu	
Parameters		Description	
Name	Value	Unit	Description
N	16	items	Number of temperature coordinates
NM1	15.0	items	Number of partial enthalpies (N-1)
RHOSOL	970.0	kg/m ³	Layer density (solid)
CPSOL	14300.0	J/(kg K)	Layer specific heat (solid) (J/(kg K))
LAMBDA SOL	0.1	W/(m ...)	Layer heat conductivity (solid) (W/(m K))
CPLIQ	14300.0	J/(kg K)	Layer specific heat (liquid) (J/(kg K))
LAMBDA LIQ	0.1	W/(m ...)	Layer heat conductivity (liquid) W/(m K)
C0	300.0	J/(kg K)	Specific heat during reversing (c0 <= min(cpSol...
TH[1:16]	{15 16 17 18 19 ...	°C	Temperatures at which melting/solidifying enthal...
DHDTMELT[1:15]	{6195 8252 6230...	J/(kg K)	Partial enthalpies between temperature coordin...
DHDSOLID[1:15]	{6195 8252 6230...	J/(kg K)	Partial enthalpies between temperature coordin...

Description

Partial enthalpies between temperature coordinates divided by temperature interval melting

Values, J/(kg K)

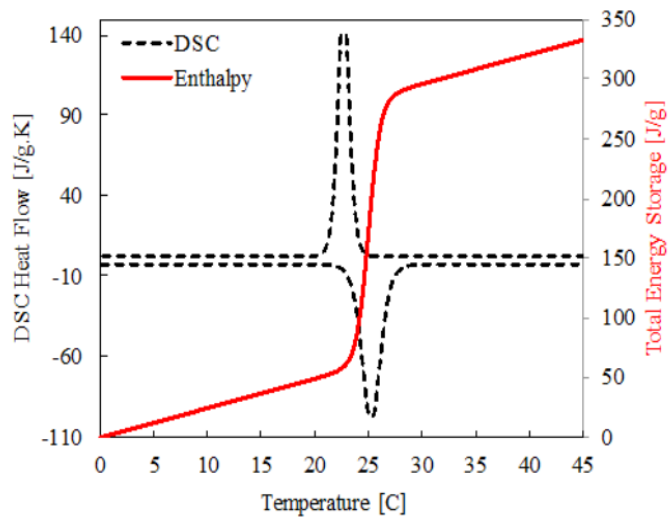
[1]	6195	[6]	6034	[11]	11687
[2]	8252	[7]	7211	[12]	2480
[3]	6230	[8]	8871	[13]	1866
[4]	4930	[9]	11203	[14]	1822
[5]	5239	[10]	14325	[15]	1810



- Environmentally-friendly, derived from naturally occurring, food grade substances
- Non-toxic and biodegradable
- Tunable energy storage capacity; more BTUs per pound of PCM
- Tunable density; more BTUs in the same volume
- Tunable thermal conductivity, for improved reaction with subtle changes in temperature
- Non-corrosive
- Chemically stable
- Long lifetime of performance, no degradation in melting temperature or thermal energy storage after thousands of freeze/melt cycles (100+ years)
- Small volume changes during phase transitions

BioPCM Q25 Tunable Physical and Chemical Properties

Property	Value (SI)	Value (Imperial)
Melting Point	25°C	77°F
Latent Heat	210 – 250 J/g	90 – 110 BTU/lb
Energy Storage Capacity	400 – 1250 kJ/m ²	35 – 110 BTU/sq ft
Specific Heat	2.2 – 4.5 J/gK	0.6 – 1.1 BTU/lb°F
Thermal Conductivity	0.15 – 2.5 W/mK	0.09 – 1.45 BTU/ft hr °F
Relative density	0.85 – 1.4 g/mL	53 – 87 lb/ft ³
Viscosity	Liquid, viscous gel, solid-solid gel	



D1 – Input data for Q25 i IDA ICE

Description	Partial enthalpies between temperature coordinates divided by temperature interval melting				
Values, J/(kg K)					
[1]	2620	[6]	2620	[11]	88498
[2]	2620	[7]	3304	[12]	44405
[3]	2620	[8]	4590	[13]	12095
[4]	2620	[9]	12095	[14]	4590
[5]	2620	[10]	44405	[15]	3304

RT24



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

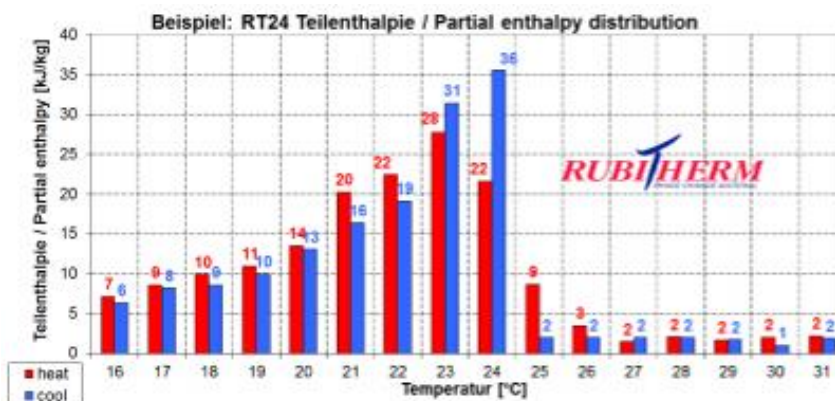
We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties for RT-line:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -9 °C and 100 °C available

The most important data:

	Typical Values	
Melting area	21-25	[°C]
	main peak: 24	
Congeealing area	25-21	[°C]
	main peak: 24	
Heat storage capacity ± 7,5%	160	[kJ/kg]*
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 16°C to 31°C.	42	[Wh/kg]*
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]
Density solid at 15 °C	0,88	[kg/l]
Density liquid at 40 °C	0,77	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]
Volume expansion	12,5	[%]
Flash point	143	[°C]
Max. operation temperature	55	[°C]



Rubitherm Technologies GmbH
 Imhoffweg 6
 D-12307 Berlin
 Tel: +49 (30) 7109622-0
 Fax: +49 (30) 7109622-22
 E-Mail: info@rubitherm.com
 Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 06.08.2018

*Measured with 3-layer-calorimeter.

E1 - Input data for RT24 i IDA ICE

Description	Partial enthalpies between temperature coordinates divided by temperature interval melting				
Values, J/(kg K)					
[1]	6000	[6]	16000	[11]	2000
[2]	8000	[7]	19000	[12]	2000
[3]	9000	[8]	31000	[13]	2000
[4]	10000	[9]	36000	[14]	1000
[5]	13000	[10]	2000	[15]	2000

F – Referansebyggenes kjølebehov

Oslo

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	166.2
■ AHU heating	511.6
■ AHU cooling	160.4
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	326.6
Heating	2458.7

Los Angeles

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	1149.8
■ AHU heating	284.3
■ AHU cooling	1568.7
■ Dom. hot water	4657.8
Cooling	2718.5
Heating	4942.1

Cape Town

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	1409.1
■ AHU heating	467.0
■ AHU cooling	1856.9
■ Dom. hot water	4657.8
Cooling	3266.0
Heating	5124.8

Singapore

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	37033.0
■ AHU heating	3.7E-8
■ AHU cooling	18830.0
■ Dom. hot water	4657.8
Cooling	55863.0
Heating	4657.8

Singapore Løsning

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	17958.0
■ AHU heating	3.7E-8
■ AHU cooling	23254.0
■ Dom. hot water	4657.8
Cooling	41212.0
Heating	4657.8

F1 - Gyproc Vegger og tak i rekkefølgen

External wall Yttervegg

Description: $U=0,1132$ (0,10-0,12) W/(m²*K)

U-value: 0.112 W/(m²*K)

Thickness: 0.496 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Gyproc, 0.01 m
- Gypsum (example), 0.026 m
- Frames cc600+cross, insul (example), 0.435 m
- Wood (example), 0.025 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc

Thickness: 0.01 m

Internal wall Innervegg

Description: $U=0,3262$ W/(m²*K)

U-value: 0.3159 W/(m²*K)

Thickness: 0.136 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Gyproc, 0.01 m
- Gypsum, 0.013 m
- Light insulation, 0.1 m
- Gypsum, 0.013 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc

Thickness: 0.01 m

Internal slab Internal Floor, Himling

Description: $U=2,385$ W/(m²*K)

U-value: 2.329 W/(m²*K)

Thickness: 0.176 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Floor coating, 0.005 m
- L/W concrete, 0.02 m
- Concrete, 0.15 m
- Gyproc, 0.001 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc

Thickness: 0.001 m

Roof Tak

Description: Gypsum, Insulation 365, Wood panel 22
 $U=0,08202$ (0,08-0,09) W/(m²*K)

U-value: 0.08136 W/(m²*K)

Thickness: 0.47 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Gypsum (example), 0.013 m
- Light insulation (example), 0.425 m
- Wood (example), 0.022 m
- Gyproc, 0.01 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc

Thickness: 0.01 m

F2 - Gyproc Ytter- og innervegg

External wall Yttervegg

Description: $U=0,1132$ (0,10-0,12) U-value: 0.1122 W/(m²*K) Thickness: 0.494 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Gyproc, 0.008 m
- Gypsum (example), 0.026 m
- Frames cc600+cross, insul (example), 0.435 m
- Wood (example), 0.025 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc Thickness: 0.008 m

Internal wall Innervegg

Description: $U=0,3262$ U-value: 0.3159 W/(m²*K) Thickness: 0.136 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Gyproc, 0.01 m
- Gypsum, 0.013 m
- Light insulation, 0.1 m
- Gypsum, 0.013 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc Thickness: 0.01 m

F3 - Gyproc Himling og tak

Internal slab Internal Floor, Himling

Description: $U=2,385$ U-value: 2.329 W/(m²*K) Thickness: 0.176 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Floor coating, 0.005 m
- L/W concrete, 0.02 m
- Concrete, 0.15 m
- Gyproc, 0.001 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Gyproc Thickness: 0.001 m

Roof Tak

Description: Gypsum, Insulation 365, Wood panel 22 $U=0,08202$ (0,08-0,09) U-value: 0.08136 W/(m²*K) Thickness: 0.47 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Light insulation (example), 0.425 m
- Wood (example), 0.022 m
- Gypsum (example), 0.013 m
- Gyproc, 0.01 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

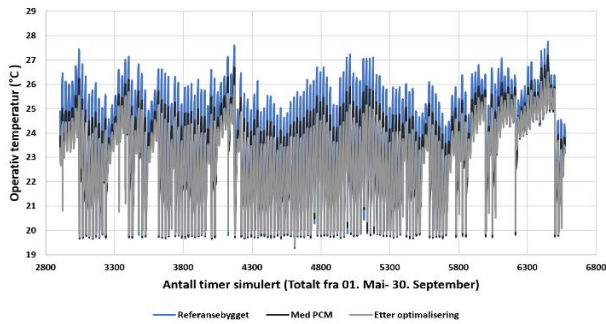
Material: Gyproc Thickness: 0.01 m

G – Gyproc

G1-4 Gyproc vegger

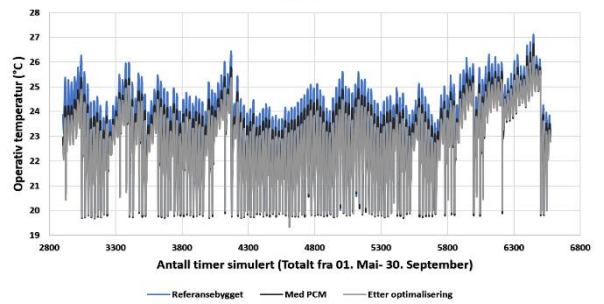
1

Loftstue



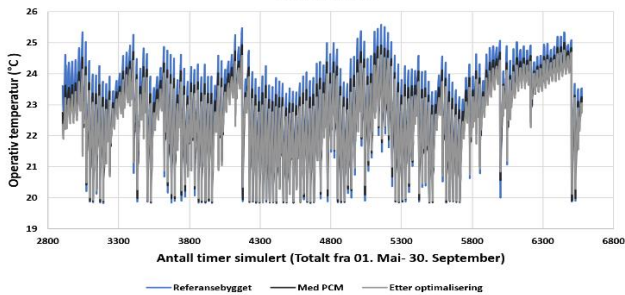
2

Stue



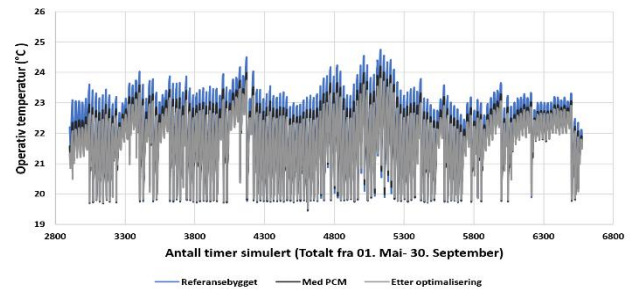
3

Soverom 3



4

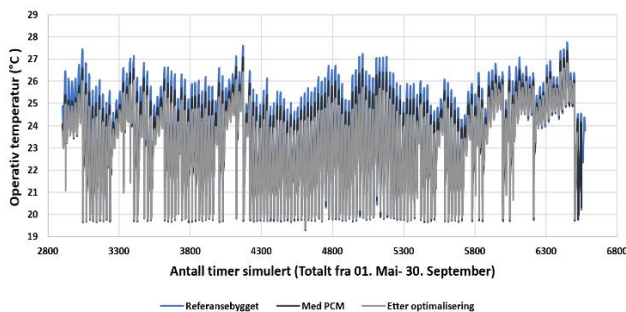
Studierom



G5-8 Gyproc tak

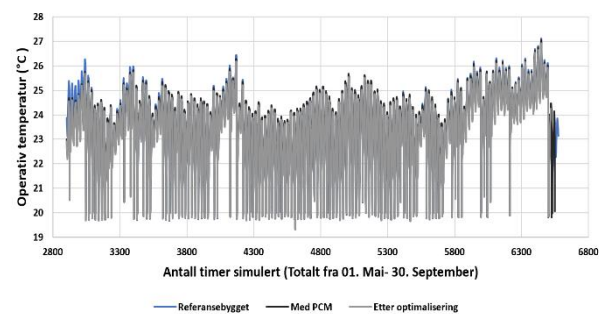
5

Loftstue



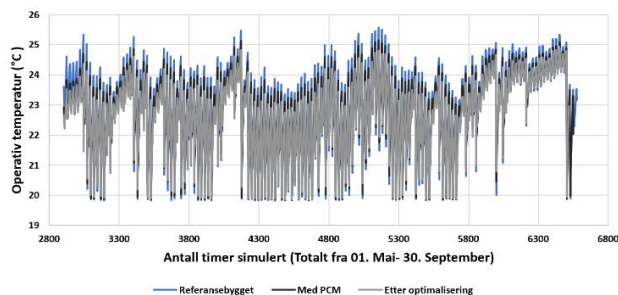
6

Stue



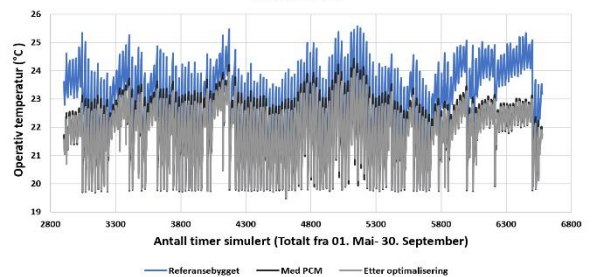
7

Soverom 3



8

Studierom

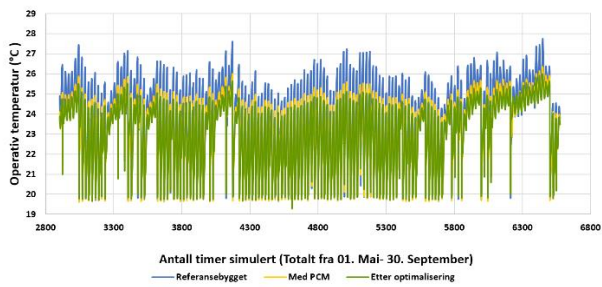


H – Bio-Q25

H1-4 Bio-Q25 Vegger

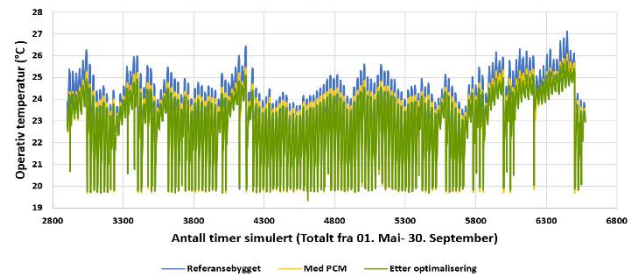
1

Loftstue



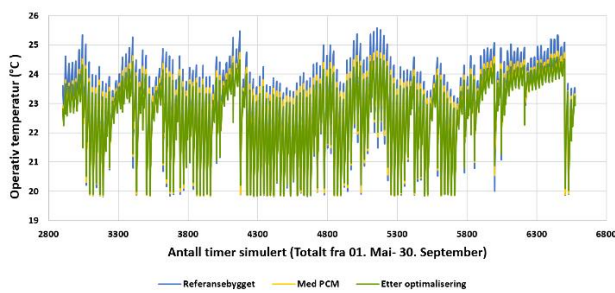
2

Stue



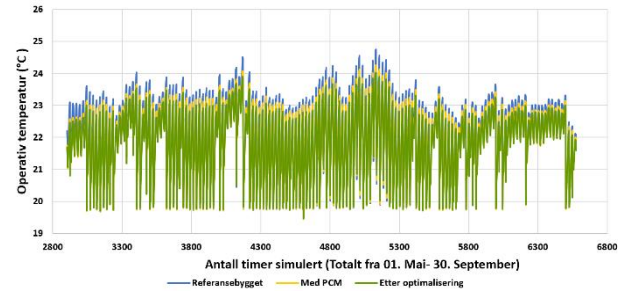
3

Soverom 3



4

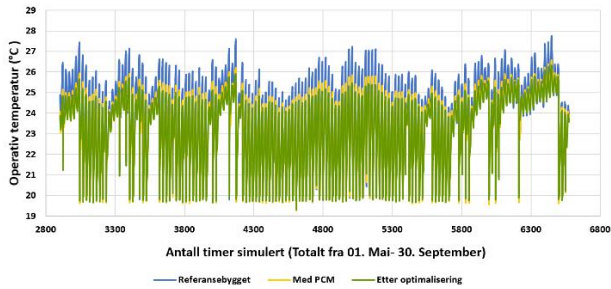
Studierom



H5-8 Bio-Q25 Tak

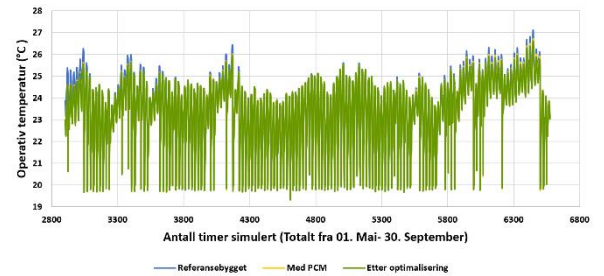
5

Loftstue



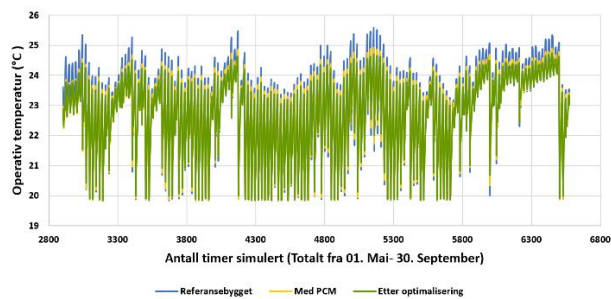
6

Stue



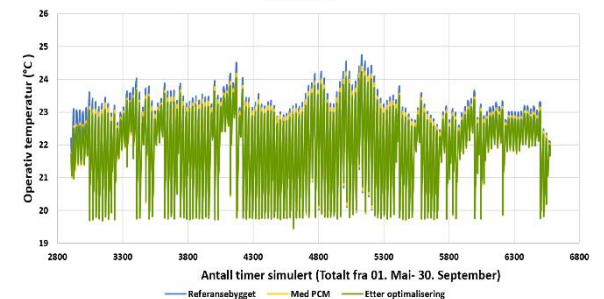
7

Soverom 3



8

Studierom

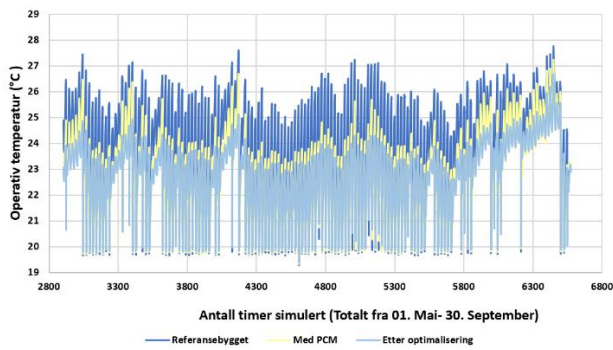


I – RT24

II-4 RT24 Vegger

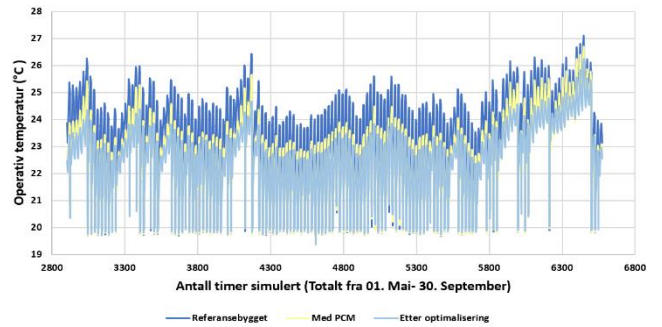
1

Loftstue



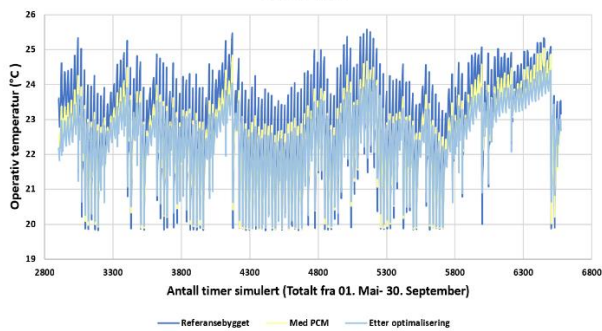
2

Stue



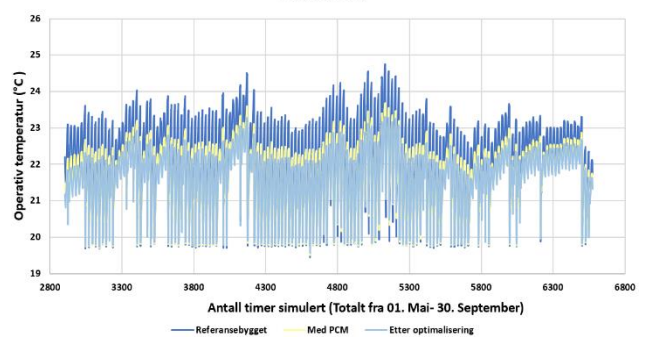
3

Soverom 3



4

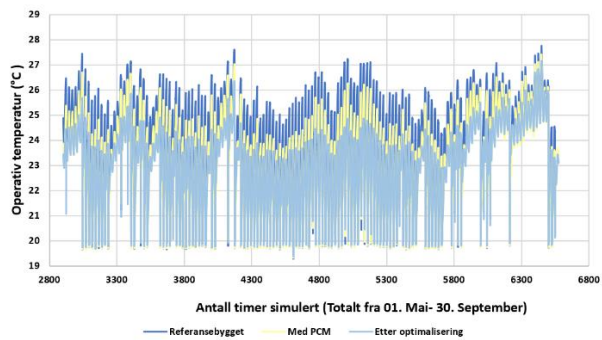
Studierom



I5-8 RT24 Tak

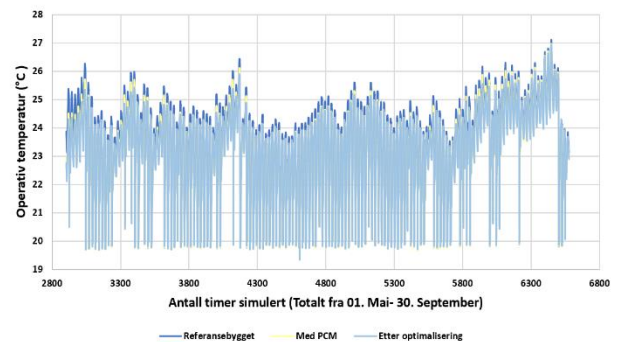
5

Loftstue



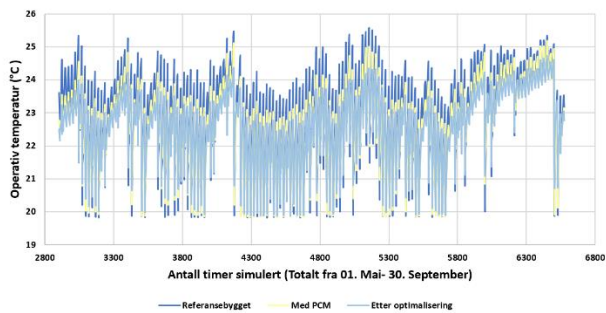
6

Stue



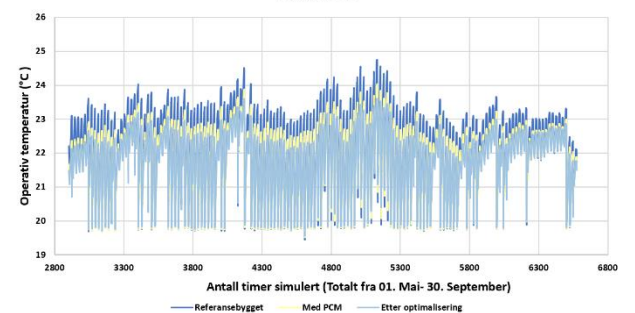
7

Soverom 3



8

Studierom



J – Kjølebehov

	kWh	PCM kWh		
PCM	Uten PCM	Tak	Vegger	Vegger & Tak
Gyproc	166,2	114,2	64,46	48,83
Bio-Q25	166,2	83,46	42,79	23,66
RT24	166,2	82,02	45,4	31,1

J1 – Hentet verdier fra simuleringsprogrammet

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	166.2
■ AHU heating	511.6
■ AHU cooling	160.4
■ Dom. hot water	1947.1
■ Cooling	326.6
■ Heating	2458.7

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	114.2
■ AHU heating	515.2
■ AHU cooling	160.2
■ Dom. hot water	1947.1
■ Cooling	274.4
■ Heating	2462.3

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	64.46
■ AHU heating	524.7
■ AHU cooling	159.5
■ Dom. hot water	1947.1
■ Cooling	224.0
■ Heating	2471.8

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	48.83
■ AHU heating	527.9
■ AHU cooling	159.4
■ Dom. hot water	1947.1
■ Cooling	208.2
■ Heating	2475.0

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	83.45
■ AHU heating	514.2
■ AHU cooling	160.3
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	243.8
Heating	2461.3

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	42.79
■ AHU heating	521.2
■ AHU cooling	159.9
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	202.7
Heating	2468.3

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	23.66
■ AHU heating	522.9
■ AHU cooling	159.9
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	183.6
Heating	2470.0

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	82.02
■ AHU heating	523.0
■ AHU cooling	159.6
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	241.6
Heating	2470.1

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	45.4
■ AHU heating	534.7
■ AHU cooling	158.7
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	204.1
Heating	2481.8

Building	
Systems energy	
	kWh
■ Zone heating	0.0
■ Zone cooling	31.1
■ AHU heating	543.5
■ AHU cooling	158.1
■ Dom. hot water	1947.1
Cooling	189.2
Heating	2490.6

K – Input for optimising i Oslo

Building defaults

Elements of Construction

- External walls: Yttervegg
- Internal walls: Innevegg
- Internal floors: Internal Floor, Himling
- Roof: Tak

External wall: Yttervegg

Description: $U=0,1132$ (0,10-0,12) W/(m²*K)

U-value: 0.1128 W/(m²*K)

Thickness: 0.489 m

Layers (Floor top/Wall inside):

- Gyproc, 0.003 m
- Gypsum (example), 0.026 m
- Frames cc600+cross, insul (example), 0.435 m
- Wood (example), 0.025 m

Layer data: Material: Gyproc, Thickness: 0.003 m

Internal wall: Innevegg

Description: $U=0,3262$ W/(m²*K)

U-value: 0.323 W/(m²*K)

Thickness: 0.129 m

Layers (Floor top/Wall inside):

- Gyproc, 0.003 m
- Gypsum, 0.013 m
- Light insulation, 0.1 m
- Gypsum, 0.013 m

Layer data: Material: Gyproc, Thickness: 0.003 m

Internal slab: Internal Floor, Himling

Description: $U=2,385$ W/(m²*K)

U-value: 2.225 W/(m²*K)

Thickness: 0.178 m

Layers (Floor top/Wall inside):

- Floor coating, 0.005 m
- L/W concrete, 0.02 m
- Concrete, 0.15 m
- Gyproc, 0.003 m

Layer data: Material: Gyproc, Thickness: 0.003 m

Roof: Tak

Description: Gypsum, Insulation 365, Wood panel 22
 $U=0,08202$ (0,08-0,09) W/(m²*K)

U-value: 0.08182 W/(m²*K)

Thickness: 0.463 m

Layers (Floor top/Wall inside):

- Gypsum (example), 0.013 m
- Light insulation (example), 0.425 m
- Wood (example), 0.022 m
- Gyproc, 0.003 m

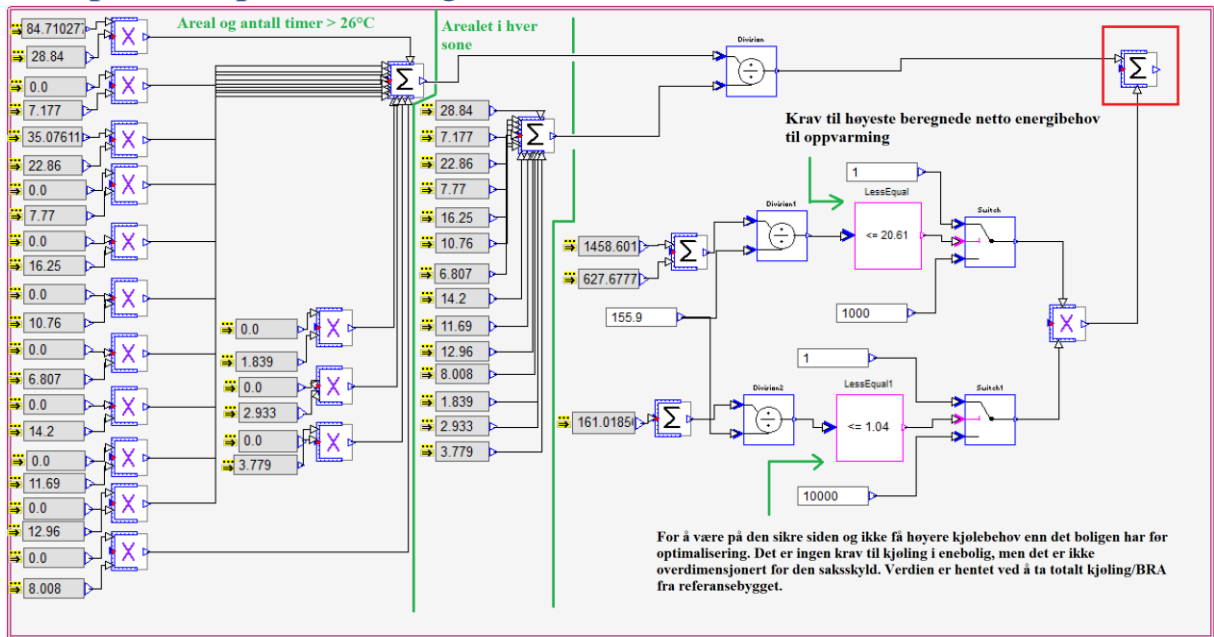
Layer data: Material: Gyproc, Thickness: 0.003 m

Description: Temperatures at which melting/solidifying enthalpies are computed

Values, Deg-C

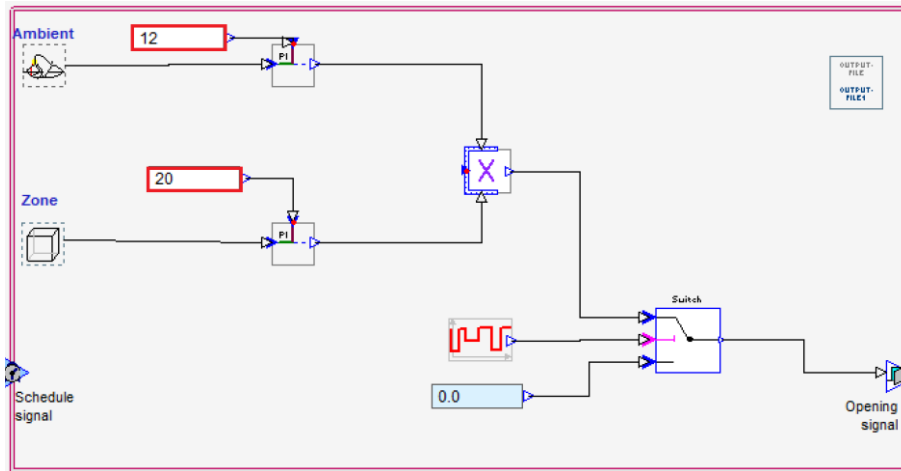
[1] 15	[7] 21	[13] 27
[2] 16	[8] 22	[14] 28
[3] 17	[9] 23	[15] 29
[4] 18	[10] 24	[16] 30
[5] 19	[11] 25	
[6] 20	[12] 26	

L – Output for optimalisering i Oslo



Name	Run on	Description
Graphical scri...	Run simulation	Script macro

M – Singapore optimalsing

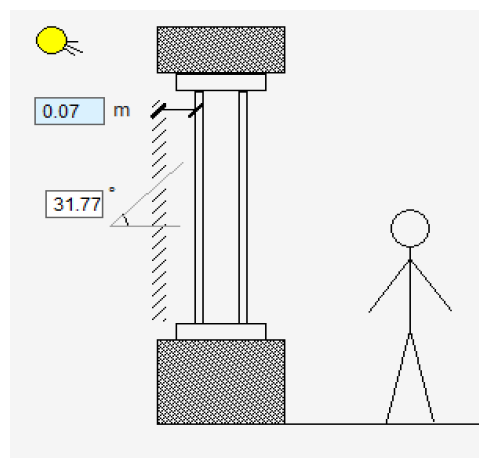
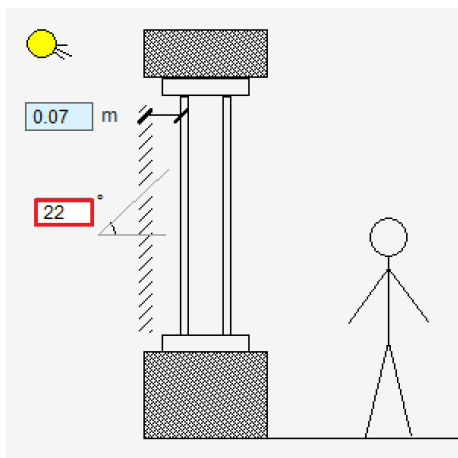


Opening [More...](#)
Control Window_opening_temp_3

Window (detailed)

Opening

Max relative width	<input type="text" value="40"/>	%
Max relative height	<input type="text" value="60"/>	%
Cd factor in flow(pressure)	<input type="text" value="0.65"/>	-



N – Algorithm for optimising

```
Vary{  
#FOR par IN [@ input contents]  
  $(: call parmrn-parm-to-genopt par)  
#END FOR  
}
```

```
OptimizationSettings  
{  
    MaxIte = 1500;  
    MaxEqualResults = 10;  
    WriteStepNumber = true;  
    UnitsOfExecution = $(: call simulation-nproc);  
}
```

```
Algorithm{  
    Main = GPSPSOCCHJ;  
    NeighborhoodTopology = vonNeumann;  
    NeighborhoodSize = 5;  
    NumberOfParticle = 10;  
    NumberOfGeneration = 10;  
    Seed = 50;  
    CognitiveAcceleration = 2.8;  
    SocialAcceleration = 1.3;  
    MaxVelocityGainContinuous = 0.5;  
    MaxVelocityDiscrete = 4;  
    ConstrictionGain = 0.5;  
    MeshSizeDivider = 2;  
    InitialMeshSizeExponent = 0;  
    MeshSizeExponentIncrement = 1;  
    NumberOfStepReduction = 4;  
}
```