

**Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg**

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: [www.oslomet.no](http://www.oslomet.no)**MASTEROPPGAVE**

OPPGAVENS TITTEL: Utvikling av dimensjonskriterier som hindrer overtemperatur i passivhus ved bruk av parametrisk energisimulering og symbolsk regresjon	DATO: 10.06.2021
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 84/16
FORFATTERE: Cathrine Helene Helseth	VEILEDER: Moon Keun Kim

UTFØRT I SAMARBEID MED: OsloMet	KONTAKTPERSON: Cathrine Helene Helseth
------------------------------------	---

KORT SAMMENDRAG: Skjerpede krav til energieffektivisering av bygninger har økt risikoen for overtemperatur i bygninger om sommeren. Formålet med denne masteroppgaven var å utvikle dimensjonskriterier til ulike passive tiltak som kunne benyttes i tidlig prosjektfase. Ved å utføre parametrisk energisimuleringer og symbolsk regresjon kom man blant annet frem til at g-verdi i glass, dybde på overheng og vindusglass/romareal var de mest effektive tiltakene. For eksempel vil operativ temperatur reduseres med 2 % når g-verdien går ned med 0,05
---

NØKKEWORD (en per linje): Parametrisk energisimulering Symbolsk regresjon
---

## NØKKELINFORMASJON

**Tittel:** Utvikling av dimensjonskriterier som hindrer overtemperatur i passivhus ved bruk av parametriske energisimulering og symbolsk regresjon

**English title:** Development of dimensional criteria that prohibits overtemperature in passive houses with the use of parametric energy simulations and symbolic regression.

**Hovedveileder:** Moon Keun Kim

## BAKGRUNN

Energieffektivisering av bygg har medført økt risiko for overtemperatur om sommeren. I tidlig prosjektfase vil det være ugunstig å bruke energisimuleringsprogrammer på romnivå. TEK17 §3-4 har preaksepterte ytelseskrav som kan benyttes, men disse er veldig uspesifikke. Det ville derfor være fordelaktig å ha noen enkle formler for ulike passive tiltak som kan forhindre overtemperatur.

## MÅL

Hensikten med masteroppgaven er å utvikle enkle dimensjonskriterier som kan benyttes i tidlig prosjektfase for å hindre overtemperatur i passivhus.

## METODE

- Litteraturstudie
- Teoretisk bakgrunn
- Parametriske energisimuleringer
- Symbolsk regresjon

## FORORD

---

Denne masteroppgaven ble fullført våren 2021, og er et resultat av det toårige masterprogrammet *Energi og miljø i bygg* ved Oslomet - Oslo Metropolitan University. Oppgavens tema er utarbeidet av OsloMet og meg selv.

Formålet med denne oppgaven var å utvikle enkle dimensjonskriterier til passive tiltak for å hindre overtemperatur i passivhus.

En stor takk rettes til Peter Schild, professor ved fakultet for teknologi, kunst og design OsloMet, for god faglig veiledning og tilbakemelding. En takk rettes til Mehrdad Rabani, PhD kandidat ved OsloMet, for god informasjon angående optimaliseringsverktøyet GenOpt. En takk rettes til veileder Moon Keun Kim, professor ved fakultet for teknologi, kunst og design OsloMet.

En stor takk rettes til min samboer for god støtte igjennom hele prosessen.

09.06.2021 Oslo



Cathrine Helene Helseth

## SAMMENDRAG

---

I Norge så utgjør bygninger 40% av den totale energibruken, landet har derfor satt som mål å redusere levert energi til bygninger med 40 TWh/år innen år 2040. Økte krav til energieffektivisering av bygninger har medført større risiko for overtemperatur om sommeren. Passivhus er da spesielt utsatt på grunn av lite varmetap igjennom bygningskroppen. Ved å benytte enkle passive tiltak allerede i tidlig prosjektfase kan man oppnå et tilfredsstillende inneklima

I tidlig prosjektfase kan man bruke preaksepterte ytelseskrav fra TEK17 §3-4 for å unngå overtemperatur, disse ytelseskravene er derimot uspesifikke. Det vil derfor være gunstig med enkle formler/tommelfingerregler som er mer konkret. Så formålet med denne masteroppgaven er å utvikle enkle dimensjonskriterier for å hindre overtemperatur i passivhus. Passive tiltak som ble brukt under studie var: Overheng over vindu, integrert utvendig persienne, solfaktor i vindusglass, lavemisjonsbelegg på vindusglass, vindusareal/romareal, isolasjonstykkelse i vegg og tak, termisk konduktivitet i isolasjon og orientering på vindusglass.

Parametriske energisimuleringene ble utført i programmet IDA ICE, hvor man simulerte et kontorbygg lokalisert i Oslo. Det ble utført en global sensitivitetsanalyse i programmet med funksjonen Monte Carlo etter Morris metoden (OAT), for å beskrive usikkerheten til hver parameter. Analysen ga et bedre innblikk i hvilke inndataparametere som hadde størst påvirkning på operativ temperatur og energiforbruket.

Datasettene ble validert med følgende statistiske tester: Korrelasjonstest, Kolmogorov – Smirnov test, varianstest (F-test) og T-test. For å finne gunstige designløsninger innenfor variasjonsområde anvendte man optimaliseringsverktøyet GenOpt. Med programvaren Eureka utførte man symbolsk regresjon på tiltakene. Dette ga skreddersydde regresjonsmodeller av datasettene. Enkle dimensjonskriterier ble så utformet fra regresjonsmodellene.

De mest effektive tiltakene som hindrer overtemperatur samt reduserer kjølebehovet er: vindusglass/romareal, dybde på overheng og solfaktor. Som et eksempel vil operativ temperatur bli redusert med cirka 2% når g-verdien går ned med 0,05.

## ENGLISH SUMMARY

---

In Norway, buildings account for 40% of total energy use, and the country has therefore set a goal of reducing the supply of energy to buildings by 40 TWh/year by the year 2040. The increased requirements for energy efficiency of buildings have resulted in a greater risk of over-temperature in the summer. Passive houses are particularly exposed due to low heat loss through the building body. It is important to take advantage of measures to achieve a good indoor climate by using simple passive measures already in early project phase, for a satisfactory indoor climate can be achieved.

In the early project phase, pre-accepted performance requirements from TEK17 §3-4 can be used to avoid over-temperature, but these performance requirements are unspecific. Therefore, it will be beneficial to have simple formulas that are more specific. So, the purpose of this master's thesis is to develop simple dimension criteria to prevent over-temperature in passive houses. The passive measures used during the study were: Overhang over window, integrated exterior blind, solar heat gain coefficient (SHGC), low emission coating on window glass, window area/room area, insulation thickness in wall and ceiling, thermal conductivity in insulation and orientation on window glass.

The parametric energy simulations were performed with the program IDA ICE, where an office building located in Oslo was simulated. A global sensitivity analysis was performed in the program using the Monte Carlo function after the Morris method (OAT), to describe the uncertainty of each parameter. The analysis gave a better understanding into how each input parameters impacted the operational temperature and energy consumption. The datasets were validated with the following statistical tests: Correlation test, Kolmogorov – Smirnov test, variance test (F-test) and T-test. To find a favorable solution within variation areas, the optimization tool GenOpt was used. With the software Eureqa, symbolic regression was performed on the datasets. This provided tailored regression models of the data. Simple dimension criteria were then formulated from the regression models.

The most effective measures that prevent over-temperature and reduce cooling requirements are window area/room area, depth of overhang and SHGC. As an example, operating temperature will be reduced by about 2% when the g-value decreases by 0.05.

## INNHALDSFORTEGNELSE

---

Nøkkelinformasjon.....	ii
Bakgrunn.....	ii
Mål.....	ii
Metode.....	ii
Forord.....	iii
Sammendrag.....	iv
English Summary.....	v
Innholdsfortegnelse.....	vi
Figurliste.....	viii
Tabelliste.....	x
1 Introduksjon.....	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Begrensninger.....	1
2 Litteraturstudie.....	2
3 Teoretisk bakgrunn.....	7
3.1 Teknisk forskrift og standarder.....	7
3.2 Termisk isolasjon i bygninger.....	8
3.3 Passivhus.....	11
3.4 Klima i Norge.....	12
3.5 Simuleringsprogram.....	13
3.6 Optimaliseringsverktøy.....	17
3.7 Statistikk.....	19
4 Metode.....	24
4.1 Bygningskategori.....	24
4.2 Geografisk lokasjon.....	25
4.3 Simuleringsprogram og optimaliseringsverktøy.....	25
4.4 Referansemodell.....	26
4.5 Inndata i IDA ICE.....	33
4.6 Energiforbruk og inneklime for referansemodellene.....	36
4.7 Statistisk analyse.....	39

5	Resultater og diskusjon.....	56
5.1	Solfaktor (g-verdi).....	56
5.2	Lavemisjonsbelegg på vindusglass .....	58
5.3	Total solfaktor .....	59
5.4	Overheng over vindu .....	62
5.5	Temperaturdifferanse mellom ulike himmelretninger .....	63
5.6	Forhold mellom vindusareal/romareal i nordlig himmelretning [0°] .....	65
5.7	Forhold mellom vindusareal/romareal i østlig himmelretning [90°] .....	67
5.8	Forhold mellom vindusareal/romareal i sørlig himmelretning [180°] .....	69
5.9	Forhold mellom vindusareal/romareal i vestlig himmelretning [270°] .....	72
5.10	Isolasjonstykkelse i vegg .....	74
5.11	Isolasjonstykkelse i tak .....	76
5.12	Kombinasjon av tiltak .....	78
5.13	Passive tiltak på referansebygningen.....	79
5.14	Diskusjon.....	80
6	Konklusjon.....	82
7	Referanser.....	84
	Vedlegg.....	88
	Vedlegg A Beregning, internlast utstyr.....	89
	Vedlegg B Beregning, luftmengde.....	90
	Vedlegg C Bygningsmodellen i IDA ICE.....	91
	Vedlegg D Internlaster i IDA ICE .....	93
	Vedlegg E Varmesentral, energitap og ventilasjonsaggregat i IDA ICE .....	95
	Vedlegg F Energiforbruk i referansemodellene.....	98
	Vedlegg G Inneklima i referansemodellene .....	99
	vedlegg H Resultater fra korrelasjonstesten og T-testen.....	100
	Vedlegg I Resultater fra Kilmogorov -Smirnov testen.....	113
	Vedlegg J Resultater fra F-testen.....	116
	Vedlegg K Resultater fra optimaliseringsanalysen i GenOpt .....	124
	Vedlegg L Resultater fra symbolsk regresjon .....	127
	Vedlegg M Termisk inneklima og energiforbruk ved de ulike tiltakene .....	134
	Vedlegg N Resultater fra regresjonsmodellen.....	144
	Vedlegg O Himmelretning og operativ temperatur .....	148
	Vedlegg P Referansebygg med nye verdier.....	149

## FIGURLISTE

---

Figur 1	Glassegenskapens påvirkning på temperatur og energibruk .....	10
Figur 2	Köppens klimasoner. (Mamen, 2021) .....	13
Figur 3	Simuleringsprosessen .....	14
Figur 4	Problemløsningsprosess .....	19
Figur 5	Ikke - lineære modeller: eksponentiell, potensiell, logaritmisk og logistisk.....	21
Figur 6	Prosentvis fordeling av energibruk etter bygningskategori.....	25
Figur 7	Grensesnitt mellom GenOpt og IDA ICE.....	26
Figur 8	Referansebygning i IDA ICE .....	27
Figur 9	Avstand mellom vinduene i kontorbygningen.....	28
Figur 10	Plantegning som representerer alle etasjene.....	29
Figur 11	Soneinndeling.....	30
Figur 12	Relux: belysningsstyrke på møterom.....	31
Figur 13	Internlaster: kontorbygning i IDA ICE.....	34
Figur 14	Internlaster: rommodell i IDA ICE .....	34
Figur 15	Utekompensert turtemperatur.....	35
Figur 16	Ventilasjonsaggregatet i IDA ICE.....	35
Figur 17	Lvert energi til referansebygget.....	36
Figur 18	Lvert energi til møterommet .....	37
Figur 19	Operativ temperatur i referansebygning.....	37
Figur 20	3D- bilde over operativ temperatur i referansebygning .....	38
Figur 21	Operativ temperatur i referanserom.....	39
Figur 22	Flytskjema: statistisk analyse på designparameterne.....	40
Figur 23	Regulering av integrert utvendig persienne .....	41
Figur 24	Overheng over vindu.....	42
Figur 25	Solfaktor og operativ temperatur.....	45
Figur 26	Lavemisjonsbelegg og operativ temperatur.....	46
Figur 27	Vindusareal i sør og operativ temperatur .....	46
Figur 28	Vindusareal i øst og operativ temperatur .....	47
Figur 29	Vindusareal i sør og operativ temperatur .....	47
Figur 30	Vindusareal i vest og operativ temperatur.....	47
Figur 31	$g_{tot}$ og operativ temperatur.....	48



Figur 32 Dybde overheng [m] og operativ temperatur .....	48
Figur 33 Isolasjon yttervegg [m] og operativ temperatur.....	49
Figur 34 Isolasjon tak [m] og operativ temperatur .....	49
Figur 35 Termisk konduktivitet og operativ temperatur.....	50
Figur 36 g-verdi for glasstype Pilkington.....	50
Figur 37 Regresjonsmodell: g-verdi.....	56
Figur 38 Spredningsdiagram for g-verdi: energiforbruk .....	57
Figur 39 Regresjonsmodell: g-verdi med lavemisjonsbelegg.....	58
Figur 40 Spredningsdiagram for lavemisjonsbelegg: energiforbruk .....	59
Figur 41 Regresjonsmodell: total solfaktor .....	60
Figur 42 Spredningsdiagram for g <sub>tot</sub> : operativ temperatur.....	61
Figur 43 Spredningsdiagram for g <sub>tot</sub> : energiforbruk.....	61
Figur 44 Regresjonsmodell: overheng over vindu .....	62
Figur 45 Spredningsdiagram for dybde overheng: energiforbruk .....	63
Figur 46 Regresjonsmodell: himmelretning .....	64
Figur 47 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i nordlig himmelretning .....	65
Figur 48 Spredningsdiagram for vindusareal i nordlig himmelretning: operativ temperatur .....	66
Figur 49 Spredningsdiagram for vindusareal i nordlig himmelretning: energiforbruk.....	67
Figur 50 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i østlig himmelretning .....	67
Figur 51 Spredningsdiagram for vindusareal i østlig himmelretning: operativ temperatur .....	69
Figur 52 Spredningsdiagram for vindusareal i østlig himmelretning: operativ temperatur .....	69
Figur 53 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i sørlig retning.....	70
Figur 54 Spredningsdiagram for vindusareal i sørlig himmelretning: operativ temperatur.....	71
Figur 55 Spredningsdiagram for vindusareal i sørlig himmelretning: energiforbruk.....	71
Figur 56 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i vestlig himmelretning.....	72
Figur 57 Spredningsdiagram for vindusareal i vestlig himmelretning: operativ temperatur .....	73
Figur 58 Spredningsdiagram for vindusareal i vestlig himmelretning: energiforbruk .....	74
Figur 59 Regresjonsmodell: Isolasjonstykkelse i vegg.....	74
Figur 60 Spredningsdiagram for isolasjonstykkelse i vegg: energiforbruk .....	76
Figur 61 Regresjonsmodell: Isolasjonstykkelse i tak.....	76
Figur 62 Spredningsdiagram for isolasjonstykkelse i tak: energiforbruk .....	77
Figur 63 Regresjonsmodell: Kombinasjon av tiltak.....	78
Figur 64 Spredningsdiagram: g <sub>tot</sub> og vindusareal/romareal og operativ temperatur .....	79

## TABELLISTE

---

Tabell 1 Minimumskrav i TEK17 og NS 3701.....	7
Tabell 2 Utvalgte funksjoner i et simuleringsprogram .....	15
Tabell 3 Klassifisering av energisimuleringsprogram .....	16
Tabell 4 Analyseprosessen .....	24
Tabell 5 Inndata, bygningskropp .....	27
Tabell 6 Spesifikasjoner for vindusglasset i referansemodellene .....	28
Tabell 7 Inndata, internlaster.....	31
Tabell 8 Inndata, romoppvarming.....	32
Tabell 9 Inndata, ventilasjon.....	33
Tabell 10 Inndata: bygningskroppen i IDA ICE.....	34
Tabell 11 Regulering av integrert utvendig persienne .....	41
Tabell 12 Inndataparameter i Parametric Runs og Monte Carlo simuleringer.....	42
Tabell 13 Resultat fra månedssimuleringen på rommodell.....	45
Tabell 14 Resultat fra årssimuleringen på rommodell (referanse) .....	51
Tabell 15 Resultat etter optimalisering: glassegenskaper.....	51
Tabell 16 Resultat etter optimalisering: lavemisjonsbelegg.....	52
Tabell 17 Resultat etter optimalisering: vindusareal i forskjellig himmelretning.....	52
Tabell 18 Resultat etter optimalisering: solavskjerming .....	53
Tabell 19 Resultat etter optimalisering: isolasjon og varmekonduktivitet.....	53
Tabell 20 Resultat fra årssimulering på referanserom .....	55
Tabell 21 Resultat fra symbolsk regresjon: g-verdi .....	56
Tabell 22 Solfaktor: termisk inneklime og energiforbruk .....	57
Tabell 23 Resultat fra symbolsk regresjon: g-verdi i belagt vindusglass .....	58
Tabell 24 Lavemisjonsbelegg: termisk inneklime og energiforbruk .....	59
Tabell 25 Resultat fra symbolsk regresjon: endring av g-verdi i persienne (g-verdi, persienne = 0,08 – 0,26).....	60
Tabell 26 $g_{tot}$ : termisk inneklime og energiforbruk .....	61
Tabell 27 Resultat fra symbolsk regresjon: overheng over vindu.....	62
Tabell 28 Overheng: termisk inneklime og energiforbruk.....	63
Tabell 29 Himmelretning og temperaturdifferanse .....	64
Tabell 30 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i nordlig himmelretning.....	65

Tabell 31 Vindusareal/romareal i nordlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk.....	66
Tabell 32 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i østlig himmelretning.....	68
Tabell 33 Vindusareal/romareal i østlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk.....	68
Tabell 34 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i sørlig himmelretning.....	70
Tabell 35 Vindusareal/romareal i sørlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk .....	71
Tabell 36 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i vestlig himmelretning.....	72
Tabell 37 Vindusareal i vestlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk.....	73
Tabell 38 Resultat fra symbolsk regresjon: isolasjonstykkelse i vegg.....	75
Tabell 39 Isolasjonstykkelse i vegg: termisk inneklima og energiforbruk .....	75
Tabell 40 Resultat fra symbolsk regresjon: isolasjonstykkelse i tak.....	77
Tabell 41 Isolasjonstykkelse i tak: termisk inneklima og energiforbruk .....	77
Tabell 42 Temperaturendring med gtot.....	78
Tabell 43 Resultat etter passive tiltak på referansebygningen .....	79

# 1 INTRODUKSJON

---

## 1.1 BAKGRUNN OG MOTIVASJON

Bygninger utgjør cirka 40% av den totale energibruken i Norge (Energifakta Norge, 2019). Målet innen år 2040 er å redusere levert energi til bygninger med 40 TWh/år (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010). Det er utformet informasjonsvirkemidler, reguleringer og merkeordninger for å sikre effektiv bruk av energi i bygg. Skjerpede krav til energieffektivisering av bygninger har medført økt risiko for overtemperatur om sommeren. På grunn av lite varmetap igjennom bygningskroppen er passivhus spesielt utsatt for overtemperatur. Ved å benytte enkle passive tiltak allerede i tidlig prosjektfase kan man oppnå et tilfredsstillende inneklima. Det er gode energisimuleringsprogrammer på markedet, men i tidlig fase vil det være upraktisk å bruke disse på romnivå. TEK17 §3-4 har preaksepterte ytelseskrav som kan bidra til å unngå overtemperatur. Tiltakene er blant annet å redusere vindusareal på solutsatte fasader, eksponere termisk masse og utvendig solskjerming. Dette er derimot veldig generelle anbefalinger, og det vil for eksempel være vanskelig å forutsi hvor mye reduksjon av vindusareal må til for å redusere overtemperaturen. Det kunne derfor vært fordelaktig å ha mer tallfestede formler/tommelfingerregler man kunne anvende i tidlig prosjektfase.

## 1.2 MÅL

Formålet med masteroppgaven er å utvikle enkle dimensjonskriterier for å hindre overtemperatur i passivhus. Det skal kjøres parametriske energisimuleringer på ulike passive tiltak for å opparbeide et vurderingsgrunnlag. Ved å benytte statistisk analyse på datasettet, utføres validering og optimalisering av tiltakene. Man ønsker at tiltakene skal være gunstig for både operativ temperatur og energiforbruk. For å få skreddersydde ligninger som beskriver datasettene optimalt, benyttes symbolsk regresjon. Det skal så utformes enkle dimensjonskriterier fra disse ligningene.

## 1.3 BEGRENSNINGER

Det er gjort en rekke begrensninger på grunn av tidsperspektiv. Energisimuleringene er utført med bare en geografisk lokasjon, da benyttede programmer er veldig tidskrevende. Derfor har man også bare sett hovedsakelig på en himmelretning, den som er mest kritisk i henhold til solbelastning. For å kompensere for dette har man utarbeidet en tabell som viser temperaturdifferansen i alle himmelretninger med 5° intervall. I dette studiet forholder man seg bare til bygninger som har kjølebatteri i ventilasjonsaggregatet. Det vil si at ligningene begrenser seg til bygninger med kjølebatteri. Valgte passive tiltak omfatter kun bygningens konstruksjon -og ytre fasade.

## 2 LITTERATURSTUDIE

---

Det har som nevnt blitt mer fokus på energieffektivisering av bygg. Dette viser seg også i forskningsmiljøet, da man kan se en klar økning av studier som omfatter parametrisk energisimulering på bygninger. Artikler ble hovedsakelig valgt etter relevans til masteroppgaven og deres konklusjon. De mest aktuelle artiklene ble kategorisert etter publikasjonsdato, geografisk område, designparametere, fokusområde, bygningsmodell, simuleringsprogram og analytisk metode. Det ble vurdert om studienes fremgangsmetoder oppnådde tilfredsstillende resultater, og om det er eventuelle styrker eller svakheter man må være oppmerksom på i framtidig forskning. I artiklene fikk man et innblikk i hvordan de ulike studiene forholdt seg til tidligere forskning, om det var enighet eller uenighet i fagfeltet. Det ble vurdert om enkelte teorier var gjentakende, eller om det har skjedd endringer i løpet av tiden. Ved å analysere tidligere studier kunne man få mulighet til å tilføye ny eller fordypende kunnskap innenfor fagfeltet. Det ble også lagt vekt på siteringsindeks, da denne verdien gir en indikator på studiets kvalitet og effekt i forskningsmiljøet.

(Chiesa, et al., 2019) testet ulike designtiltak som kan redusere energiforbruket i et fiksjonelt passivhus plassert i Helsinki (Finland) og Torino (Italia). Studiets hovedfokus var forhold mellom vindu og vegg, men de studerte også effekten av isolasjon, orientering, solskjerming og ventilasjonsskjøling. (Tsanasa & Xifara, 2012) utviklet et rammeverk for statistisk maskinlæring, for å studere varme -og kjølebehov i tolv bygninger satt sammen av atten elementære kuber (rom). Det var fokus på rommets orientering, areal på glass og overflater samt romhøyde. Simuleringene ble utført med klimadata fra Athen (Hellas). (Elbeltagi, E, Wefki, Abdrabou, Dawood, & Ramzy, 2017) ønsket å forenkle prosessen fra bygningssimuleringer til analyser. De kom med en ny strategi som skulle være mer nøyaktig og effektiv. I simuleringene ble det brukt klima -og værdata var fra Kairo (Egypt) med en kubemodell som representerte boligbygninger. Det ble studert påvirkningen ulike glasstyper og konstruksjoner i vegg, gulv og tak hadde på energiforbruket. (Hester, Gregory, & Kirchain, 2016) kjørte simuleringer på en fiksjonell enebolig i Chicago (USA). Noen av deres uavhengige variabler skilte seg ut fra andre studier, som effektivitet i varmtvannsbereder og kjel, prosent lysinstallasjon med lysrør og luftlekkasje ( $n_{50}$ ). (Yong, et al., 2017) studerte hvilken påvirkning ulike klimasoner i USA hadde på designtiltakene. Det ble brukt en grunnmodell under simuleringene. (Chen, Yang, & Wang, 2016) analyserte hvordan passive designtiltak kunne forbedre innemiljøet via belysning, ventilasjon og termisk komfort. Simuleringene ble utført på en generisk bygningsmodell plassert i Hong Kong (Kina). (Samuelson, Claussnitzer, Goyal, Chen, & Romo-Castilloa, 2016) ønsket å finne optimale designløsninger for bygninger plassert i et urbant bymiljø. Testobjektet var en prototype med simulert geografisk plassering i storbyene New York, Beijing og Shenzhen.

Studie (Tsanasa & Xifara, 2012) ble publisert i 2012, og har hittil blitt sitert 296 ganger. Ved å sammenligne studiene så man at denne artikkelen har hatt stor innflytelse på etterfølgende studier. Nøkkelbegrepene som går igjen er designparametere, optimalisering og energiforbruk i bygninger. Hver studie fokuserte på hvilke passive designstrategier man kan bruke i tidlig konseptfase for å redusere energiforbruket i bygninger. For å komme frem til et resultat har det blitt brukt samme fremgangsmetode.

Det kjøres først energisimuleringer på ønsket bygningsmodell i valgt simuleringsprogram, deretter utføres en statistisk analyse av datasettet. I artiklene var det stort søkelys på hvilket simuleringsprogram og analysemetode ga mest korrekt validering. Gjentakende teorier er at parameterne som påvirker energiforbruket mest, da spesielt kjølebelastningen, er:

- g-verdi
- Forholdet mellom vindu og vegg
- Type vindusglass -og areal
- Isolasjon i bygningen (tykkelse, kvalitet)

I analyserte studier simulerte bygningsmodellene kontor eller boligbygning. Generelt har modellene en ukomplisert oppbygning og utforming. Fordelen er bedre kontroll på de ulike parameterne som kan påvirke energisimuleringen, slik at det er mindre sjanse for at ukjente faktorer «forstyrre» resultatet. Det vil også være enklere å endre variable parametere i en mindre komplisert modell. De fleste studiene har bare simulert en bygning eller rom på ett plan. Noen unntak er det, som eksempel (Hester, Gregory, & Kirchain, 2016) modellerte en to- etasjes boligbygning for å studere blant annet påvirkningen et uoppvarmet loft har på energiforbruket. På grunn av for mange designparametere fikk man ikke et endelig resultat med statistisk programvare. Det var ikke inkludert effektivitet på varmegjenvinneren og ventilasjonshastighet i metamodellen, dermed vil resultatet energiforbruk avvike fra reell situasjon siden dette er faktorer som har innvirkning på forbruket. Studie (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) simulerte et to- etasjes kontorbygg. Deres analysemetode var Artificial Neural Network (ANN) med varians -og multippel regresjon, som ga veldig spesifikke resultater uavhengig av mange parametere. I studien var det ikke tatt hensyn til termisk komfort, dette ble anbefalt i fremtidige studier. (Simson, Kurnitski, & Maivel, 2016) testet 158 rom fra 25 bygningsmodeller som simulerte bygårder de tidligere hadde utført innendørs temperaturmålinger i. De ønsket å studere om man kunne gjøre enkle designtiltak på fremtidige bygg for å unngå overtemperatur. (Hilliaho, Mäkitalo, & Lahdensivu, 2015) kjørte energisimuleringer på to leiligheter med balkong i en typisk finsk 70-talls boligblokk. Dette var for å se hvor stor effekt balkong og dens konstruksjon har på energiforbruket. For masteroppgaven er studie (Chiesa, et al., 2019) og (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) svært aktuelt da deres bygningsmodell følger passivhusstandard.

Ifølge studie (Østergård, Jensen, & Maagaardb, 2016) er det ingen simuleringsprogramvare som oppfyller alle punktene, så det er kravene man stiller til rammeverket som påvirker valget av simuleringsprogram. Det var flere av de analyserte studiene som hadde valgt EnergyPlus som sitt energisimuleringsverktøy. EnergyPlus er godt anerkjent blant ingeniører i bransjen. Programmet er etterfølger av DOE-2 og BLAST som har vært på markedet siden slutten av 70-tallet. Den bruker tekstfiler for å lese av inngangsverdier og skrive utgangsresultater (EnergyPlus). Ved å koble EnergyPlus med et 3D-program får man en grafisk fremstilling. I studie (Chiesa, et al., 2019) ble bygningsmodellen modellert i 3D-programmet Rhino Grasshopper før man utførte energisimuleringer i EnergyPlus. (Xu,

Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) valgte derimot 3D-programmet OpenStudio som er utviklet for EnergyPlus. Ved å bruke optimaliseringsverktøyet jEPlus eller BeOpt i samarbeid med EnergyPlus optimaliserer man simuleringsprosessen, og kan identifisere energisparende designtiltak ved bruk av komplekse parametriske analyser. IDA ICE er et helhetlig grafisk energisimuleringsprogram som dynamisk beregner energibalansen i bygninger basert på varierende klima og tidstrinn. Ved å koble programmet sammen med optimaliseringsverktøyet GenOpt kan man optimalisere simuleringsprosessen. Studie (Gelesz, Lucchino, Goia, Serra, & Reith, 2020) valgte å bruke både EnergyPlus og IDA ICE i deres forskning. Dette var for å sammenlikne resultatene, og se om begge programmene ga den samme gunstige løsningen. Både (Simson, Kurnitski, & Maivel, 2016) og (Hilliaho, Mäkitalo, & Lahdensivu, 2015) kjørte energisimuleringer med IDA ICE på store bygninger for å finne designløsninger. (Tsanasa & Xifara, 2012) brukte energisimuleringsprogrammet Ecotect i sin forskning, da Autodesk ikke lenger oppdaterer programmet er dette utelukket for masteroppgaven. Studie (Yong, et al., 2017) valgte simuleringsprogrammet TRNSYS. Programmet har vært på markedet i 36 år, og er et fleksibelt og grafisk verktøy med hovedfokus på termisk og elektrisk energi i systemer. Det er mulig å analysere og kontrollere datasettet i programmet ved å sette opp matriser, utføre lineære regresjoner, og interpolere eksterne datafiler (TRNSYS, u.å.). I tidligere forskning har man ofte brukt TRNSYS for å utføre energisimuleringer på bygninger med fornybare energisystemer, da spesielt solcellepaneler.

Det er utfordrende å gjøre en god statistisk analyse på et omfattende datasett. Problematikken i forskningsstudiene var å finne en analysemetode som tok hensyn til viktige parametere, samt ga et validert resultat. Det var noe uenighet mellom studiene om hvilke statistiske analysemetoder var mest gunstig å bruke. Derimot var det enighet om at det var viktig å ha kontroll på inngang -og utgangsparametere, samt kunnskap om hvordan parameterne påvirker hverandre. De fleste valgte å kombinere ulike statistiske metoder for å validere prosessen og resultatet. Det var en del av studiene som valgte å utføre regresjonsanalyse på datasettet fra simuleringen. Regresjonsmetoden ble valgt på bakgrunn av om det var én eller flere uavhengige variabler. (Chiesa, et al., 2019) analyserte datasettet ved å bruke polynomregresjon. Denne regresjonsteknikken brukes når det er ikke-lineære forhold mellom uavhengige og avhengige variabler, og man ønsker å finne en matematisk funksjon eller kurve som passer til datasettet. For å definere forskjellene mellom verdiene i studie brukte dem rot-middel-kvadratavvik, som gir et mål på hvor nøyaktig modellen er. (Chen, Yang, & Wang, 2016) brukte Monte Carlo-metoden for å estimere en løsning på datasettet ved å kjøre flere forskjellige utfall utallige ganger. Deretter ble det utført en multippel lineær regresjonsanalyse for å finne sammenhengen mellom uavhengige og avhengige variabler. Noen studier valgte å utføre sensitivitetsanalyser på datasettet, for å studere hvor stor påvirkning én eller flere variabler har på utfallet. (Gelesz, Lucchino, Goia, Serra, & Reith, 2020) brukte lokal sensitivitetsanalyse på datasettet. Ved å forandre én inngangsparameter om gangen opprettholdt dem kontroll på eventuelle endringer på utgangsparametere. De fleste studiene valgte å gjøre analysene i Python, Excel eller Matlab, (Hester, Gregory, & Kirchain, 2016) og (Yong, et al., 2017) valgte derimot å kjøre regresjonsanalyser i statistisk programvare (JMP og R).

Studie (Hester, Gregory, & Kirchain, 2016) kjørte energisimuleringer på en to-etasjes boligmodell. De fokuserte på hvordan man kunne utføre gode statistiske analyser for å identifisere optimale designparametere. Resultatet ble at god isolasjon på loft og tak kunne være et godt designtiltak. (Chiesa, et al., 2019), (Elbeltagi, E, Wefki, Abdrabou, Dawood, & Ramzy, 2017) og (Samuelson, Claussnitzer, Goyal, Chen, & Romo-Castilloa, 2016) mente at deres forskning kunne hjelpe fagfolk å ta gode avgjørelser tidlig i designfasen. (Simson, Kurnitski, & Maivel, 2016) ønsker at deres forskning kan forbedre boligsektoren, ved å vise at passive tiltak kan bidra til å oppfylle kravet til bygårder uten å bruke kjøling. (Samuelson, Claussnitzer, Goyal, Chen, & Romo-Castilloa, 2016) konkluderer at det er kostnadseffektivt med parametriske energisimuleringer siden man kan studere mange parametere i løpet av en kort tidsperiode. Derimot kan simuleringer i tidlig designfase være begrenset med tanke på budsjett og erfaring. (Chen, Yang, & Wang, 2016) mener at andre optimaliseringsstudier kan bruke deres resultater som referanse. Forskerne i studie (Tsanasa & Xifara, 2012) ønsker å kjøre flere tester på datasettet får å få bedre innsikt. (Delgarm, Sajadi, Azarbad, & Delgarm, 2017) poengterer at oppnådde resultater er bare gyldig for deres forskning. Det anbefales å bruke global sensitivitetsanalyse og regresjonsanalyse for å sammenligne og evaluere datasett. Studie (Hester, Gregory, & Kirchain, 2016) fikk ikke noe konkret resultat på grunn av for få parametere i metamodellen. Derfor foreslår de å utvikle en større modell med flere designparametere. (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) anbefaler å utføre analyser med Artificial Neural Network (ANN), da det vil være enklere å utføre enn dynamisk beregningsmetode. (Gelesz, Lucchino, Goia, Serra, & Reith, 2020) mener at en ideell forskningsprosess vil være å utføre en sensitivitetsanalyse på datasettet før man kjører en parametriske analyse. Dette for å redusere antall parametere slik at man lettere kan identifisere de som har størst virkning.

Valgte studier har analysert andre forskningsprosjekter innen samme fagfelt for å eventuelt bekrefte/avkrefte etablert kunnskap, bygge videre på tidligere forskning, finne forbedringspotensialet eller kunnskapshull. (Chiesa, et al., 2019) har benyttet skriptspråk under simuleringene slik at antall simuleringer økte med to eller tre størrelsesordener i forhold til tidligere studier. (Elbeltagi, E, Wefki, Abdrabou, Dawood, & Ramzy, 2017) har en ny strategi for energisimuleringer på bygninger i tidlig designfase. (Samuelson, Claussnitzer, Goyal, Chen, & Romo-Castilloa, 2016) bemerket at tidligere forskning ikke inkluderte bykonteksten i sine energisimuleringer. For å kunne ta riktig designbeslutning er dette i henhold til dem en viktig parameter. (Hilliaho, Mäkitalo, & Lahdensivu, 2015) gjorde sensitivitetsanalyser på et større omfang enn noen av studiene dem studerte. (Tsanasa & Xifara, 2012) stiller seg kritisk til enkelte statistiske analyser utført i andre studier. De mener at forenklete matematiske antagelser med lineær korrelasjon og klassisk minste kvadraters regresjon vil være utilstrekkelig på kompliserte datasett. Det ble bemerket at enkelte studier som hadde brukt maskinlæring, manglet viktig informasjon i artikkelen for å støtte opp analyseprosessen. I de fleste utførte sensitivitetsanalyser har naturlig ventilasjonshastighet blitt satt som inngangsparameter i modellen. I henhold til studie kan dette føre til feiltolkning av resultatene på grunn av dens høye korrelasjon med andre designparametere. (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) følte det manglet integrert design i tidligere studier, derfor inkluderte dem tolv parametere relatert til isolasjon, aktivitet, glass og WWR.



Ved å studere andre forskningsstudier har man blitt oppmerksom på fremgangsmetoden, samt ulike simulasjonsprogram og analysemetoder som kan være aktuell for masteroppgaven. Som nevnt tidligere var det to studier som undersøkte effekten av passive tiltak på bygningsmodeller med passivhusstandard, (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) og (Chiesa, et al., 2019). Hovedfokuset var å redusere energiforbruket og kostnaden med optimal isolering, vinduets termiske egenskaper og vindu -til-vegg andel. I motsetning til andre studier som er analysert, undersøkte (Chen, Yang, & Wang, 2016) også operativ temperatur. Simuleringene ble utført på ett rom i en leilighet plassert i et varmt og fuktig klima. Tiltakene var vindu -til- gulv andel, solfaktor (g-verdi), samt bygningskroppens geometri og termofysiske egenskaper. Under litteratursøket fant man en del studier som valgte IDA ICE til parametriske sammenligninger, men bare noen få utførte en statistisk analyse på simuleringsresultatene. Bygningsmodellen i disse studiene fulgte derimot ikke passivhusstandarden. I masteroppgaven er ønsket å finne passive løsninger som kan hindre overtemperatur. I forskningsprosessen blir det benyttet simuleringsprogram og statistisk analyse Det som skiller masteroppgaven fra tidligere studier er fokus på termisk komfort, i tillegg til energiforbruket i passivhus. En annen ting som gjør at masteroppgaven skiller seg ut, er utvikling av dimensjonskriterier for passive tiltak.

## 3 TEORETISK BAKGRUNN

---

### 3.1 TEKNISK FORSKRIFT OG STANDARDER

I dette delkapittelet blir standarder og tekniske forskrifter som er aktuelt for dette studie presentert. Siden kontorbygningen skal tilfredsstillere passivhusstandard vil man hovedsakelig bruke standard NS 3701 under oppbygningen av referansemodellen. Tabell 1 viser verdiforskjellen mellom minimumskravene til TEK17 og NS 3701.

Tabell 1 Minimumskrav i TEK17 og NS 3701

Parametere	NS 3701	TEK17	Enhet
U-verdi, tak	0,08 - 0,09	$\leq 0,18$	W/m <sup>2</sup> K
U-verdi, gulv	0,08	$\leq 0,18$	W/m <sup>2</sup> K
U-verdi, yttervegg	0,10 - 0,12	$\leq 0,22$	W/m <sup>2</sup> K
U-verdi, vindu og dør	$\leq 0,80$	$\leq 1,2$	W/m <sup>2</sup> K
Lekkasjetall, n50	$\leq 0,60$	$\leq 1,5$	h <sup>-1</sup>

#### 3.1.1 Tek17

I TEK17 finnes funksjonskrav som angir minimumsgrensen av egenskaper en bygning må inneha for å kunne oppføres lovlig i Norge (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017). Forskriften har generelle funksjons- og ytelseskrav til både bygningsdeler og bygninger. Energikravene er skapt på bakgrunn av politiske målsetninger og direktiver fra EU for å redusere energibehovet i bygninger. Kapittel 13 og 14 i TEK17 er svært aktuelt for dette studie, da det oppgir krav innenfor inneklimate og energi. Man finner også veiledning til preaksepterte ytelser som vil bidra til å oppfylle kravene. I forskriften anbefales det videre å bruke standarder og SINTEFs Byggforskserie ved planlegging, prosjektering og utførelse for å oppnå gode byggverk.

#### 3.1.2 NS 3031

NS 3031 følger de nasjonale retningslinjene som er utarbeidet angående valg og verdier for beregninger. Den kan brukes til å dokumentere energikrav angitt i TEK17, samt beregne energiytelse i forbindelse med energimerking av bygninger. For nye bygninger har man tilgang til alternative løsninger eller spesifiserte

bruksbetingelser for å optimalisere energiytelsen. I standarden finner man også krav i henhold til inneklimatekvaliteter som luftkvalitet, CO<sub>2</sub>-utslipp, termisk komfort og tilfredsstillende dagslystilgang.

### 3.1.3 NS 3701

I Norge har man passivhusstandard NS 3701 som definerer krav til oppvarmingsbehov, varmetapstall, energiforsyning, bygningsdeler og komponenter i yrkesbygninger. Standarden brukes til planlegging, bygging og evaluering av yrkesbygninger som skal oppnå et lavt energibehov. NS 3701 baserer seg på «energibehovsberegninger etter NS 3031 med standardiserte inndata». Kravene som er satt gjelder både nye yrkesbygninger og oppgradering av eksisterende bygninger for å oppfylle lavenergi- eller passivhusstandardnivå i Norge. Hovedsakelig gjelder kravene for hele bygningen, men ved noen unntak kan de også benyttes på deler av bygningen. Standarden kan benyttes til vurdering av kravoppnåelse, produkter, bygningselementer, samt utførelse av bygningsteknisk arbeid.

## 3.2 TERMISK ISOLASJON I BYGNINGER

Formålet med termisk isolasjon i bygninger er å redusere energibruken til oppvarming og kjøling, samt forminske termisk variasjon. Det er både et økonomisk og miljømessig tiltak som kan utføres på nye og renoverte bygg.

### 3.2.1 Varmetransport

Isolerende materialer vil redusere varmetapet gjennom bygningskonstruksjon, samt energibehovet til varme- og kjølesystemer. Varme overføres via konduksjon (varmeledning), konveksjon eller stråling på grunn av temperaturforskjeller mellom innendørs og utendørs.

#### 3.2.1.1 Konduksjon (varmeledning)

Konduksjon er varmetransport gjennom veggen forårsaket av interaksjon mellom molekyler med ulik energi. Molekyler med høy energi (varme) overfører energien sin til molekyler med mindre, varmen blir da overført fra varm side av konstruksjon til kald side. Konduksjon kan forekomme i både gass, væsker og solide materialer. Hastigheten på varmeledningen avhenger av konstruksjonens tykkelse, geometri, materiale og temperaturforskjell mellom innendørs og utendørs (Cengel & Ghajar, 2016).

Varmeoverføringen gjennom konstruksjon er gitt av ligning 1:

*Formel 1 Varmeoverføringen gjennom konstruksjon [W]*

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ eller } \dot{Q} = u \cdot \Delta T \cdot A$$

$k$  = varmekonduktivitet

$\Delta x$  = konstruksjonens tykkelse

$A$  = areal

$\Delta T$  = temperaturforskjell

$u$  = varmegjennomgangskoeffisient

Materialets isolasjonsevne vurderes ut ifra varmekonduktivitet,  $k$ , eller varmegjennomgangskoeffisient,  $U$ -verdi. Varmegjennomgangskoeffisientens verdi er et resultat av dimensjonerende varmekonduktivitet ( $k$ ) og tykkelse ( $d$ ),  $U = \frac{1}{R}$  hvor  $R = \frac{d}{k} =$  varmemotstand. Lav varmekonduktivitet -eller  $U$ -verdi tilsvarer god isolasjonsevne.

### **3.2.1.2 Konveksjon**

Overflatekonveksjon er når varme overføres fra en overflate til omrørbart fluid (væske eller gass). Naturlig konveksjon forekommer når det er temperaturforskjell mellom fluid og solid overflate, mens tvungen konveksjon skjer på grunn av ytre påvirkning som eksempel vifter. Desto større strømningshastighet til fluid, desto større varmetransport (Cengel & Ghajar, 2016). Varmeoverføringen mellom luft og overflateareal er gitt av ligning 2:

*Formel 2 Varmeoverføringen mellom luft og overflateareal*

$$\dot{Q} = hA_s \cdot (T_s - T_\infty) \text{ [W]}$$

$h$  = varmeovergangstall

$A_s$  = overflateareal

$T_s$  = overflatetemperatur

$T_\infty$  = omgivelsestemperatur

Verdien til konvektiv varmeovergangstall,  $h$ , avhenger av overflatens geometri, samt strømmingens egenskaper, bevegelse og hastighet.

### 3.2.1.3 Termisk stråling

Termisk stråling forekommer i varierende grad i både gass, væsker og solide materialer, enten ved avgivelse, absorbering eller overføring. Stråling skjer via elektromagnetiske bølger på grunn av temperatur. Varmeoverføring på grunn av stråling fra en reell overflate er gitt av ligning 3:

Formel 3 Varmeoverføring på grunn av stråling fra en reell overflate [W]

$$\dot{Q} = \epsilon \sigma A_s T_s^4$$

$\epsilon$  = emissivitet

$\sigma$  = Stefan-Boltzmann konstant ( $5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ )

$A_s$  = overflateareal

$T_s$  = overflatetemperatur

Emissiviteten,  $\epsilon$ , beskriver overflatens varmeavgivelse. Verdiområdet til emissiviteten er  $0 \leq \epsilon \leq 1$ , der 1= ingen varmeavgivelse (svart legeme). En annen viktig egenskap til overflaten er absorpsjonsevnen,  $\alpha$ , som emissiviteten ligger verdiområdet mellom  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Svart legeme absorberer all stråling, altså  $\alpha=1$ . Både emissiviteten og absorpsjonsevnen til en overflate er avhengig av temperatur og strålingens bølgelengde (Cengel & Ghajar, 2016).

### 3.2.2 Sol -og lystransmisjon

Vindusglassets egenskaper bestemmes av sammensetningen av solfaktor (g-verdi), direkte soltransmisjon ( $T_{dir}$ ) og lystransmisjon ( $T_{vis}$ ). Analysen (Erichsen & Horgen AS, 2007) utført etter oppdrag fra Enova, BE og Statsbygg viser hvordan glassegenskapene påvirker temperatur og energibruk i et rom (figur 1).

Temperatur	Energibruk
<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>g_{glass}</math></li><li>• <math>g_{tot}</math></li><li>• areal</li><li>• orientering</li><li>• helling</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>g_{glass}</math></li><li>• <math>g_{tot}</math></li><li>• areal</li><li>• U-verdi</li></ul>

Figur 1 Glassegenskapens påvirkning på temperatur og energibruk

Glassets  $g$ -verdi angir hvor mye solenergi (infrarød stråling) som slipper igjennom vinduet, lav  $g$ -verdi tilsvarer lite solinnstråling. På fasader vendt mot sør, øst og vest ønsker man en svært lav  $g$ -verdi for å unngå overtemperatur. Direkte soltransmisjon ( $T_{dir}$ ) angir hvor mye solstråling som går direkte gjennom vindusglasset og/eller solskjermingen uten å bli absorbert eller reflektert. Overflatetemperaturen på vinduet påvirkes av både  $g$ -verdi og  $T_{dir}$ . Når solenergi blir absorbert i flaten, avgis den i form av konveksjon og stråling. Dette gir solvarmetilskudd under oppvarmingssesongen som vil redusere varmebehovet, men kan føre til termisk ubehag hvis man oppholder seg nært fasaden. Ved å benytte et emisjonsbelegg på glasset vil man begrense andel varme som stråler fra overflaten. Et ubelagt glass har en emissivitet på 0,837, dvs. 83,7% varmestråling fra overflaten, et lavemisjonsbelegg på glasset ( $< 0,2$ ) vil derimot gi under 20% varmestråling. Lystransmisjon ( $T_{vis}$ ) angir andel synlig lys som vil passere gjennom glass og/eller solskjerming. Glass med høy  $T_{vis}$  gir mer dagslys inn i rommet som kan redusere behovet for kunstig belysning, men det kan også føre til blinding. Blinding kan derimot unngås ved å velge en solskjerming med lav lystransmisjon.

### 3.2.3 Solskjerming

Ved å bruke solskjerming kan man redusere den totale solfaktoren betraktelig ( $g_{tot}$ ) og forminske varmetapet igjennom ruta slik at  $U$ -verdien blir forbedret, samt regulere tilgangen til passiv solvarme. Utvendig solskjerming gir god varmebeskyttelse samtidig som den beskytter glasset mot vind og stråling mot nattehimmelen. Innvendig solskjerming reduserer varmetapet ved å danne et stillestående luftlag mellom glass og skjerm, men siden glass allerede har gode isolasjonsegenskaper vil denne type solskjerming bli utilstrekkelig som varmekontroll. I motsetning til utvendig solskjerming vil det være vanskelig å oppnå en lav nok  $g$ -verdi med innvendig skjerm slik at man risikerer overtemperatur og økt energibruk (Forskningsrådet, 2014). Studie (Erichsen & Horgen AS, 2007) sjekket overflatetemperaturen på innvendig flate mot rom for ulike solskjermingsløsninger. Resultatet fra analysen bekreftet at innvendig solskjerming ikke egnet seg til varmekontroll, da overflatetemperaturen var ca. 10 °C høyere med innvendig solskjerming i forhold til utvendig. Derfor vil man utelukke innvendig solskjerming i dette studie hvis solskjerming blir et alternativ.

## 3.3 PASSIVHUS

Passivhus har høyere krav til installasjoner og bygningstekniske løsninger enn dagens standard. Allerede i tidlig konseptfase må man ta hensyn til kravene i NS 3701 for å oppnå tilstrekkelig lavt energibehov. Det er derfor en fordel å etablere en beregningsmodell så tidlig som mulig, uavhengig om man har tilgang på all reell inndata. Beregningsmodellen brukes for å avklare nødvendige forutsetninger, og eventuelt til å optimalisere installasjonene og bygningens egenskaper for å oppnå passivhusstandard.

Beregningsresultatene kontrolleres etter hvert som endringer i inndata blir utført. For å sikre et godt termisk innneklima i henhold til forskriftskrav utfører man simuleringer på romnivå. Viser beregningene

risiko for overtemperatur kan passive tiltak som eksempel solskjerming og redusert vindusareal på solutsatt fasade øke termisk komfort (Byggforskserien 473.015, 2013).

### 3.3.1 Krav til termisk og atmosfærisk miljø

Det er viktig med et godt inneklima på arbeidsplassen, da dette kan øke funksjonsevnen og produktiviteten til de ansatte (Arbeidstilsynet, u.å.). Termisk miljø innebærer temperatur og luftfuktighet innendørs. TEK17 § 13-4 anbefaler en operativ temperatur mellom 19-26 °C når man utfører lett arbeid. Ansatte på kontorbygg har gjerne stillesittende aktiviteter som tilsvarer en henholdsvis lav varmeproduksjon fra kroppen (1,2 met = 70W/m<sup>2</sup>). Bekledning forhindrer varmetap fra kroppen, og på kontoret antas det at bekledningen består enten av skjorte, genser, bukse eller skjørt. Isolasjonsevnen i bekledningen, clo, er da på  $0,85 \pm 0,25$  (0,133 m<sup>2</sup>K/W  $\pm$ ). PPD-indeksen forutsier prosentandelen misfornøyde personer med termisk inneklima ved gitt aktivitet og bekledning. Den minste PPD-indeksen man kan oppnå er 5%, da mennesker har ulike preferanser angående termisk komfort. NS-EN 15251 har delt termisk inneklima og luftkvalitet inn i fire kategorier. Kategori ii som tilsvarer «Normalt forventningsnivå. Bør brukes i nye og oppgraderte bygninger» er mest aktuelt for kontorbygningen (Byggforskserien 421.501, 2017). Andel misfornøyde (PPD) i kategori ii skal være maksimalt 10%.

### 3.3.2 Ulike passive energiltak

I passivhus brukes det passive tiltak for å redusere energibehovet, samt opprettholde godt termisk inneklima og luftkvalitet. I nybygg har man større muligheter til å bruke formmessige virkemidler for å redusere kjøling -og oppvarmingsbehovet. Anvendt strategi kan være:

- optimalisering av glassareal for å oppnå lavt energibruk og bedre dagslysforhold
- minimering av overflate på bygning for å redusere varmetapet
- solskjerming
- orientering av bygget

Bygningstekniske tiltak man kan benytte er:

- mindre sammenføyninger i bygningskroppen slik at man oppnår god tetthet (mindre luftlekkasjer)
- godt isolerte vinduer
- ekstra isolasjon i yttervegger, dekke, tak og gulv

## 3.4 KLIMA I NORGE

Norge er delt inn i tre klimasoner etter Köppens klimaklassifikasjon, inndelingen er basert på temperatur - og nedbørnormaler (figur 2). Sone C, varm -tempert klima, er langs kysten fra ytre Oslofjord til Troms. I disse områdene er det vanlig med mye nedbør og milde vintre. Sone D, kald- temperert klima, dekker

store deler av Trøndelag og Østlandet mot sørlandsfylkene Vest-Agder og Rogaland, samt noe i Nordland, Troms, østre Finnmark og på Finnmarksvidda. Klimaet her er generelt tørrere, men med kaldere vintre. Sone E, polarklima, finner man i en del fjellområder samt deler av Øst-Finnmark. Karakteristikken er middeltemperatur under 10 °C i årets varmeste måneder (SINTEF Byggforsk, 2010).

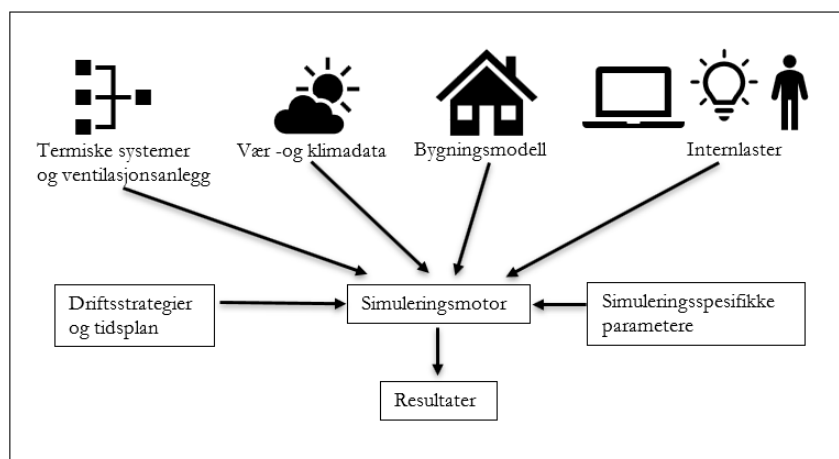


Figur 2 Köppens klimasoner. (Mamen, 2021)

### 3.5 SIMULERINGSPROGRAM

Energisimuleringsprogram for bygninger er svært gunstig å bruke for å analysere energiforbruk og inneklime (figur 3). Simuleringsprogram blir brukt i både skolesammenheng, arbeidslivet, forskningsmiljøet for å vurdere ulike bygningers forbruk og behov. I tidlig fase av et bygningsprosjekt utfører man simuleringer for å finne optimale energieffektive løsninger. Tiltakene man vurderer kan være innenfor bygningskonstruksjon, belysning, automatikk, varme -og kjølesystemer og/eller ventilasjonsanlegg. Ved å utføre simuleringer kan man gjøre en helhetlig vurdering av diverse tiltak som medvirker til redusert energiforbruk, samtidig som man opprettholder et tilfredsstillende inneklime. Noen simuleringsprogram har integrerte standarder og forskrifter slik at beregningene blir utført etter gjeldende lovverk. Det er viktig at simuleringsprogrammet kan realistisk gjengi en bygnings geometriske fremstilling og endringer i henhold til visse kriterier, slik at sammenligninger av ulike designalternativer blir optimalt (Maile et. Al, 2007). Blant de mest vanligste simuleringsprogrammene på markedet i dag er EnergyPlus, IDA ICE og TRNSYS. Disse skal man se nærmere på i de neste delkapitlene.





Figur 3 Simuleringsprosessen

### 3.5.1 IDA ICE

IDA ICE er et energisimuleringsprogram for bygninger utviklet i 1998 av det svenske firmaet, EQUA Simulations AB. I programmet kan man utføre avanserte dynamiske multi- sone simuleringer for å studere termisk inneklime samt energiforbruk. IDA ICE bruker matematisk modelleringsspråk, Neutral Modell Format (NMF), som baserer seg på algebraisk differensialformler. Dette gir et fleksibelt brukergrensesnitt, samt man kan sjekke hver formel og variabel selv. Siden IDA ICE er et brukerdefinert program så er det mulig å sette opp varme/kjøle -og ventilasjonsanlegget etter eget ønske, samt bestemme hvordan systemet skal reguleres (EQUA, u.å.a). Bygningsmodellen kan også modelleres etter egne kriterier, eller man kan importere 3D CAD buildings direkte via *The BIM Import extension*. *The BIM Import extension* bruker IFC format som de fleste CAD programmene kan eksporteres til, for eksempel Autodesk Revit eller ArchiCAD (EQUA, u.å.b). IDA ICE har tilpasset klimadata, standarder, materialdata og produkter etter lokasjon. Værdata kan for eksempel lastes ned fra ASHRAE IWEC som gir tilgang til værdata fra 3012 lokasjoner utenfor USA og Canada (EQUA, u.å.c).

### 3.5.2 EnergyPlus

EnergyPlus er et dynamisk og avansert energisimuleringsprogram utviklet av U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO). Programmet er etterkommer av DOE-2 and BLAST som ble allerede utgitt sent på 70-tallet. I EnergyPlus har man mulighet til å dimensjonere varme- og kjølebehov, varmtvannsforbruk, og ventilasjon. I programmet er det komponentbaserte HVAC systemer, og innebygde kontrollreguleringer for HVAC og belysning. I tillegg kan bruker studere varmebalansen i bygningen forårsaket av stråling og konveksjon, noe som påvirker termisk komfort. Programvaren har innebygde ligninger og algoritmer for å beregne ulike situasjoner, som eksempel TARP. TARP algoritme (Thermal Analysis Research Program) beregner resultatet av utvendig konvektiv varmetransport på vegg (EnergyPlus, u.å.a). EnergyPlus har åpen kildekode og ubegrenset grafisk grensesnitt, slik at man kan kjøre avanserte simuleringer på hele bygningen. Værdata kan lastes ned fra ASHRAE IWEC, for Norge er

datafiler fra Oslo (Fornebu) og Bergen tilgjengelig for dette programmet. EnergyPlus er konsollbasert program (ikke grafisk), den leser av inndataparameterne og skriver ut utdataresultatene i tekstfil. Det kan derfor være vanskelig og tidkrevende å lage bygningsmodeller på grunn av grensesnittet IDF Editor. For en mer grafisk tilnærming så kan 3D-modelleringsprogrammet SketchUp med OpenStudio eller Rhinoceros brukes i samarbeid med EnergyPlus (EnergyPlus, u.å.b).

### 3.5.3 TRNSYS

TRNSYS er et grafisk simuleringsprogram utviklet på 1970-tallet i et samarbeid mellom Colorado State University og University of Wisconsin-Madison. Programmet blir hovedsakelig brukt til å vurdere ytelsen til transiente systemer, som termiske og elektriske energisystemer (eksempel varmtvannsanlegg). TRNSYS er for eksperter som har god kunnskap om selve programvaren, samt inngående opplysninger om anlegget som skal dimensjoneres. Den baserer seg på algebraiske differensialligninger, altså finne løsning på én eller flere ukjente parametere. Programmet består av to deler, simuleringsmotor og grafisk grensesnitt.

Simuleringsmotoren (kjernen) har en mer matematisk funksjon, den finner løsninger til systemet, lager matriser, utfører lineære regresjoner, behandler inndata -og utdatafiler. I grafisk grensesnitt (biblioteket) har man tilgang til rundt 150 modeller bestående av alt fra pumper til bygninger, VVS- komponenter og værdata. TRNSYS har åpen kildekode slik at det er mulig å endre modellene etter eget ønske (TRNSYS, u.å.).

### 3.5.4 Sammenligning av simuleringsprogram

Det har vært en rekke studier angående hvilke simuleringsprogram er mest gunstig å bruke. Det viser seg at alle programmene har sine fordeler og ulemper, og man må derfor velge det programmet som oppfyller sine egne kriterier.

(Jarić, Budimir, Pejanović, & Svetel, 2013) gjorde en sammenligning mellom de mest komplette programvarene. I studie var det satt opp en sjekklister-tabell for ulike funksjoner et simuleringsprogram kan inneha (Tabell 1. Comparison of features of simulation software tool). Denne informasjon kan være gunstig ved valg av simuleringsprogram til designprosessen. Tabellen viser at det var mange viktige funksjoner som alle tre programmene innehadde. For å kunne sammenligne dem mot hverandre har det blitt laget et utdrag fra tabellen i forskningsstudiet med de mest aktuelle funksjonene, der én eller flere program mangler relevant egenskap (tabell 2).

Tabell 2 Utvalgte funksjoner i et simuleringsprogram

Funksjoner	EnergyPlus	IDA ICE	TRNSYS
Varighet av tidsberegning			
Simultant valg av bygningssystemer og bruker	-	+	+
Komplett geometrisk beskrivelse			

Polygoner med mange fasader (kompleks geometri)	+	+	-
Termofysiske variabler	-	+	-
Dagslys og lysstyring	+	+	-
Modellering av CO <sub>2</sub>	-	+	+

I EnergyPlus kan man utføre raske simuleringer for en sone i bygningen, i IDA ICE og TRNSYS blir automatisk hele bygningssystemet valgt. Dette kan være tidkrevende, men en løsning i IDA ICE er å benytte «Zone Multiplier». Denne funksjonen forenkler bygningsmodellen ved å samle de sonene som har like egenskaper og påkjenninger, slik at beregningstiden reduseres. Det er en del geometriske funksjoner TRNSYS mangler som vil vært avgjørende for energisimuleringen. Blant annet er lysstyring i enkelte bygninger essensielt for å opprettholde passivhuskravene. Det er også viktig at valgt program håndterer kompleks arkitektur, samt at det blir tatt hensyn til termofysiske variabler (varmekapasitet og konduktivitet) i bygningskroppen siden dette vil ha stor betydning for termisk inneklima. For inneklima generelt er det viktig at man holder CO<sub>2</sub>-nivået innenfor kravet.

(Nageler, et al., 2016) utførte simuleringer på en bygningsmodell med integrert TABS system. De ønsket å teste om simuleringprogrammene beregnet riktig temperatur i rommet, takoverflaten samt i betongen. Resultatene fra EnergyPlus, IDA ICE og TRNSYS ble sammenlignet mot reelle måledata. Statistisk analyse viste at standardavvik, gjennomsnittlig -og maksimal feil var akseptabel for alle programmene. (Gelesz, Lucchino, Goia, Serra, & Reith, 2020) utførte simuleringer både i EnergyPlus og IDA ICE i deres optimaliseringsstudie. Programmene ga samme løsningsforslag etter en sensitivitetsanalyse. Dette var fordi begge hadde de mest sensitive parameterne tilgjengelig i programvaren.

### 3.5.5 Validering av simuleringsprogram

I henhold til NS 3031:2014 (Tillegg K) skal dynamiske beregningsprogrammer valideres og dokumenteres etter reglene i NS-EN 15265. Denne standarden beskriver en valideringsmetode for å vurdere nøyaktigheten til energisimuleringssystemer. Det blir studert årlig energibruk for romoppvarming -og kjøling. Resultatet etter simuleringene blir sammenlignet mot et referansebygg. Minstekravet er at programmene tilfredsstill minimum nøyaktighetsnivå C, dette tilsvarer en nøyaktighet på  $\pm 15\%$  i forhold til referanseverdiene (tabell 3).

*Tabell 3 Klassifisering av energisimuleringssystemer*

Klassifisering	Maksimalt avvik
A	0,05
B	0,10
C	0,15

### 3.5.6 Datasett

I tidlig prosjektfase kan bygningssimuleringsmodeller brukes til å evaluere diverse designtiltak. Det brukes ofte et syntetisk datasett i denne fasen da det gjerne mangler reelle målinger. Et syntetisk datasett muliggjør testing av ulike scenarier som kan gi kunnskap og ressurser til videre utvikling. Senere i prosjektfasen kan man sette inn reelle verdier i simuleringsmodellen, for sammenligning og verifisering. Det kreves en rekke inndata for å lage en mest mulig presis modell. I tillegg til all inndata som omhandler bygningskonstruksjonen og termiske systemer, må man ta hensyn til internlast og bruksmønstre. Disse parameterne vil i stor grad være basert på antagelser, og vil derfor skille seg noe ut ifra virkeligheten. Kvaliteten på syntetisk data er avhengig av kvaliteten på inndata og bygningsmodell. I et komplekst datasett er det viktig å kontrollere at resultatene fra simuleringene virker troverdige i forhold til referanseverdier. Ved simuleringer på nye bygninger der man mangler målinger, bruker man inndata fra nasjonale referanser eller standarder i henhold til NS 3031 (Tillegg L.2). Standard NS 3701 gjelder blant annet for nye yrkesbygninger som skal tilfredsstille passivhuskravene. Geografisk plassering og klimadata har også stor betydning med tanke på belastning på bygningen. Vær -og klimadata hentes man fra databaser som har årlig samlet inn statistikk for ulike destinasjoner. Dette medfører variasjon i dataen fra år til år (Maile et. Al, 2007).

## 3.6 OPTIMALISERINGSVERKTØY

Optimaliseringsverktøy kan brukes i samarbeid med simuleringsprogram. Dette for å effektivisere tidsbruken samt finne optimale designløsninger med maksimal energibesparelse. Ved å utføre bygningsoptimalisering i tidlig fase har man mulighet til å teste ulike designtiltak samtidig, som gir en mer integrert helhetlig tilnærming. Effektive passive tiltak i bygninger reduserer energibruken og kostnader samt opprettholder et godt inn klima (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, u.å.)

### 3.6.1 GenOpt

GenOpt er et optimaliseringsverktøy til simuleringsprogram som klarer å lese inputdata fra tekstfiler, og sende resultatet til tekstfiler. GenOpt er aktuelt for IDA ICE, TRNSYS og EnergyPlus. Programmet er utviklet for å kjøre flere simuleringer samtidig innen kortere tidsperiode, for å finne uavhengige variabler som gir god ytelse. I designparametriske studier kan man da definere verdiene som minimerer blant annet årlig energiforbruk og operativ temperatur i bygning. GenOpt har et bibliotek med ulike flerdimensjonale og endimensjonale optimaliseringsalgoritmer, inkludert algoritmer for parametriske simuleringer (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2011). Valg av flerdimensjonale algoritmer i GenOpt er:

- *Generalized Pattern Search (GPS)*: algoritmen søker etter et klart mønster i datasettet, og generaliserer resultat.
- *Coordinate Search Algorithm*: algoritmen prøver å finne den beste verdien i et punkt innenfor

variasjonsområde

- *Hooke-Jeeves Algorithm*: algoritmen prøver å finne den beste verdien innenfor en retning i variasjonsområde

- *Particle Swarm Optimization (PSO)*: populasjonsbasert optimalisering for både kontinuerlig og diskontinuerlige uavhengige variabler. Ifølge denne metoden vil den løsningen som har flest treff være mest optimal
- *Hybrid Generalized Pattern Search Algorithm with Particle Swarm Optimization Algorithm*: starter først med PSO algoritme, deretter Hooke- Jeeves algoritme. Da finner man først et mønster i datasettet, for å så finne den mest optimale verdien
- *Simplex Algorithm of Nelder and Mead with the Extension of O'Neill*: metoden blir ofte brukt på ikke-lineære optimaliseringsproblemer med mer enn én uavhengig variabel. Algoritmen finner minimum eller maksimum verdi i et spesifikt parameterområde
- *Algorithms for Parametric Runs*: definerer hvor sensitiv en funksjon er i forhold til endringer i de uavhengige variablene

### 3.6.2 JEPlus

JEPlus er et optimaliseringsverktøy utviklet for å utføre komplekse parametriske analyser i samarbeid med EnergyPlus og TRNSYS. Verktøyet er skrevet i Java som er et objektorientert programmeringsspråk. Java kan blant annet brukes til numerisk analyse for å finne løsninger på vanskelige matematiske problemstillinger. Programmet har åpen kildekode som betyr at kodingen er synlig, og man får innsikt i hvordan programmet utfører oppgavene. JEPlus har et grafisk brukergrensesnitt som gjør samhandlingen mellom bruker og data mer logisk og effektiv. Dette gjør det enklere å sette opp designparametere, redigere modeller, behandle simuleringer og samle resultater (JEPlus, 2018). I JEPlus kan man kjøre flere simuleringer samtidig for å spare tid. Resultatene blir omgjort til CSV-format fra utdata-tekstfiler i EnergyPlus. CSV-format er et filformat som omgjør datasettet til tekstform, man kan så bruke formatet i Microsoft Excel eller Python for å utføre brukerdefinerte formler.

### 3.6.3 BEopt

BEopt (Building Energy Optimization Tool) er et optimaliseringsverktøy utviklet av National Renewable Energy Laboratory (NREL) for EnergyPlus. Både inn -og utdatafiler fra simuleringen blir generert og analysert i programmeringsprogrammet Python.

BEopt er designet for å finne optimale kostnadseffektive designløsninger for nye eller eksisterende bygninger. Beregningene blir sammenlignet med et brukerdefinert referansebygg eller et *automatisk generert Building America Benchmark-hjem* (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, u.å.). Resultatet gir

realistiske designløsninger som representerer dagens bygningsmarked. Optimaliseringsanalyser som er mulig å utføre i BEopt:

- Designanalyse
  - brukerdefinert bygningsgeometri -og konstruksjon
  - beliggenhet
  - HVAC system
- Parametrisk analyse
- Optimaliseringsanalyse

### 3.7 STATISTIKK

I kompliserte optimaliseringsprosesser er det ofte slik at man ikke har full kontroll på inndataparameterne på grunn av at de varierer. Derfor kan konsekvensene av endringer i parameterne være ukjent. Ved å gjennomføre en statistisk metode på datasettet kan man planlegge simuleringene og analysere hvilke endringer som vil føre til bedre designtiltak. For å utføre en god statistisk analyse er det viktig at man har en modell som etterligner virkeligheten for å kunne ta gode beslutninger. En bygningsmodell er et eksempel på en stokastisk modell. En stokastisk modell involverer tilfeldigheter, men den kan oppgi mulige utfall samt sannsynligheten for at utfallene opptrer. For å løse et problem eller besvare et spørsmål må man samle inn nok data for å få kunnskap innenfor studieområde (Løvås, 2013). Prosessen kan bestå av fem faser (figur 4).



Figur 4 Problemløsningsprosess

I fase 1 må det defineres noen variabler som beskriver problemets omfang, disse kalles kvalitetsindikator eller nøkkeltall. For masteroppgaven er det energiforbruket og operativ temperatur som er kvalitetsindikator, og man må samle inn måleverdi for disse variablene. I denne fasen ønsker man å vite når overtemperatur og høyt energiforbruk oppstår, hvilke parametere som er involvert og hvor problemet oppstår. I fase 2 prøver man å finne årsaken til problemet. Det kan være nyttig å framsette hypoteser om mulige årsaker, kan det være for eksempel for høy g-verdi i glasset på vinduet. Etter hvert elimineres hypotesene slik at man står igjen med de viktigste årsakene. Fase 3 er å finne løsninger på problemet, som

i dette tilfellet ville vært lavere g-verdi. Deretter iverksetter man tiltak (fase 4), og endrer verdien i simuleringsprogrammet. Hensikten med fase 5 er å utføre målinger for å se om tiltakene har hatt en positiv påvirkning på kvalitetsindikator.

For å kunne gjøre en god statistisk analyse må man finne en statistisk metode som passer for et komplekst datasett.

### 3.7.1 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyse tester hvor stor påvirkning en endring i inndataparameterne har på resultatet. Metoden avslører også hvilke inndataparametere som har størst påvirkning på utdataparameterne. Det finnes to ulike sensitivitetsanalyser, lokal og global. Lokal analyse gjøres ved å endre én etter én uavhengig parameters verdi i referansemодellen for å se effekten på energiforbruket og temperaturen. Ulempen med denne analysen er manglende innsikt i samspillet mellom parameterne. Global sensitivitetsanalyse utforsker flere parametere i et designområde. Man definerer et verdiområde for hver parameter, og korrelasjon mellom parameterne. Ved å bruke teknikken Monte Carlo får man sannsynligheten for forskjellige utfall. Deretter eliminerer man risiko -og usikkerhetsfaktorer ved å utføre simuleringer med tilfeldige verdier fra sannsynlighetsfunksjonene ( (Morio, 2011)). I GenOpt kan man utføre en sensitivitetsanalyse med funksjonen *Algorithms for Parametric Runs*.

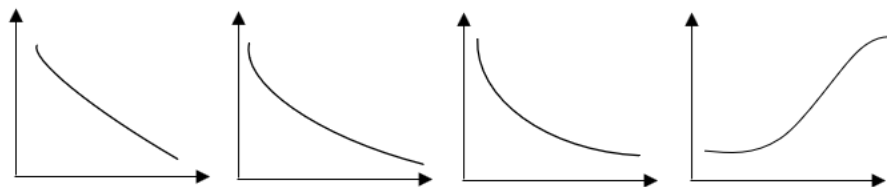
### 3.7.2 Optimaliseringsanalyse

Det er ulike matematiske funksjoner man kan utføre for å finne optimal løsning ved å sammenligne ulike utfall fra simuleringene. GenOpt har som nevnt i kapittel 3.6.1 en rekke algoritmer som kan brukes til optimalisering. Dette kan for eksempel være minimalt energiforbruk, maksimal/minimal temperatur, optimal design eller styring.

### 3.7.3 Symbolsk regresjonsanalyse

Regresjonsanalyser blir brukt for å finne eventuelle sammenhenger basert på innsamlet data. Tradisjonelle regresjonsanalyser krever at man selv finner en regresjonsmodell som beskriver datasettet best mulig. I en symbolsk regresjonsprosess benyttes statistisk programvare som søker igjennom utallige matematiske funksjoner for å skape en regresjonsmodell som er optimal til datasettet. Det finnes lineære og ikke-lineære regresjonsmodeller. Lineær regresjon forteller hvilken sammenheng det er mellom to variabler, mens multipl lineær regresjon finner sammenhengen mellom én avhengig variabel og to til flere uavhengige variabler. En ikke – lineær regresjon avsløres ved å studere spredningsplottet i diagrammet, eller på bakgrunn av kjennskap til problemet. Det finnes en rekke ikke-lineære funksjoner (eksponentiell, potensiell, logistisk, logaritmisk eller polynomisk) (figur 5). Polynomisk regresjon er en videreutvikling fra multipl regresjon. Ved å utføre polynomer av høyere orden får man bedre fleksibilitet og tilpasning til

spredningsplottet (annengrads, tredjegrads osv.). Hvis det blir brukt for mange ledd i polynomet kan det være fare for overtilpasning. Ved å studere regresjonskurven utenfor gyldighetsområdet ser man om utviklingen virker logisk eller ei (Løvås, 2013).



Figur 5 Ikke - lineære modeller: eksponentiell, potensiell, logaritmisk og logistisk

### 3.7.4 Statistiske tester

For å validere datasettet kan det utføres en rekke statistiske tester.

#### 3.7.4.1 Korrelasjon

Korrelasjonskoeffisienten  $r$  antyder hvor sterk sammenheng det er mellom to variabler. Grenseverdiene til  $r$  er  $-1$  og  $1$ , det tilsvarer at variablene ligger nøyaktig på en rett linje. Jo nærmere man er en av grenseverdiene, jo sterkere sammenheng er det mellom  $x$  og  $y$ . En positiv korrelasjon er når resultatet viser en verdi nærmere  $1$ . Det betyr at når den ene størrelsen øker vil også den andre øke, motsatt er negativ korrelasjon ( $r \approx -1$ ). Hvis  $r \approx 0$  så er det ikke en lineær korrelasjon. Ulempen med denne analysen er at det kan være en tredje variabel som påvirker både  $x$  og  $y$ , og i realiteten har de ingen sammenheng. For å være sikker på at resultatet er korrekt, kan man sjekke regresjonslinjen. Hvis linjen er horisontal er det ingen sammenheng, er linjen skrå er variablene avhengige av hverandre (Løvås, 2013).

#### 3.7.4.2 T-test

Hypotesetesting på datasett er en standard vitenskapelig fremgangsmåte for å vurdere påstander. T-test sjekker om gjennomsnittsverdien i et normalfordelt datasett er signifikant forskjellig fra nullhypotesen. Uparet T-test brukes for eksempel når man samler inn data fra to ulike bygningsmodeller. Følgende antakelser er at variablene er uavhengige og normalfordelte med standardavvik og forventning. Man ønsker å undersøke om det er noe forskjell i gjennomsnittet på de to datasettene. En paret T-test blir brukt når datasettet kommer fra bare én bygningsmodell. Sammenligning gjort med en paret test er mer pålitelig enn uparet T-test. For paret T-test må det antas at hvert observasjonspaar er uavhengige av de andre parene, mens variablene i samme par er avhengige av hverandre. Det forventes også at alle par er normalfordelt med forventning og standardavvik. Man ønsker å undersøke om det er noe forskjell i gjennomsnittet på parene. Konfidensintervallet og hypotesetesten baserer seg bare på variansen og gjennomsnittet (Løvås, 2013). Hypotesene i begge T-testene er som følge:



- $H_0$ : forventning<sub>1</sub> = forventning<sub>2</sub>
- $H_1$ : forventning<sub>1</sub>  $\neq$  forventning<sub>2</sub>

### ***3.7.4.3 Enveis -eller toveis variansanalyse***

Denne analysemetoden benyttes når man ønsker å sammenligne gjennomsnittet i mange grupper samtidig. Det kreves at observasjonene er normalfordelte og uavhengige med samme standardavvik. Hvis det er større variasjon mellom gruppene enn innad i gruppene, så forkastes nullhypotesen ( $H_0$  = gruppene er like). Viser analysen at gruppene er like, kan det være greit å utføre en toveis variansanalyse siden den lettere oppdager forskjeller mellom gruppene. Toveis analyse baserer seg på både gruppe -og blokktilhørighet. Flere observasjoner for hver kombinasjon av gruppe og blokk, øker nøyaktigheten. Det må være like mange observasjoner i hver kombinasjon for at datasettet skal være balansert (Løvås, 2013).

### **3.7.5 Programvare for symbolsk regresjon**

HeuristicLab og Eureqa er avanserte statistikkprogrammer som utfører symbolsk regresjon på datasettet.

#### ***3.7.5.1 HeuristicLab***

HeuristicLab har vært i utvikling siden 2002 av medlemmer av Heuristic and Evolutionary Algorithms Laboratory (HEAL). Programmet kjører heuristiske algoritmer for å finne approksimerte løsninger på komplekse datasett. I HeuristicLab ligger det innebygde funksjoner i systemet, men det er mulighet for å utvide funksjonene via koding slik at man får tilpassede algoritmer og optimaliseringsløsninger. Det krever da en del programmeringskunnskaper innen algoritmeutvikling (HeuristicLab, 2014).

#### ***3.7.5.2 Eureqa***

I 2017 tok DataRobot over firmaet Nutonian som hadde utviklet Eureqa algoritmer. Det er genetiske algoritmer som finner analytiske uttrykk som passer til datasettet. Programmet kjører ulike matematiske uttrykk og kombinasjoner av disse, slik at sluttresultatet blir en formel skreddersydd til datasettet. Sluttuttrykket blir validert i forhold til avvik og overtilpasning. I forhold til tradisjonelle maskinlæringsmodeller trenger ikke Eureqa store mengder data. Et vidt spekter av prosjekter som har utført statistiske analyser, alt fra økonomi til nevrovitenskap, har brukt denne metoden. I henhold til DataRobot er det 800 fagfelleverderte publikasjoner som har sitert tilnærmingen (DataRobot, 2021).

#### ***3.7.5.3 Sammenligning av programvare for symbolsk regresjon***

Ifølge studie (Elyasaf & Sipper, 2014) har HeuristicLab enkelt og funksjonsrikt grafisk brukergrensesnitt man kan bruke istedenfor programmering. Bruker kan dermed generere statistikk og grafer uten å måtte

kunne koding. Ulempen er hvis man ønsker å endre kildekoden for å kunne skrive komplekse funksjoner, da det kan gå mye tid på å finne riktig dokumentasjon. Studie (Dubčáková, 2010) anser Eureka som et brukervennlig statistikkprogram passende for nybegynnere. Regresjonsmodellene blir automatisk verifisert på bakgrunn av valgt valideringsdata eller standardinnstillingene i programmet. Resultatene blir presentert på en intuitiv måte. Ulempen er at brukerhåndboken gir bare grunnleggende informasjon i henhold til enkelte matematiske definisjoner. Man kunne derimot få mer informasjon hos utviklerne av programvaren eller på deres bloggside.

## 4 METODE

---

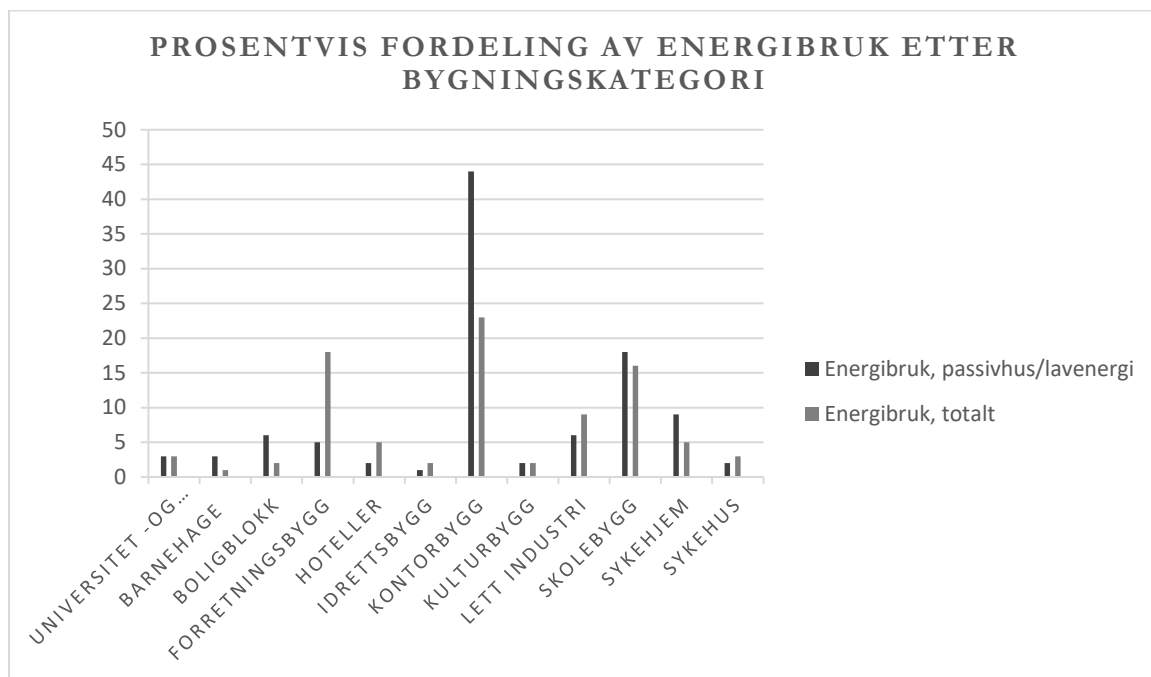
I tabell 4 har man satt inn en punktliste over analyseprosessen.

*Tabell 4 Analyseprosessen*

Steg	Prosessen
1	Valg av bygningstype
2	Valg av geografisk lokasjon
3	Valg av simuleringsprogram og statistikkprogram
4	Oppbygning av referansemodell
5	Utelukke ukontrollerte variabler
6	Valg av inndataparametere og variasjonsområde
7	Monte Carlo simuleringer
8	Korrelasjons -og hypotesetester
9	Optimalisering i GenOpt
10	Evaluere resultatet og designtiltakene
11	Regresjonsanalyse
12	Dimensjonskriterier

### 4.1 BYGNINGSKATEGORI

Innen bygningskategorien er det kontor, skole -og forretningsbygg som står for størstedelen av energibruken i Norge. Kontorbygg med passiv/lavenergistandard er overrepresentert i fordelingen, da de har en andel på 44%. Grunnen er at private aktører ønsker å teste ut ulike passivhus-/lavenergikonsepter på kontorbygninger først. Figur 6 viser prosentvis fordeling av energibruk etter bygningskategori, verdiene er hentet fra Enovas byggstatistikk (ENOVA SF, 2016a). Da kontorbygninger både med og uten passivhus -/lavenergistandard har et høyt energibruk i forhold til andre bygningskategorier, og det er interesse for denne type bygninger i bransjen, så ønsker man å bruke en referansemodell som skal simulere et reelt kontorbygg i Norge.



Figur 6 Prosentvis fordeling av energibruk etter bygningskategori

## 4.2 GEOGRAFISK LOKASJON

Størstedelen av Norge er innenfor klimasone D, derfor velger man et geografisk område som representerer landets klima. Det blir valgt klimadata fra Oslo under energisimuleringene, siden byen har et representativt klima for Norge. I tillegg er valgt bygningskategori (kontor) også aktuell for storbyen.

## 4.3 SIMULERINGSPROGRAM OG OPTIMALISERINGSVERKTØY

I masteroppgaven ønsker man å bruke et simuleringsprogram som innehar disse funksjonene:

- Mulighet til brukerdefinert bygningsmodell, varme -og kjølesystem, automatikk, ventilasjonsanlegg og internlast
- Brukervennlig → intuitiv og lettlært
- Høy presisjon i beregningene
- Flere optimaliseringsvalg
- Uavhengig av mange tilleggsprogram

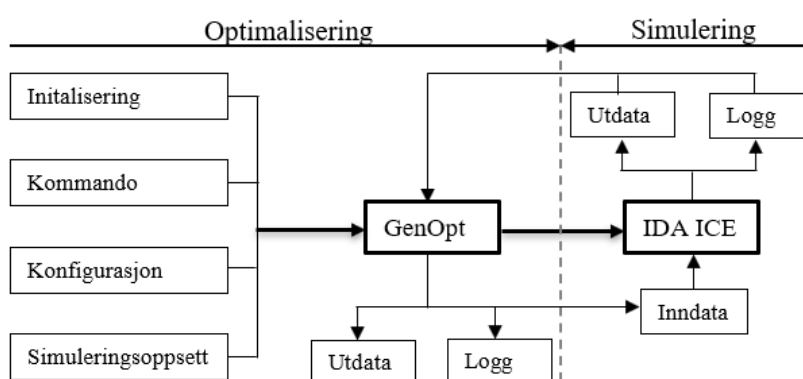
Valg av simuleringsprogram blir gjort på bakgrunn av kriteriene og resultater fra tidligere studier. Da både EnergyPlus og IDA ICE viser seg å være likeverdige program med tanke på presisjon og brukerdefinerte valgmuligheter, baseres valget på brukervennlighet. IDA ICE er uavhengig av tilleggsprogram, har grafisk fremstilling, logisk utforming, og kan brukes med GenOpt som gir flere optimaliseringsmuligheter. Samt en valideringsprosedyre i henhold til NS 3031 viste at IDA ICE var innenfor nivå C i alle tilfellene. Derfor ønsker man å anvende IDA ICE til bygningssimuleringene.

### 4.3.1 Grensesnitt mellom IDA ICE og GenOpt

Det kreves ingen kodetilpasning for å kjøre IDA ICE med GenOpt (figur 7): All utveksling av data skjer via tekstfiler fra GenOpt:

- Initialisering: spesifiserer filplassering (inn -og utdatafiler, loggfiler osv.)
- Kommando: spesifiserer startverdier, øvre -og nedre grenseverdi, optimaliseringsalgoritme osv.
- Konfigurasjon: Konfigurasjon av simuleringsprogram
- Simuleringsoppsett: mal for inndatafiler

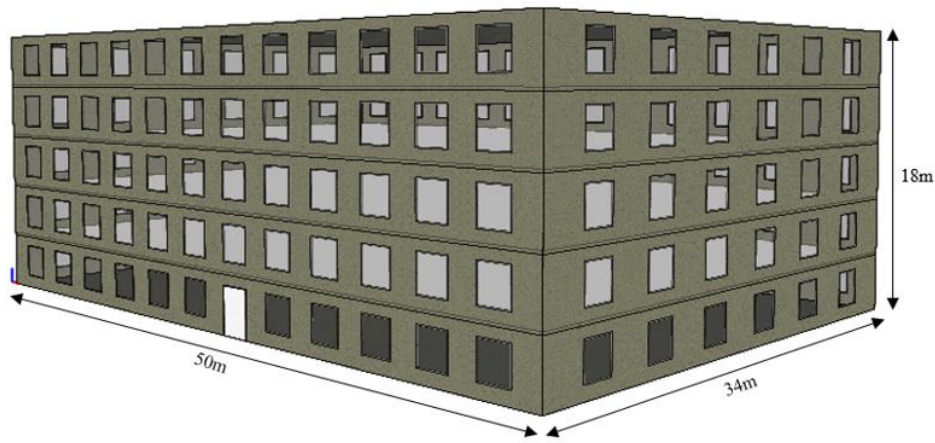
I tillegg til innebygde optimaliseringsalgoritmer, kan bruker enkelt legge til egne algoritmer i biblioteket. Dermed har man større mulighet til å utvikle, teste og sammenligne resultatene fra ulike analyser.



Figur 7 Grensesnitt mellom GenOpt og IDA ICE

## 4.4 REFERANSEMODELL

Referansemodell av hele kontorbygningen og et utvalgt rom blir benyttet for å analysere energibehovet og termisk inneklima, samt validere resultatene. Modellen skal simulere et kontorbygg plassert i Oslo, referanseverdiene er basert på Enovas byggstatistikk 2016, beregninger, samt verdier fra standard NS 3031 og NS 3701. Det er stor variasjon i størrelsen på kontorbygninger i Norge, for å finne gjennomsnittlig areal ble det tatt utgangspunkt i byggstatistikken. Totalt oppvarmet areal ble delt på antall bygg brukt i Enovas studie, resultatet ble at gjennomsnittlig oppvarmet areal (BRA) er  $8499 \text{ m}^2 \approx 8500 \text{ m}^2$  (ENOVA SF, 2016). Referansemodellen skal ha 5 etasjer, hvor hver etasje er på  $1700 \text{ m}^2$ . Langsides lengde er 50 m, mens kortsiden er 34 m og etasjehøyden er på 3,6 m (figur 8).



Figur 8 Referansebygning i IDA ICE

#### 4.4.1 Bygningskroppen

Passivhus har godt isolerte yttervegger, tak og gulv som hindrer varmetap, og dermed reduserer oppvarmingsbehovet. U-verdier ble hentet ifra NS 3701 (tabell 5). Bygningskroppen er rektangulært utformet for å redusere transmisjonstapet gjennom ytterflatene. Det er antatt at bygningen skal være tung for å redusere kjølebehovet. NS 3031 tabell B.4 beskrivelse av tung bygning er 70% eksponert betong i himling, etasjeskiller i betong med tynt gulvbelegg, lette innvendige skillevegger og yttervegg i lett bindingsverk.

Tabell 5 Inndata, bygningskropp

Inndata	Verdi	Enhet	Kommentar
U-verdi, tak	0,08 - 0,09	W/m <sup>2</sup> K	NS 3701 tabell B.1
U-verdi, gulv	0,08	W/m <sup>2</sup> K	
U-verdi, yttervegg	0,10 - 0,12	W/m <sup>2</sup> K	
U-verdi, vindu og dør	≤ 0,80	W/m <sup>2</sup> K	NS 3701 tabell 9
Normalisert kuldebroverdi, Ψ	≤ 0,03	W/m <sup>2</sup> K	
Lekkasjetall, n50	≤ 0,60	h <sup>-1</sup>	
Maksimum andel vindus -og dørareal av oppvarmet BRA,	25	%	TEK17 § 14-2

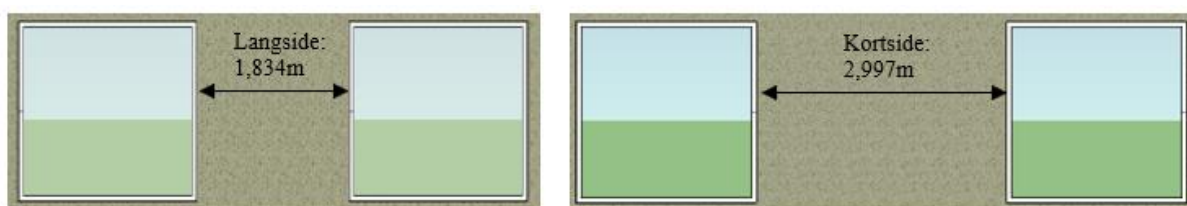
I henhold til TEK17 § 12-17 trenger man ikke sikring av glassflater så lenge minimum høyde er 0,8 m over gulvet. Preakseptert ytelse § 13-8 angir at rom tilegnet varig opphold må ha minst ett vindu, der underkanten på vinduet er maksimalt én meter fra gulvoverflaten. TEK17 § 14-2 foreslår at andel vindu -

og dørareal ikke skal overstige 25% i forhold til oppvarmet BRA. For å oppnå tilfredsstillende tilgang til dagslys uten sjenerende varmebelastning ble minstekravet til glassareal beregnet etter utregningsmetoden:

*Formel 4 Minstekrav til glassareal [m<sup>2</sup>]*

$$0,07 \cdot \frac{\text{Areal, etasje}}{LT} = 0,07 \cdot \frac{1700}{0,7}$$

Resultatet ble at hver etasje må ha minimum 170m<sup>2</sup> vindusareal (10%), dette tilsvarer 36 kvadratiske vinduer på 4,7 m<sup>2</sup> (2,17x2,17). På langsiden er det da 12 vinduer, mens kortsiden har 6. Avstanden mellom vinduene på lang -og kortsiden er vist i figur 9. I referansemodellen blir ikke solavskjerming inkludert da man eventuelt ønsker å se en effekt av dette tiltaket senere i studie.



*Figur 9 Avstand mellom vinduene i kontorbygningen*

#### **4.4.1.1 Vindusglass**

I referansemodellene velges tolags-glasset Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 174+ar+PLANITHERM ULTRA. Spesifikasjonene fra IDA ICE er satt i tabell 6.

*Tabell 6 Spesifikasjoner for vindusglasset i referansemodellene*

g-verdi [-]	T <sub>dir</sub> [-]	T <sub>vis</sub> [-]	U-verdi W/(m <sup>2</sup> K)	Innvendig emissivitet [-]	Utvendig emissivitet [-]
0,38	0,32	0,70	0,8	0,837	0,837

#### **4.4.1.2 Planløsning**

I nye kontorløsninger har fellesarealene blitt større mens cellekontorene har krympet i størrelse. En tidligere utredning anbefaler en fordeling av arbeidsplasser med 75% åpent landskap og 25% i cellekontorer (Statsbygg, 2018). Normert areal for cellekontor i nye bygninger er 12,5 m<sup>2</sup> (NTNU, u.å.). Arbeidstilsynets krav til areal per kontorarbeidsplass er minimum 6 m<sup>2</sup> (Arbeidstilsynet, u.å.). Siden 25% av arbeidsplassene skal være i cellekontor blir det 15 kontorer fordelt på 30 brukere i hver etasje. I henhold til NS 3701 tabell A.1 er 65% primærareal i kontorbygg, dette tilsvarer 1105m<sup>2</sup> per etasje i referansemodellen. Trekker man ifra arealet som går til kontorer (287,5m<sup>2</sup>), så er 817,5m<sup>2</sup> åpent landskap inkludert møterom. I plantegningen er cellekontorene plassert på nordøstlig side siden det er mindre

plager med overtemperatur forårsaket av soltilskudd i den horisontretningen. Sekundærarealer som eksempel heis, trapp, teknisk rom, ventilasjonssjakt og WC er i midten av lokalet. Åpent kontorlandskap er på sørlig side slik at man reduserer temperaturen ved hjelp av midterste sone, samt det gir utsyn og dagslys for brukerne. Hovedregelen er at ansatte i åpne kontorlandskap skal ha tilgang til møterom eller stillerom, derfor er det i tillegg plassert fire møte/stillerom (36 m<sup>2</sup>/rom) på sørlig side (Arbeidstilsynet, u.å.). Det blir tatt utgangspunkt i ett av de rommene ved vurdering av termisk komfort og energiforbruk. Planløsningen tegnet i RoomSketcher representerer hver etasje i bygningen, og er satt opp etter reelle mål (figur 10).

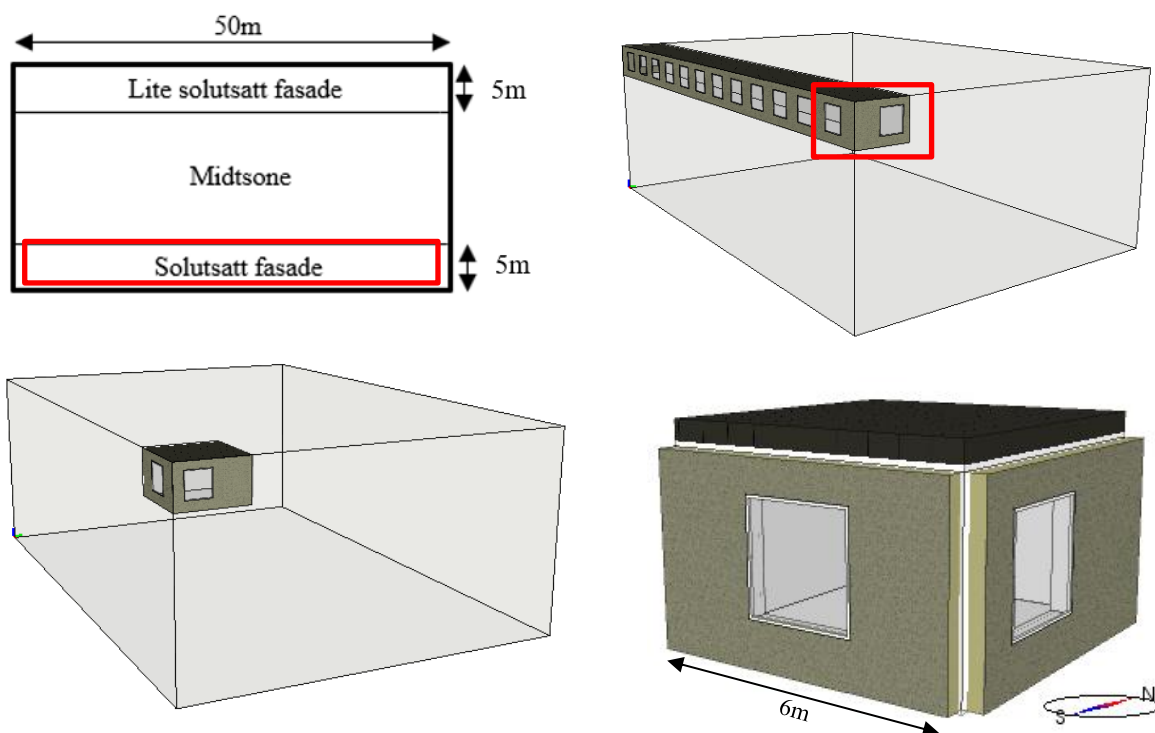


Figur 10 Plantegning som representerer alle etasjene

#### 4.4.1.3 Soneinndeling

I henhold til NS 3031 kapittel 4.3.3 kan man utføre en energiberegning på hele bygningen som én sone, hvis man har moderat mengde vindus -og glassareal samt effektiv solskjerming. Siden produktet av arealandelen vinduer og dører og total solfaktor ikke overskrider 5% ( $\gamma_{sol} \cdot g_t = 12,9\% \cdot 0,38 < 5\%$ ) i referansemodellen, så blir det bare én beregningssone. For å beregne dimensjonerende oppvarmings -og kjølebehov og vurdere termisk komfort i bygningen, må det være delte soner. Det skal være et adiabatisk skille mellom de ulike beregningssonene når man foretar en kontrollberegning. I dette studie blir valg av sone gjort på bakgrunn av soltilskudd på fasaden, siden kontorbygget har en ensartet bruksfunksjon og like tekniske installasjonssystemer i hver etasje. For å analysere ulike passive tiltak velges møterommet som anses som mest solutsatt i kontorlandskapet. Hjørnerommene har høyere andel yttervegg og vinduer, og vil dermed være mer eksponert for solvarme. Tar man i betraktning at morgensolen er sterkere enn kveldssolen samt brukstiden, vil trolig soltilskuddet på sørøstlig møterom i øverste etasje ha større betydning for brukerne av bygget (figur 11).

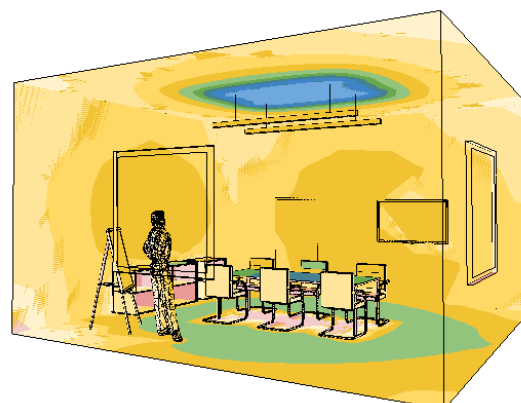
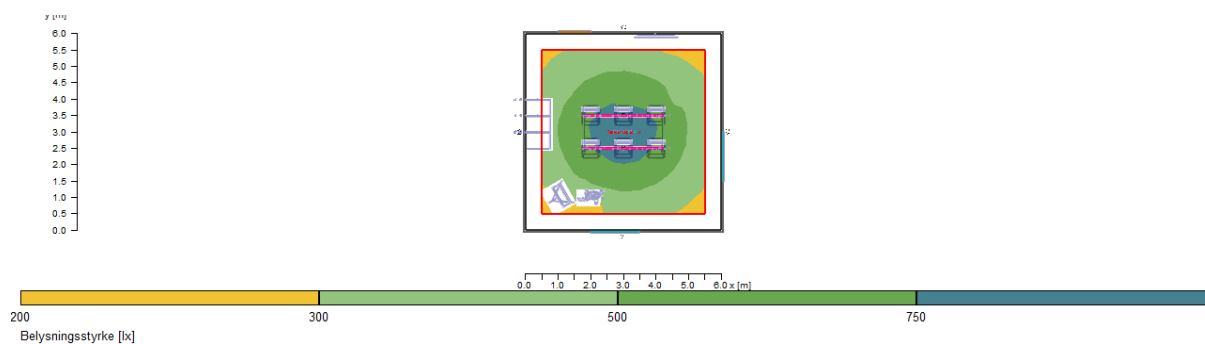




Figur 11 Soneinndeling

#### 4.4.1.4 Internlaster

Ifølge Arbeidstilsynet skal hver kontorarbeidsplass ha minimum 6 m<sup>2</sup> gulvareal uavhengig om det er cellekontor eller åpent kontorlandskap. I arealberegningen skal man bare regne med plassen som er avsatt til kontorarbeidsplass, derfor ser man bort fra møterom og gangareal (Arbeidstilsynet, u.å.). Åpent kontorlandskap ekskludert møterom og gangareal er da 487 m<sup>2</sup>. Ved 100% tilstedeværelse tilsvarer det 82 personer i åpent kontorlandskap, og 30 personer på cellekontorene. I hver etasje vil det da være 0,10 pers/m<sup>2</sup> under bygningssimuleringen. På møterommet vil dimensjonerende forhold være når 6 personer bruker rommet samtidig, som tilsvarer 0,17 pers/m<sup>2</sup>. I bygningen er effektbehov for belysning i driftstiden satt til 4 W/m<sup>2</sup> iht. NS 3701, det trengs da 68 lamper på 100 W i hver etasje. Det er brukt simuleringsprogrammet Relux for å finne effektbehovet for belysning i møterommet. NS EN 12464-1 krav til belysningsstyrke på møterom i kontorbygning er 500 lux på referanseoverflate, 300 lux i umiddelbart omliggende areal og 100 lux i bakgrunnsareal. Kravene ble tilfredsstilt ved å bruke to stykker nedhengt LED-lysarmatur, som enkeltvis utgir en effekt på 98W (figur 12). For å simulere dimensjonerende forhold er det bare tatt hensyn til kunstig belysning under beregningen i Relux. Belysningen skal reguleres i IDA ICE etter settpunktverdi 100 - 500 lux. Hvis belysningsstyrken er under 100 lux slår kunstig lys seg på, er styrken over 500 lux slås de av. Effektbehov for utstyr er beregnet etter tilstedeværelse, og cirka antall utstyr i bruk i både primær -og sekundærarealet (vedlegg A). Inndata, internlaster er plassert i tabell 7.



Figur 12 Relux: belysningsstyrke på møterom

Tabell 7 Inndata, internlaster

Internlaster	Verdi	Enhet	Kommentar
Personer i bygning	0,10	Pers/m <sup>2</sup>	Beregnet
Personer i møterom	0,17	Pers/m <sup>2</sup>	Beregnet
Belysning i bygning	4	W/m <sup>2</sup>	NS 3701 tabell 8
Belysning i møterom	5,44	W/m <sup>2</sup>	Relux
LENI i bygning	12,5	kWh/m <sup>2</sup> år	NS 3701 tabell 8
Utstyr i bygning	8,5	W/m <sup>2</sup>	Beregnet
Utstyr på møterom	3,3	W/m <sup>2</sup>	Beregnet
Varmtvann i bygning	5	kWh/m <sup>2</sup> år	NS 3031 tabell A.1
Tilstedeværelse, primærareal	60	%	NS 3701 tabell A.1
Driftstid oppvarming, belysning og utstyr	12/5/52	timer/døgn/ uker	NS 3031 tabell A.3

#### 4.4.2 Varmedistribusjonssystem

Enovas byggstatistikk viser at virkelig spesifikk energibruk for kontorbygg bygd etter passivhusstandard er 104 kWh/m<sup>2</sup>, som er innenfor TEK17 §14-2 krav til netto energibehov i kontorbygg på 115 kWh/m<sup>2</sup>.

Dette tilsvarer energikarakter B, mens karakter A er lavere enn eller lik 90 kWh/m<sup>2</sup>. Karaktersettingen er basert på bygningens kvaliteter og tekniske installasjoner (ENOVA SF, 2009). Ifølge rapporten til Enova har kontorbygninger med 77,1 % elektrisitet, 22,4 % fjernvarme og 0,4% flytende brensel lavest

energibruk (ENOVA SF, 2016). Det blir sett bort fra fyringsolje da dette ble forbudt å bruke til oppvarming i kontorbygg siden 01.01.2020. Det er antatt at bygningens geografiske plassering muliggjør tilkobling til fjernvarmenett. Dermed kan det benyttes vannbårent varmesystem i bygningen.

#### 4.4.2.1 Varmesentral

Varmesentralen skal mengde -og temperaturreguleres. Denne reguleringsmetoden bidrar til en jevnere innetemperatur ved varierende internvarme.

#### 4.4.2.2 Romoppvarming

Til romoppvarming benyttes vannbårne radiatorer. Siden referansemodellen følger passivhusstandard gir det større muligheter til plassering av radiatorene. For å regulere romtemperaturen blir det benyttet PI-regulering. Denne reguleringsmetoden blir ofte brukt i større bygg på grunn av at man oppnår en jevn temperatur gjennom hele døgnet med lavt energibruk (tabell 8).

Tabell 8 Inndata, romoppvarming

Inndata, romoppvarming	Verdi	Enhet	Kommentar
Spesifikt energibehov til oppvarming, $\theta_{ym} \geq 6,3$ °C	20	kWh/m <sup>2</sup> år	NS 3701 tabell 4
Varmemotstand i ulik bekledding, clo	1	-	Byggforskserien 421.501 tabell 33
Varmeproduksjon ved forskjellige aktiviteter, met	1,2	-	Byggforskserien 421.501 tabell 32

#### 4.4.2.3 Ventilasjonssystem

For å sikre et godt inneklima skal det være balansert ventilasjon. Under simuleringene brukes VAV-styring, regulert etter CO<sup>2</sup>-nivå og settpunkttemperaturer (tabell 9). På grunn av høy personbelastning og innetemperatur vil det kjøres maks luftmengde nesten hele brukstiden. I realiteten ville man brukt DCV-styring som trinnløst regulerer luftmengdene slik at energibehovet reduseres. Det skal være kjølebatteri i ventilasjonsaggregatet som muliggjør ventilasjonskjøling ved forekomst av overtemperatur. I henhold til NS 3701 tillegg A skal luftmengder beregnes etter standardisert person -og materialbelastning, så lenge det oppfyller minstekravet til gjennomsnittlige luftmengder. Ligning er hentet fra NS-EN 15251:

Formel 5 Gjennomsnittlig luftmengde [m<sup>3</sup>/h]

$$V = qp \cdot n + qB \cdot Ag$$

Minste tillatte gjennomsnittlige luftmengde i kontorbygg er  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  i driftstid og  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  utenfor driftstid. Ved behovsstyrt ventilasjon etter  $\text{CO}_2$ -nivå kan man redusere luftmengdene med 20 % i forhold til dimensjonerende luftmengde. Resultatet fra beregningene viser gjennomsnittlig luftmengde på  $1,7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  utenfor driftstid, og  $6,7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  i driftstid som er da innenfor kravet (vedlegg B).

Tabell 9 Inndata, ventilasjon

Inndata, ventilasjon	Verdi	Enhet	Kommentar
Spesifikt energibehov til kjøling, DUTs > 20 °C	9,4	kWh/m <sup>2</sup> år	NS 3701 tabell 6 Formel: $\beta$ (DUTs -20)
Persontetthet primærareal (for maksimal ventilasjon)	5	m <sup>2</sup> /person	NS 3701 tabell A.1
Aktivitetsgruppe, lett arbeid	19 -26	°C	TEK17 § 13-4 Tabell 1
V, gjennomsnittlig luftmengde i driftstid	6,7	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	Beregnet
V, gjennomsnittlig luftmengde utenfor driftstid	1,7	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	Beregnet
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	≥ 80	%	NS 3701 tabell 9
SFP- faktor ventilasjonsanlegg	≤ 1,5	kW/(m <sup>3</sup> /s)	NS 3701 tabell 9
CO <sub>2</sub>	400-1000	ppm	Anbefalte settpunktverdier
Rf	20-80	%	Anbefalte settpunktverdier

## 4.5 INNDATA I IDA ICE

I dette delkapittelet blir all inndata som er brukt i IDA ICE dokumentert. Det er tatt utgangspunkt i kravene og beregningene som er presentert i kapittel 4.4.

### 4.5.1 Geografisk plassering

Klimadata for Oslo er hentet fra ASHRAE Fundamentals 2013. Det antas at kontorbygget er plassert i utkanten av sentrum omringet av andre bygninger, og er dermed moderat eksponert for vind. Simuleringen er utført med norske helligdager som er relevant for geografisk plassering, energiforbruket og brukstiden i bygningen.

### 4.5.2 Bygningskroppen i IDA ICE

I yttervegg, tak og gulv ble isolasjonstykkelsen endret slik at U-verdien tilfredsstilte krav iht. NS 3701 (vedlegg C). I realiteten vil man ha brukt materialer med bedre varmeisolerende evne enn det som finnes i databasen til IDA ICE, slik at konstruksjonstykkelsen ble mindre. Alle innvendige overflater har lys nøytral farge med reflektans på 0,6 og ruhet på 0,03. Det er valgt å bruke vinddrevet luftstrømning som infiltrasjon på bygningen. Siden det antas at bygningen er eksponert for noe vind, så ble trykk-

koeffisientene satt som standardverdi «semi-eksponert». Inndata for bygningskroppen er plassert i tabell 10.

Tabell 10 Inndata: bygningskroppen i IDA ICE

Inndata i IDA ICE	Verdi	Enhet
U-verdi, tak	0,09	W/m <sup>2</sup> K
U-verdi, gulv på grunn	0,08	W/m <sup>2</sup> K
U-verdi, yttervegg	0,12	W/m <sup>2</sup> K
U-verdi, vindu og dør	0,8	W/m <sup>2</sup> K
Normalisert kuldebroverdi, Ψ	0,03	W/m <sup>2</sup> K
Lekkasjetall, n50	0,60	h <sup>-1</sup>
Andel vindus -og dørareal av oppvarmet BRA	12,9	%

#### 4.5.3 Internlaster i IDA ICE

Figur 13 viser inndata for hele referansebygningen. I rommodellen har man brukt andre verdier for antall brukere, belysning og utstyr for å vurdere termisk komfort (figur 14). Se vedlegg D for mer utfyllende informasjon angående internlaster, brukstid, tilstedeværelse, bekledding, osv.

Heat setp. °C	Cool setp. °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m <sup>2</sup> )	Return air, L/(s.m <sup>2</sup> )	Occup., no./m <sup>2</sup>	Lights, W/m <sup>2</sup>	Lights, kWh/m <sup>2</sup>	Equipme nt, W/m <sup>2</sup>	Equipme nt, kWh/m <sup>2</sup>	Ext win. area, m <sup>2</sup>	Occup. schedule	Light schedule	Equipm. schedule
19.0	26.0	Air Ha...	VAV, te...	1.9	1.9	0.09999	4.0	12.11	8.515	25.78	169.5	12 timer	12 timer	12 timer

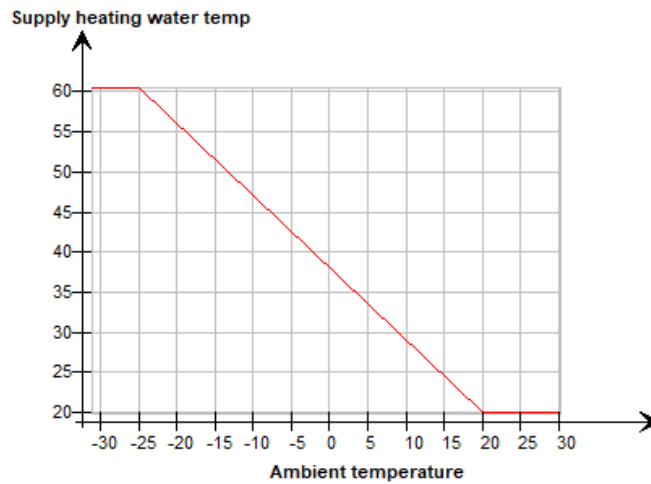
Figur 13 Internlaster: kontorbygning i IDA ICE

Heat setp. °C	Cool setp. °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m <sup>2</sup> )	Return air, L/(s.m <sup>2</sup> )	Occup., no./m <sup>2</sup>	Lights, W/m <sup>2</sup>	Lights, kWh/m <sup>2</sup>	Equipme nt, W/m <sup>2</sup>	Equipme nt, kWh/m <sup>2</sup>	Ext win. area, m <sup>2</sup>	Occup. schedule	Light schedule	Equipm. schedule
19.0	26.0	Air Ha...	VAV, te...	1.9	1.9	0.1667	5.44	16.47	3.3	9.991	9.418	12 timer	12 timer	12 timer

Figur 14 Internlaster: rommodell i IDA ICE

#### 4.5.4 Varmesentral og energitap i IDA ICE

Simuleringen ble utført med utekompensert turtemperatur, der varmtvannsforsyningen temperaturreguleres fra 60 °C ved dimensjonerende utetemperatur til 20 °C (figur 15). Kjelen skal kjøre «variable flow» slik at effekten reguleres ved å endre sirkulert vannmengde. I passivhus anser man at det er lite varmetap i systemene på grunn av god isolering, dermed ble disse satt til «good» i IDA ICE (vedlegg E). Det betyr at omtrent 2% av varmen levert fra varmesentralen vil gå tapt.



Figur 15 Utekompensert turtemperatur

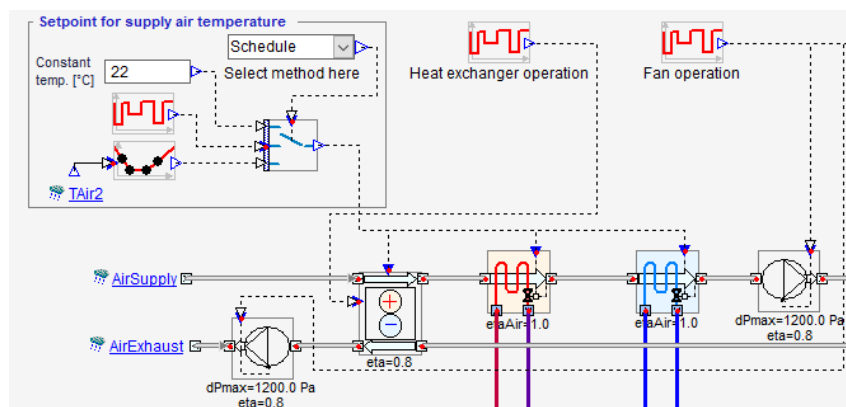
#### 4.5.5 Romoppvarming i IDA ICE

I kontorbygget plasseres det seks vannbårne radiatorer samt fire «ideal heaters» i hver etasje. Antall enheter per etasje ble avgjort på bakgrunn av minimum operativ temperatur etter simuleringer. I åpent kontorlandskap er det antatt at man bruker radiatorer. Som oppvarmingsenhet på romnivå velges det en «ideal heater» per møterom. Effekten på både radiatorer og «ideal heaters» har blitt satt til 2000 W (vedlegg E).

#### 4.5.6 Ventilasjonssystemet i IDA ICE

Figur 16 illustrerer oppbygningen av ventilasjonsaggregatet i IDA ICE for referansemodellene. Spesifikk vifteeffekt (SFP) er satt til 1,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) som tilsvarer en effektivitet på 80% (vedlegg E).

Varmevekslerens effekt er på 80% som oppfyller NS 3701 krav til årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad. Maksimal gjennomsnittlig luftmengde i driftstid er 12399 m<sup>3</sup>/h per etasje, med en konstant tilluftstemperatur på 22 °C i brukstid. Det er satt inn både varme -og kjølebatteri i aggregatet til oppvarming eller kjøling etter behov.



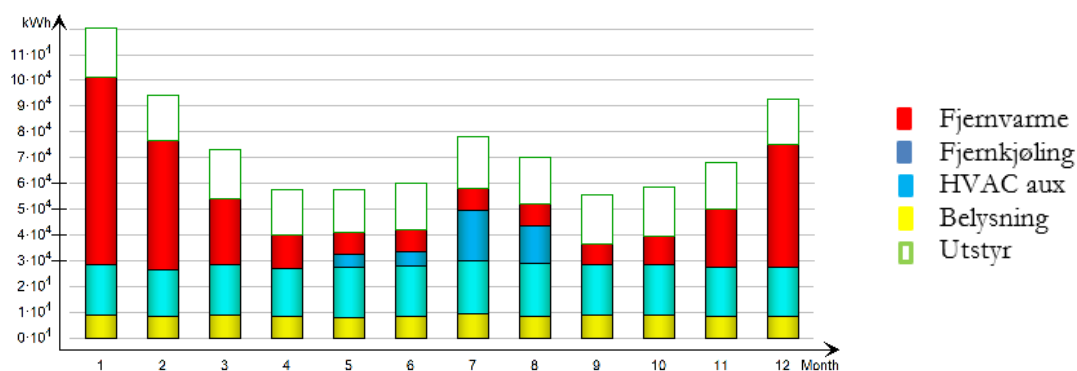
Figur 16 Ventilasjonsaggregatet i IDA ICE

## 4.6 ENERGIFORBRUK OG INNEKLIMA FOR REFERANSEMODELLENE

I dette delkapittelet blir simuleringsresultatene for referansemodellene presentert.

### 4.6.1 Energiforbruk

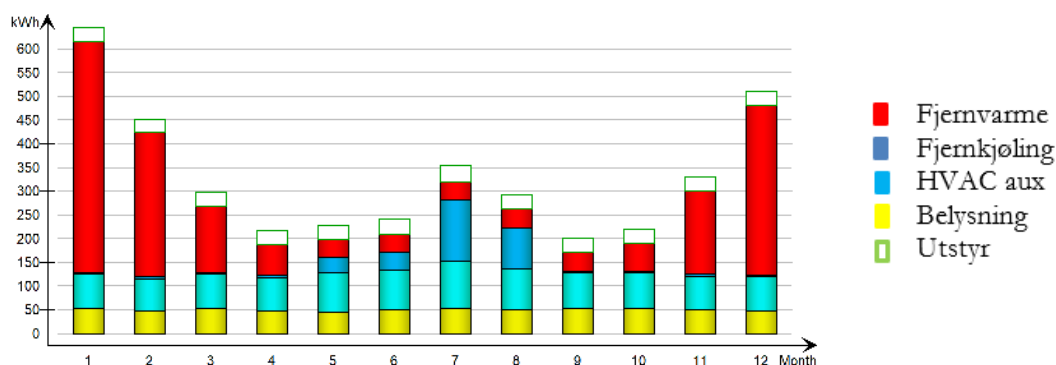
Det totale energiforbruket for hele referansebygningen ble på 104 kWh/m<sup>2</sup> (vedlegg F). Resultatet gjenspeiler virkelig spesifikk energibruk for kontorbygg bygd etter passivhusstandard iht. Enovas byggstatistikk (ENOVA SF, 2016). Det totale oppvarmingsbehovet (romoppvarming og ventilasjonsvarme) ble 50,6 kWh/m<sup>2</sup>, mens kjølebehovet (ventilasjons -og fjernkjøling) ble 10,6 kWh/m<sup>2</sup>. Dette overskrider NS 3701 krav til netto spesifikt energibehov til oppvarming og kjøling, som er på 20 kWh/m<sup>2</sup>år og 9,4 kWh/m<sup>2</sup>år for denne type bygningskategori og geografisk plassering. Resten av energiforbruket i bygningen går til vifter, pumper, belysning og utstyr. Figur 17 illustrerer månedlig energibehov for referansebygningen. Det man registrerer fra stolpediagrammet er klart økt energiforbruk i de kaldeste og varmeste månedene i året på grunn av kjøle -og oppvarmingsbehov. Dette tyder på at bygningskroppen har et forbedringspotensial slik at man reduserer varmetap og kjølebehov.



Figur 17 Levert energi til referansebygget

I referansebygget har man stor variasjon i internlast og soltilskudd, mens på romnivå kjører man simuleringer under dimensjonerende forhold. Energibehovet er hovedsakelig større på romnivå enn på bygningsnivå på grunn av samtidighet, belysning og solutsatt fasade. Simulert energiforbruk i møterommet ble 111 kWh/m<sup>2</sup>. I forhold til referansebygget har behovet for kjøling og varme økt betraktelig, samt belysning. Det totale oppvarmingsbehovet (romoppvarming og ventilasjonsvarme) ble 67,7 kWh/m<sup>2</sup>, mens kjølebehovet (ventilasjons -og fjernkjøling) ble 16,1 kWh/m<sup>2</sup> (vedlegg F). Både kjøle -og varmebehovet overskrider kravene satt i NS3701. Energiforbruket til utstyr er derimot redusert i forhold til resultatene fra bygningssimuleringen, da effektbehovet er langt mindre på møterommet enn generelt i resten av bygningen. Figur 18 illustrerer månedlig energibehov for møterommet. Som registrert fra bygningssimuleringen øker også behovet for varme og kjøling i rommet ved de kaldeste og varmeste månedene, forskjellen er at kjølebehovet melder seg allerede i rommet fra mars.

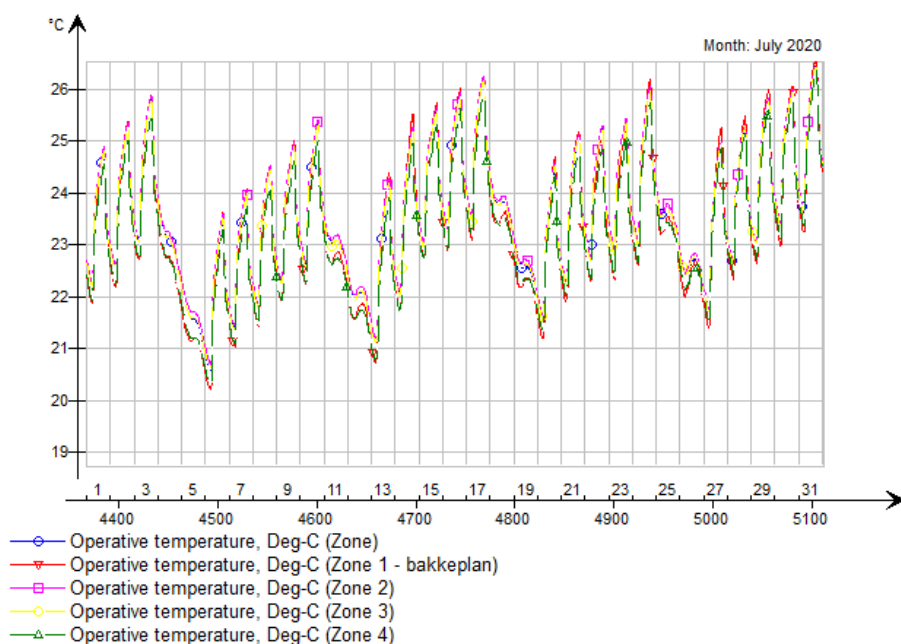
### Monthly Purchased/Sold Energy



Figur 18 Levert energi til motorrommet

### 4.6.2 Termisk inneklima

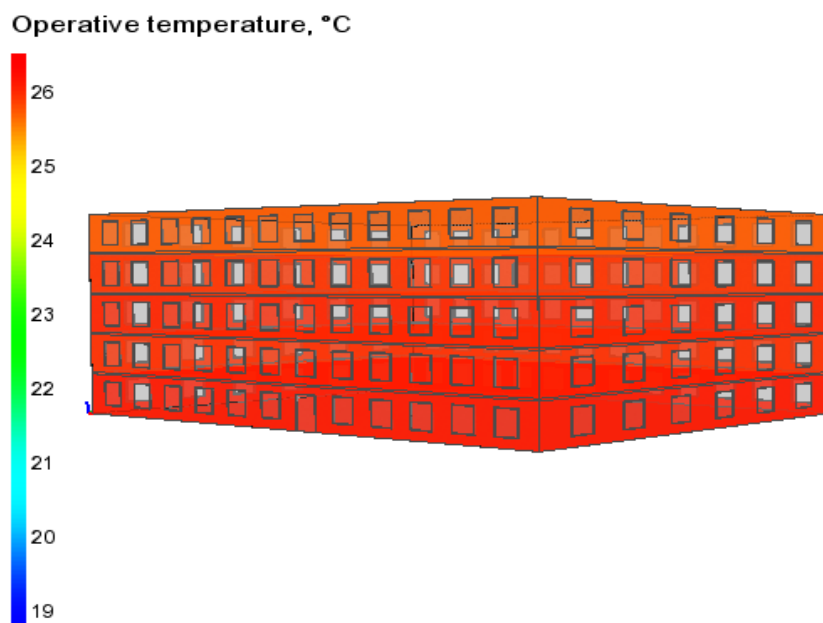
For å vurdere inneklima har man sett på operativ temperatur og antall misfornøyde (PPD). Resultatet fra årssimuleringen utført på bygningsmodellen viser at minimum operativ temperatur ligger over 19 °C, mens maksimum er like over 26 °C i alle etasjene. Grafen viser operativ temperatur i bygningens etasjer (soner) i løpet av juli, da det er størst sjanse for overtemperatur (figur 19). Den viser at temperaturen overstiger 26 °C bare i korte perioder, dermed overskrider man ikke høyeste temperaturgrense med 50 timer i et normalår (TEK17 § 13-4). Det er heller ingen uoppfylte timer med varme -eller kjølebehov i bygningen i løpet av året.



Figur 19 Operativ temperatur i referansebygning

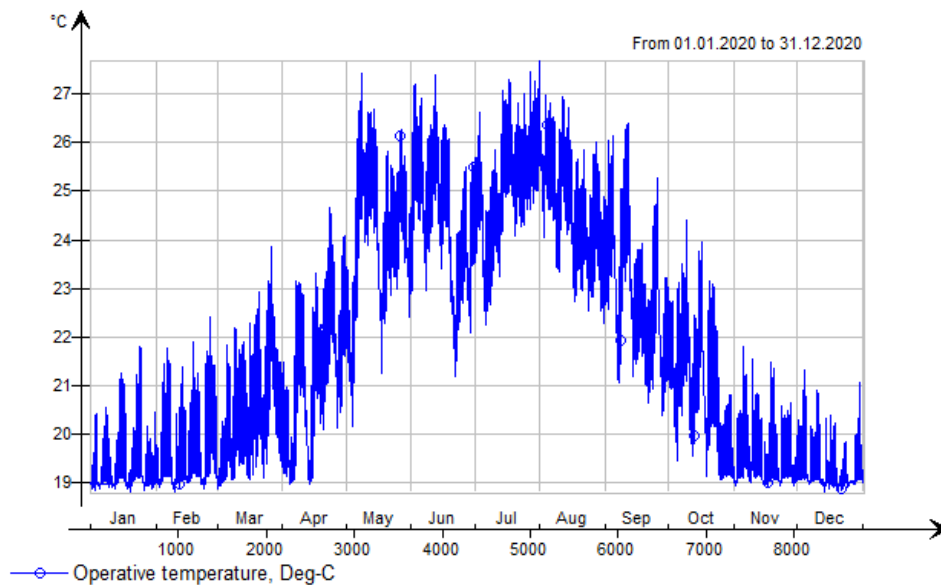


Figur 20 illustrerer operativ temperatur i bygningen én varm sommerdag i juli (08.07.2020). I både grafen og 3D-bilde kan man se at temperaturen er omtrent det samme uavhengig av etasje (sone). Studerer man maksimum soltilførsel [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] i hver sone i løpet av ett år, har de tre øverste etasjene litt mer soltilskudd enn de nederste (vedlegg G). Dette er også grunnen til at det blir gjort en romsimulering på øverste etasje. Maksimal andel misfornøyde personer (PPD) er rundt 13%, bortsett fra 1. etasje der 18% er misfornøyd. Grunnen til at flere er misfornøyde i denne etasjen kan være for dårlig isolasjon i gulv mot grunn som gir større avvik mellom minimum og maksimum temperatur.



Figur 20 3D- bilde over operativ temperatur i referansebygning

På møterommet ble minimum operativ temperatur på  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$  og maksimum over  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  etter årssimuleringen. Grafen viser operativ temperatur i løpet av hele simuleringsperioden, fra 01.01.2020 til 31.12.2020 (figur 21). Man ser at det vil oppstå overtemperatur allerede fra begynnelsen av mai til september. I 52,9 timer i simulert år er temperaturen over  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dermed vil ikke kravet om maksimalt 50 timer over  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  være tilfredsstillt (vedlegg F). Det er ikke noen uoppfylte timer med varmebehov, men 17 timer i året har behov for mer kjøling. I forhold til bygningssimuleringen har rommet fem ganger større soltilskudd, da rommet er avspærret og har en solutsatt plassering. Andel misfornøyde personer (PPD) ligger på 22%, som overskrider anbefalt grense. Den høye andelen skyldes nok hovedsakelig overtemperatur på grunn av utilstrekkelig kjøling.



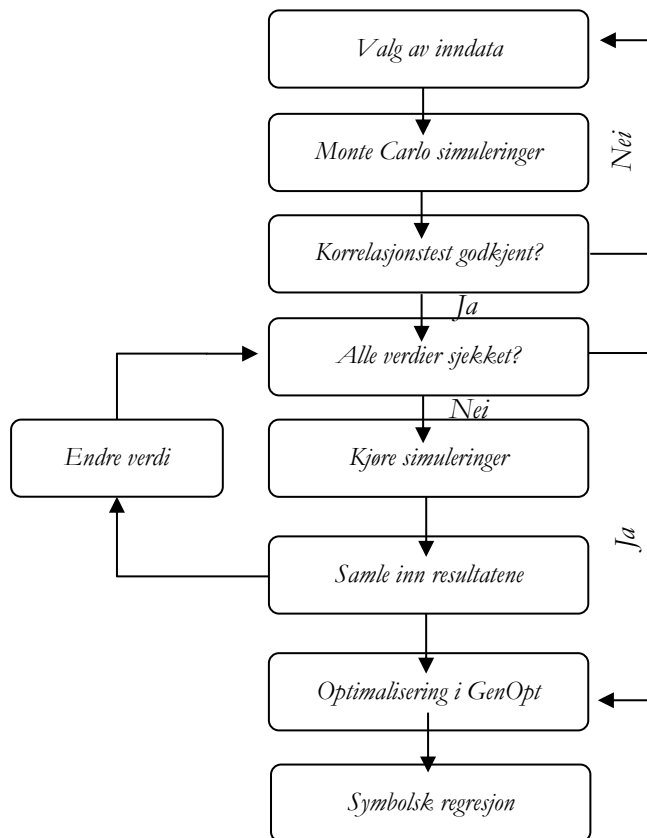
Figur 21 Operativ temperatur i referanserom

#### 4.7 STATISTISK ANALYSE

Målet for analysen var å identifisere hvilke passive designtiltak som har størst påvirkning på operativ temperatur og energiforbruk. Det ble valgt å se på følgende utdataparametere:

- Maksimum operativ temperatur [°C]
- Oppvarmingsbehov [kWh/m<sup>2</sup>]
- Kjølebehov [kWh/m<sup>2</sup>]
- Ventilasjonkjøling [kWh]
- Ventilasjonsvarme [kWh]

Energisimuleringene ble utført på rommodellen da det er tidsbesparende, og eventuelle endringer som skjer i utdataparameterne på grunn av diverse tiltak gjort på rommodellen vil også være representativt for hele bygningsmodellen. Beslutninger blir tatt på bakgrunn av statistiske analyser utført på datasettet fra IDA ICE (figur 22).



Figur 22 Flytskjema: statistisk analyse på designparameterne

#### 4.7.1 Designvariabler

Under designet av kontorbygningen i IDA ICE ble det tatt hensyn til byggets utforming med tanke på kompaktet og ytterflateareal, samt termisk masse. Bygningsmodellen følger også krav og anbefalinger fra standarder og TEK17. Det er valgt å analysere passive faktorer som tilhører ytre fasade og bygningskonstruksjon.

- Vindusareal/romareal
- Solfaktor,  $g_{\text{glass}}$
- Lavemisjonsbelegg på glass: 0,12 på ytterste glass og 0,013 på innerste glass
- Orientering på vindusglass/romareal
- Utvendig solskjerming
- Overheng over vindu
- Isolasjonstykkelse i tak og yttervegger
- Varmekonduktivitet i isolasjon

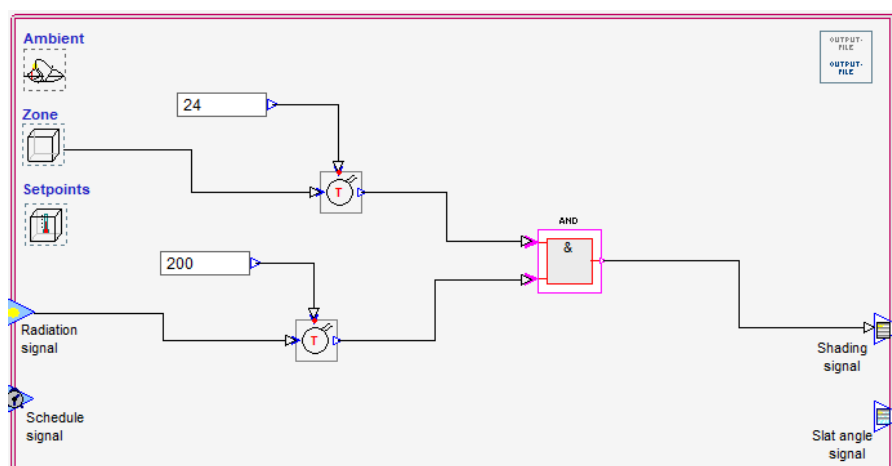
#### 4.7.1.1 Regulering av integrert utvendig persienne

Det ble kjørt en simulering i *Parametric Run* (Run All) på de ulike reguleringsmulighetene i IDA ICE, for å se hvilke som hadde best effekt på utdataparameterne (tabell 11).

Tabell 11 Regulering av integrert utvendig persienne

Regulering	Top [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
Lys	26,18	58,06	6,992	703,6	207,8
Ingen	26,06	59	6,972	705,7	207,1
[av]	26,67	51,21	7,369	677,8	221,4
Tidsplan	26,11	58,98	6,98	705,7	207,4
Lys+Tidsplan	26,18	58,06	6,992	703,6	207,8
Egendefinert Makro	26,49	51,03	7,338	677,2	220,2

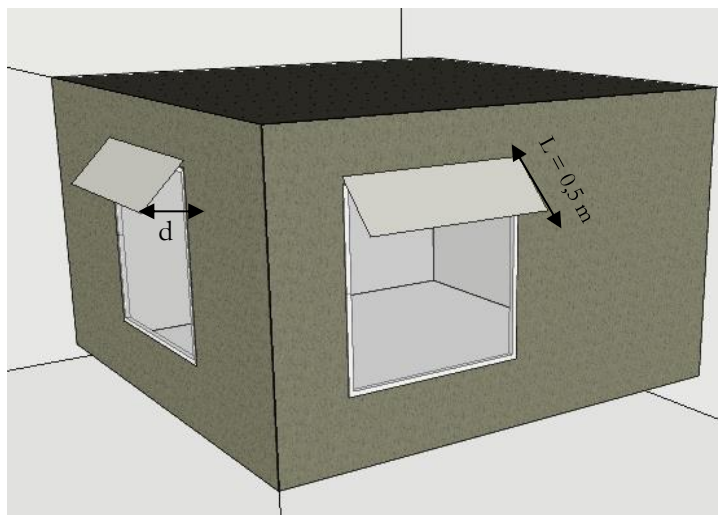
Når persiennen reguleres etter tidsplan vil den følge arbeidstiden til brukerne, altså senkes når bygget er i bruk og heves etter arbeidstid. Reguleres persiennen etter innfallende lys vil den senkes når effekten overstiger 100 W/m<sup>2</sup> på innsiden av vindusglasset. En kombinasjon av lys+ tidsplan gir samme resultat som da persiennen ble regulert etter bare lys. Med *ingen* regulering er persiennen konstant senket, mens når regulering er [av] vil den alltid være hevet. I den egendefinerte makroen skal persiennen reguleres etter solenergi fluks og innendørs temperatur. Når utvendig lysstyrke [Lux] og romtemperaturen [°C] overstiger maksimum settpunktverdi senkes persiennen. Den vil være senket så lenge én av sensorene måler for høy verdi (figur 23). Det ble kjørt simuleringer med ulike settpunktverdier for å finne en optimal løsning. Reguleringsmetoden med en settpunktverdi på 24 °C holdt innetemperaturen stabil og ga mulighet til solvarmetilskudd under oppvarmings sesongen, samt tilgang til dagslys og utsikt. Derfor er det ønsket å bruke denne reguleringsmetoden videre i studie.



Figur 23 Regulering av integrert utvendig persienne

#### 4.7.1.2 Overheng over vindu

Det ene designtiltaket er å plassere overheng over vinduet på fasaden. Denne er stasjonær, så det eneste man varierer på er dybden fra ytterveggen til underkanten av overhenget (figur 24).



Figur 24 Overheng over vindu

#### 4.7.1.3 Startverdi og variasjonsområde til inndataparameterne

Det ble tatt hensyn til visse begrensninger når man valgte minimum -og maksimumsverdier innenfor variasjonsområde (tabell 22). Vinduets bredde kan ikke være større enn 3,5m på grunn av bredden på kontorene, og takhøyden begrenser vinduets maksimum høyde. Under analysen var det ønsket å bruke samme glasstype som i referansemodellen, Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 174+ar+PLANITHERM ULTRA. I henhold til tabell 31a i Byggforskserien 471.010 har mineralull dimensjonerende varmekonduktivitet,  $\lambda_d$ , på 0,032-0,042 W/mK, dermed har man brukt disse verdiene i variasjonsområdet (Byggforskserien 471.010, 2020). Hver simulering kjøres med ti intervaller mellom maksimum -og minimumsverdi med uniform fordeling.

Startverdien til hver inndata parameter er det samme som i referansemodellen. Unntaket er integrert utvendig persienne og overheng over vindu siden disse er nye faktorer i bygningsmodellen. I simuleringene blir g-verdien til utvendig persienne multiplisert med g-verdien til glasset. Bruker man startverdien til begge parameterne som ett eksempel, vil total solfaktor bli 0,057 ( $g_{tot} = 0,38 \cdot 0,14 = 0,057$ ). Som nevnt i delkapittel 3.2.2 ønsker man en svært lav g-verdi på solutsatte fasader, da helst  $g_{tot} \leq 0,05$ .

Tabell 12 Inndataparameter i Parametric Runs og Monte Carlo simuleringer

Inndataparameter	Startverdi	Enhet	Variasjonsområde	Intervall	Fordeling
g-verdi, vindusglass	0,38	-	[0,32 0,76]	10	Uniform
Bredde, vindu	2,17	m	[1,0 3,5]	10	Uniform

Høyde, vindu	2,17	m	[1,0 2,5]	10	Uniform
g-verdi, integrert utvendig persienne	0,14	-	[0,08 0,28]	10	Uniform
Dybde, overheng over vindu	0,5	m	[0,1 1,0]	10	Uniform
Himmelretning	180	°	(0 90 180 270)	-	Uniform
Isolasjonstykkelse, tak	0,4	m	[0,05 1,0]	10	Uniform
Isolasjonstykkelse, yttervegger	0,28	m	[0,05 1,0]	10	Uniform
Varmekonduktivitet i isolasjon, tak	0,036	W/mK	[0,032 0,042]	10	Uniform
Varmekonduktivitet i isolasjon, yttervegg	0,036	W/mK	[0,032 0,042]	10	Uniform

#### 4.7.2 Sensitivitetsanalyse, korrelasjonstest og hypotesetest

I dette delkapittelet skal man analysere datasettet og finne løsninger som har en positiv påvirkning på termisk inn klima og energibehov. Ved multiobjektiv optimalisering i et komplekst system kan utfordringen være at optimalisering av en faktor påvirker en annen faktor negativt, man ønsket derfor å finne et ideelt krysningspunkt mellom tiltakene. Hver inndataparameter analyseres først separat, før man undersøker om det er en eventuell tilknytning og samhandling mellom parameterne. Videre skal man identifisere hvilke parametere som har størst påvirkning på utdataen for å optimalisere designløsninger til kontorbygningen. Før det tas en beslutning blir eventuelle begrensninger på løsningene vurdert for å finne det beste kompromisset.

##### 4.7.2.1 Monte Carlo

Innenfor global sensitivitetsanalyse er Monte Carlo simulering en teknikk man bruker for å analysere risiko -og/eller usikkerhet i et datasett. Denne teknikken kan utføres på en stokastisk modell uavhengig av dens kompleksitet. Med funksjonen *Parametric Runs* (Monte Carlo) i IDA ICE kjørte man flere iterasjoner med uniformt distribuerte tilfeldige verdier innenfor et bestemt variasjonsområde for å beskrive usikkerheten til hver parameter. Analysen ga derfor en mer reell gjennomsnittlig verdi fremfor en diskret gjennomsnittlig verdi eller forventningsverdi. Den ga også et bedre innblikk i hvilke inndataparametere som hadde størst påvirkning på de avhengige variablene, slik at risikoen for å trekke feil beslutninger ble redusert (Molven, 2013).

Hver Monte Carlo simulering ble utført på samme rommodell og geografisk lokasjon under en bestemt tidsperiode for å utelukke konfunderende (forstyrrende) variabler. I den første simuleringen ønsket man å måle effekten på de ulike designtiltakene og deres eventuelle korrelasjon. Tidsperioden ble satt til én måned (01.05.2020 -31.05.2020). Mai-måneden ble valgt siden det var både varme -og kjølebehov i rommet da (kap. 4.6.1). Hver simulering hadde 60 iterasjoner med verdiene oppgitt i tabell 12. Morris metoden, one-step-at-a-time method (OAT), ble benyttet som fremgangsmåte. Det vil si at man endret bare én inndataparameter om gangen. Deretter utførte man en korrelasjonstest mellom inndata -og utdataparametere for å se om tiltakene hadde en effekt. Det ble så sjekket om det var en

korrelasjon mellom inndataparameterne. De parameterne som besto korrelasjonstesten, kjørte man en andre Monte Carlo simulering på. Det ble benyttet samme fremgangsmetode og verdier, men tidsperioden var over et helt år (01.01.2020 -31.12.2020) med 100 iterasjoner.

#### **4.7.2.2 Validering av datasett**

Det ble utført en korrelasjonstest på inn -og utdata fra den første Monte Carlo simuleringen i dataprogrammet Microsoft Office Excel. Korrelasjonstesten ble utført på usortert originalt datasett slik at korrelasjon ikke blir påvirket. Sorteres datasettet kan man risikere å få korrelert resultat der dataen var opprinnelig helt ukorrelert. I analysen ble det brukt Pearsons korrelasjonskoeffisient, der  $r=1/-1$  tilsvarer sterk positiv eller negativ sammenheng mellom parameterne, mens  $r=0$  betyr ingen sammenheng (vedlegg H). Hvis det var en sterk korrelasjon mellom inndataparameterne vil det være problematisk å bruke dem i samme modell, da dette vil føre til dårlig estimerte regresjonskoeffisienter. Det ble også sjekket om regresjonslinjen var skrå eller horisontal, da en skrå linje viser at parameterne er avhengige av hverandre mens en horisontal linje viser ingen sammenheng.

For å se om datasettet var normalfordelt, så utførte man en Kolmogorov – Smirnov test (K-S test) med 95% konfidensnivå i programmet Grapher. Hypotesene i testen er:

- $H_0$ : datasettet er normalfordelt
- $H_1$ : datasettet er ikke normalfordelt

Hvis Kolmogorov – Smirnov stat var mindre enn Critical K- S stat var dataen normalfordelt, var den derimot større ble nullhypotesen forkastet. Resultatet viste at all data var normalfordelt slik at man kunne utføre en T-test på datasettet (vedlegg I).

Det ble så utført en varianstest (F-test) i Microsoft Excel for å se om inn og utdataparameterne hadde lik varians i datasettene. Hypotesene er:

- $H_0$ : lik varians
- $H_1$ : ulik varians

Man forkastet nullhypotesen hvis F var større enn F-kritisk. Testen antydte at variansen var ulik i alle datasett, så man kjørte en T-test med antatt ulik varians (vedlegg J).

I tosidig paret T-test med antatt ulik varians valgte man et signifikansnivå på fem prosent, så hver test ble kjørt med et konfidensintervall på 95%. Det vil si at det er med 95% sannsynlighet at verdiene i datasettet, mellom inndata og utdata, er enten tilfeldige eller ikke. Hypotesene man har satt opp i testen er:

- $H_0$ : verdiene er tilfeldige
- $H_1$ : verdiene er ikke tilfeldige

Hvis p-verdien er mindre enn signifikansnivået ( $p\text{-verdi} < 0,05$ ) forkastes nullhypotesen, er verdien større beholder man nullhypotesen. Resultatene fra T- testen viser at viser at nullhypotesen skal forkastes (vedlegg H).

#### 4.7.2.2.1 Resultater fra korrelasjonstesten og hypotesetesten

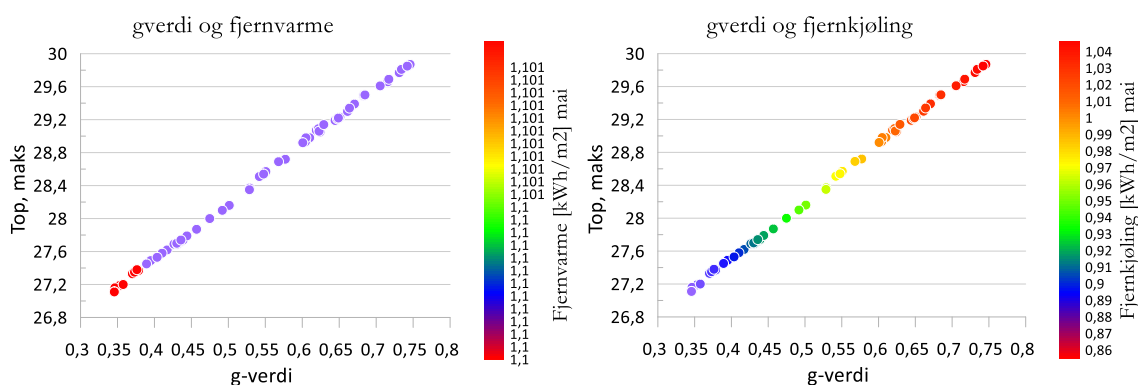
Månedssimuleringen på referansemodellen (møterommet) med opprinnelige verdier ga resultatet som er representert i tabell 13.

Tabell 13 Resultat fra månedssimuleringen på rommodell

$T_{op}$ [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
27,39	1,101	0,8811	0,02186	28

Etter parametrisk simulering har hvert datasett blitt analysert for å se om det er en sammenheng mellom inndataparameter og operativ temperatur, fjernkjøling og fjernvarme. Simuleringene ble utført med samme vindusglass som er brukt i referansemodellen for å se om ulike tiltak kan redusere operativ temperatur med denne glasstypen. I tillegg til testene er det plottet et spredningsdiagram. Dette gir et mer visuelt bilde på om det er lineær sammenheng mellom variablene. På høyre side i diagrammet har man en fargeskala som representerer energiforbruket til kjøling eller oppvarming, y-aksen viser operativ temperatur mens x-aksen viser valgt inndataparameter.

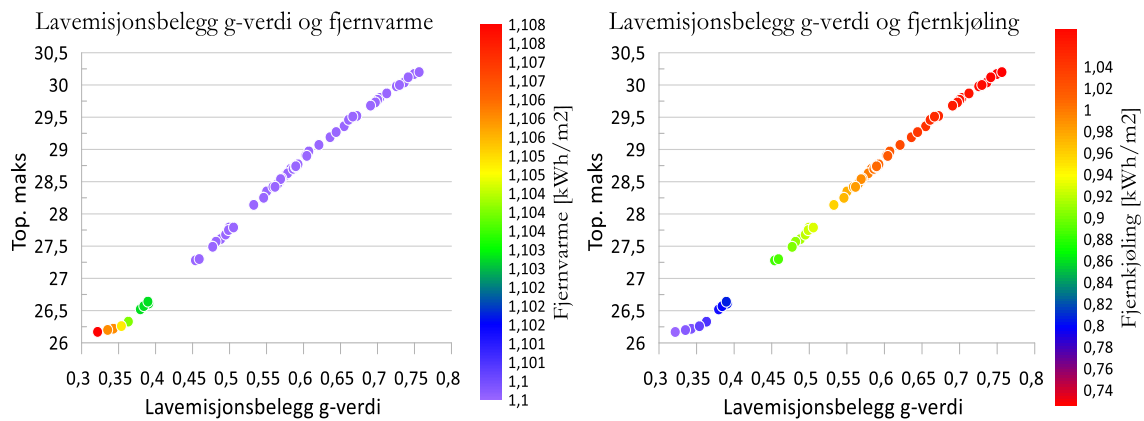
Spredningsdiagrammet viser en klar lineær sammenheng (figur 25). En høy g-verdi øker operativ temperaturen i rommet, samt kjølebehovet. Hvis g-verdien er for lav slipper lite solenergi igjennom vindusglasset som vil føre til oppvarmingsbehov. Det er derimot operativ temperatur og energibruken til kjøling som har størst spenn mellom lav og høy g-verdi.



Figur 25 Solfaktor og operativ temperatur

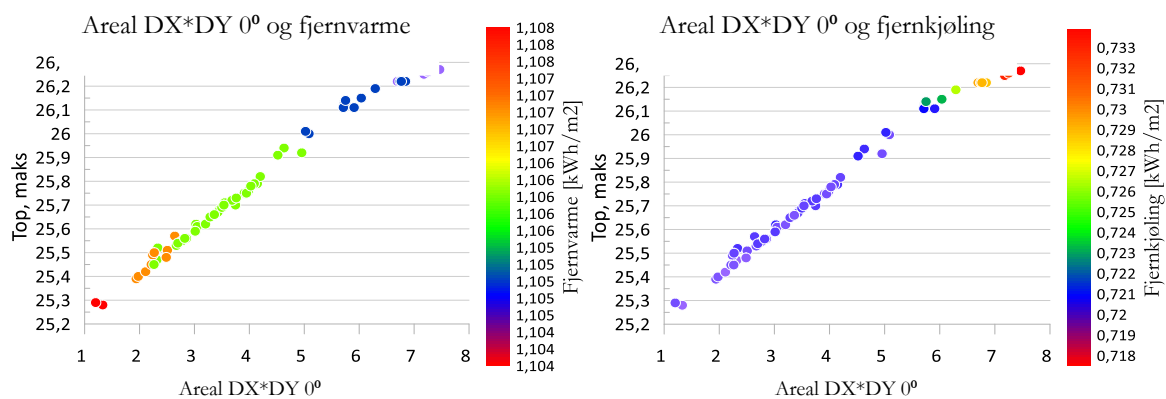


Sammenlignet med et ubelagt glass vil lavemisjonsbelegg på innvendig og utvendig vindusglass redusere operativ temperatur ytterligere (figur 26). Det vil likevel være en betydelig forskjell på maksimal operativ temperatur i forhold til hvilken g-verdi man har på glasset.

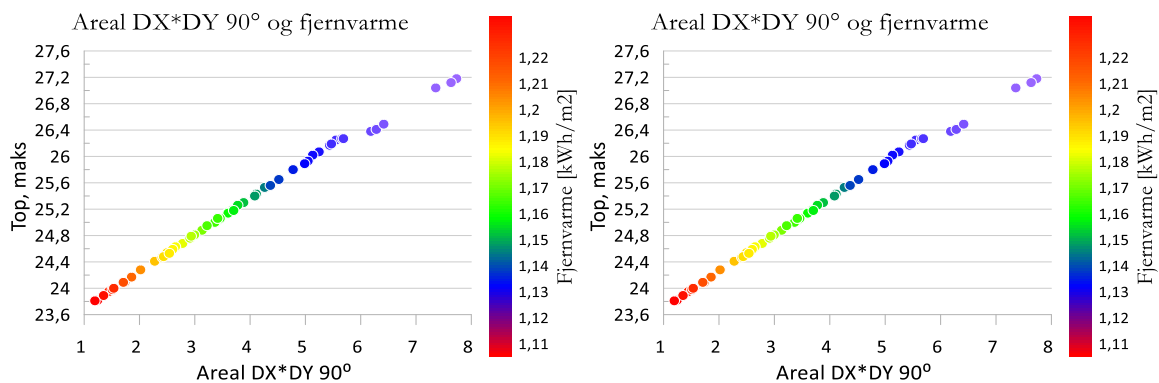


Figur 26 Lavemisjonsbelegg og operativ temperatur

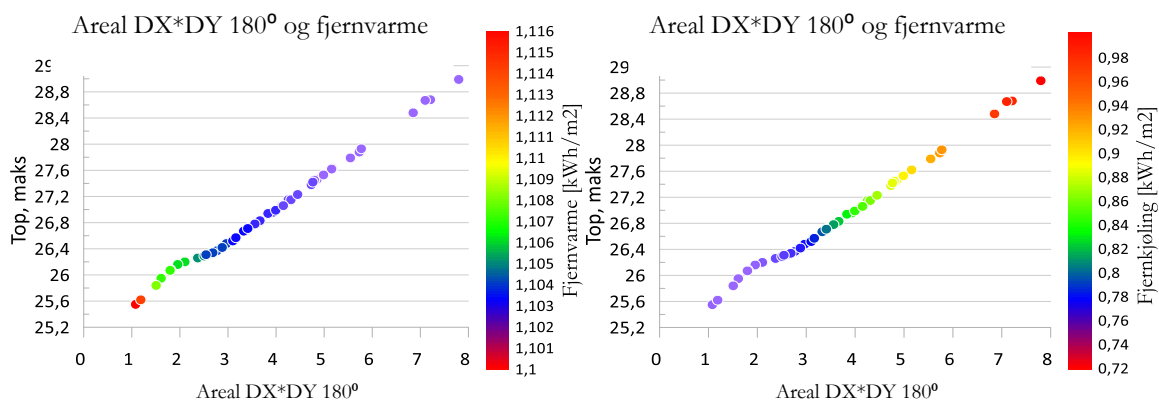
I denne Monte Carlo simuleringen er det brukt to inndataparametere, vindusareal og himmelretning. I overskriften på diagrammene er det satt inn grader der  $0^{\circ}$  = nord,  $90^{\circ}$  = øst,  $180^{\circ}$  = sør og  $270^{\circ}$  = vest. Spredningsdiagrammene viser at vindusarealet har stor påvirkning på operativ temperatur (figur 27-30). På solutsatte fasader kan det derfor være gunstig med mindre areal for å unngå overtemperatur, så lenge man tilfredsstiller minstekravet til glassareal og dagslys.



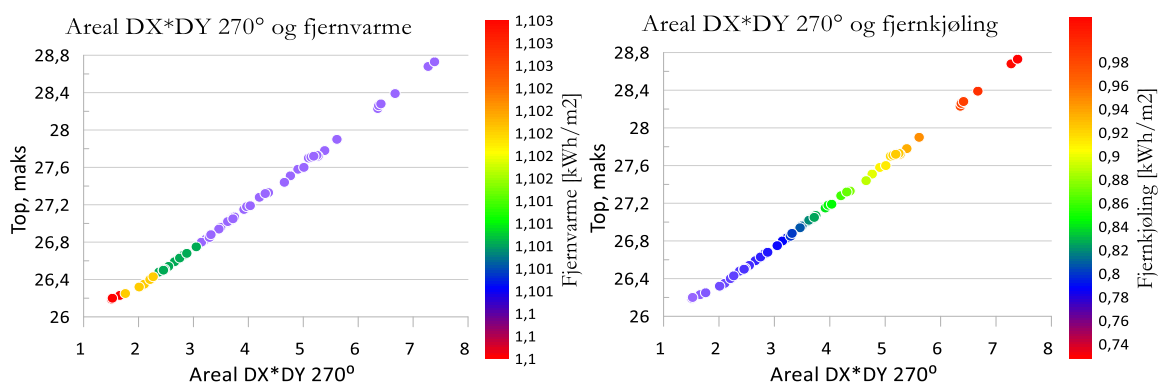
Figur 27 Vindusareal i sør og operativ temperatur



Figur 28 Vindusareal i øst og operativ temperatur



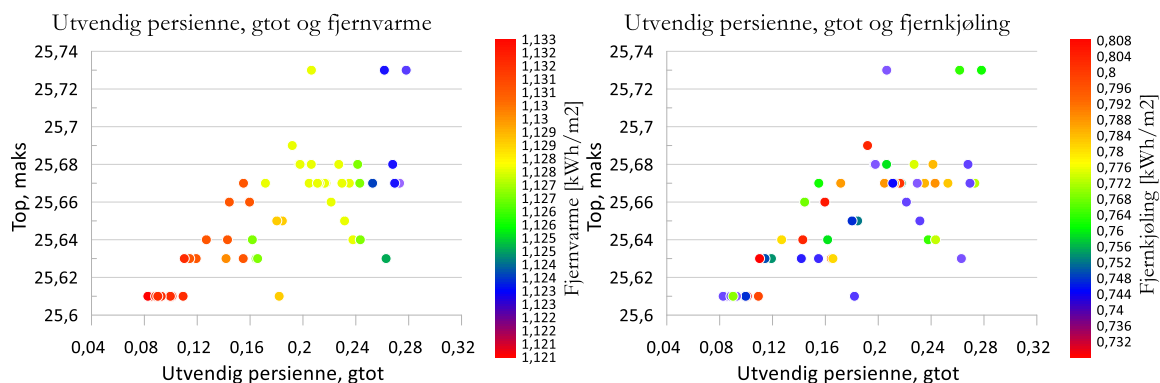
Figur 29 Vindusareal i sør og operativ temperatur



Figur 30 Vindusareal i vest og operativ temperatur

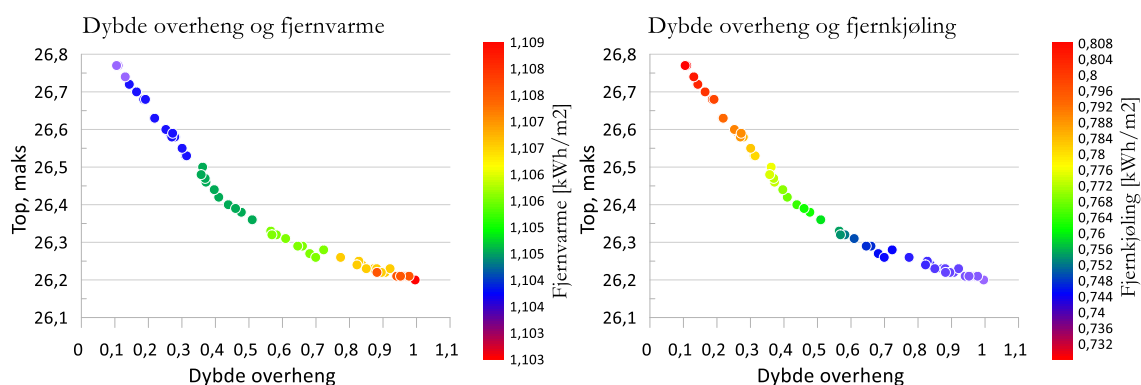
Korrelasjonstesten viste svak sammenheng mellom  $g_{tot}$  og fjernkjøling, men hypotesetesten kan med 95% sannsynlighet si at verdiene ikke var tilfeldige og  $g_{tot}$  hadde en påvirkning på kjølebehovet. Dette tiltaket klarer å holde lav operativ temperatur, noe som igjen vil ha en effekt på både kjøle -og varmebehovet. Plottet i diagrammet har ingen klar stigningskurve på grunn av reguleringen av persiennen (figur 31). Som

nevnt i kapittel 4.7.1.1 vil persiennen senke og heve seg etter signal fra sensorer og innnetemperaturen vil dermed holdes mer stabil.



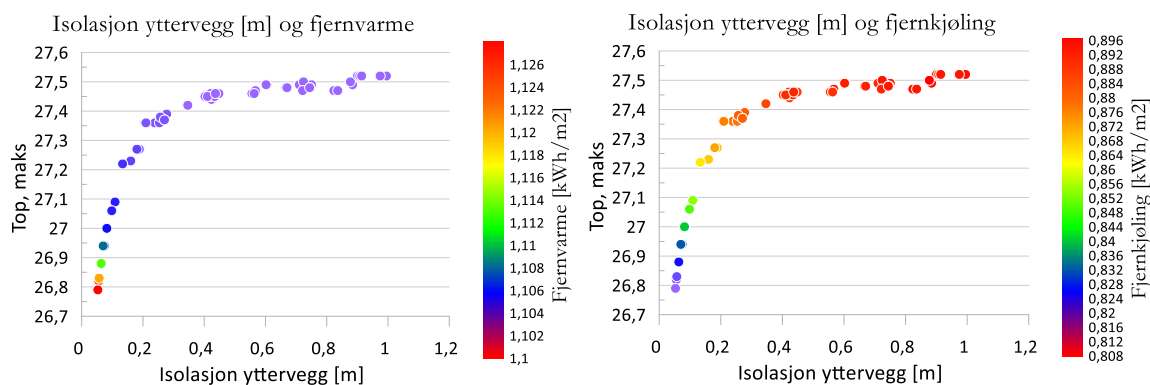
Figur 31  $g_{tot}$  og operativ temperatur

Med dybden [m] menes avstanden fra vindu til ytterkanten på overhengen. Dette designtiltaket gir en lav operativ temperatur samt generelt lavt energiforbruk i maimåneden (figur 32).



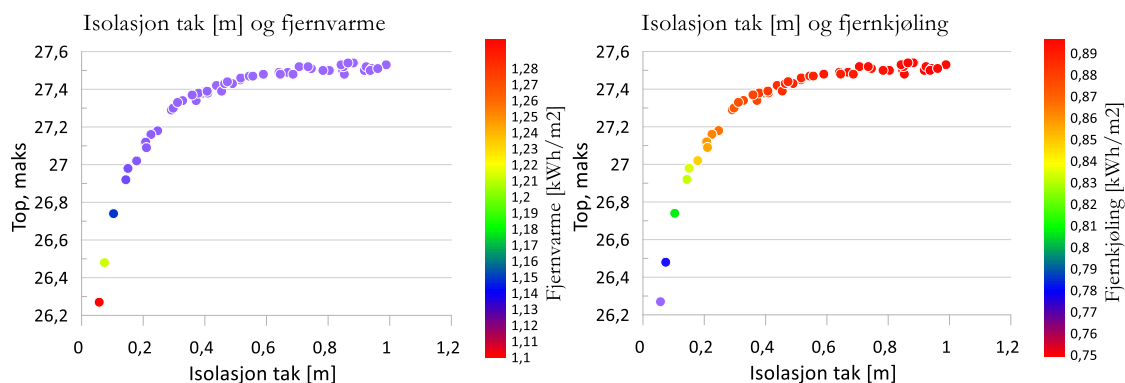
Figur 32 Dybde overheng [m] og operativ temperatur

Fra diagrammet ser man at isolasjonstykkelsen over 0,4 m påvirker ikke operativ temperatur bemerkelsesverdig (figur 33). Valg av tykkelse har derimot mye å si for omfanget av varmetap gjennom konstruksjon, og energiforbruket.



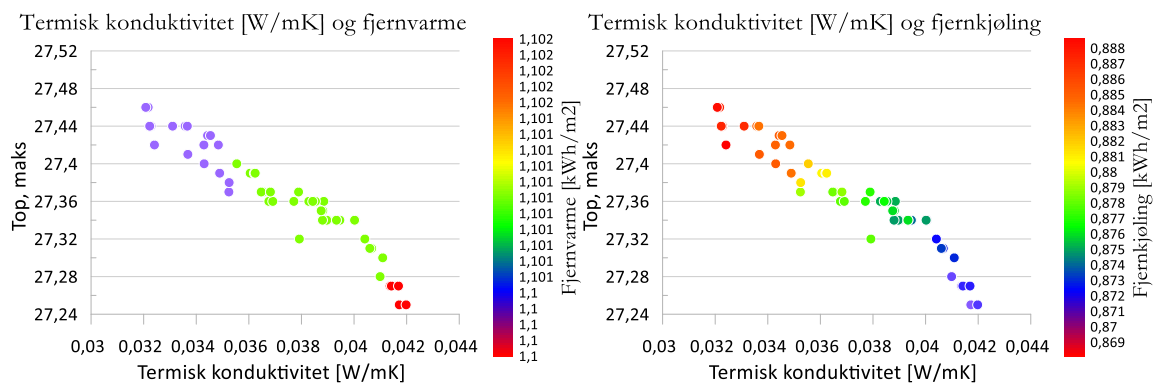
Figur 33 Isolasjon yttervegg [m] og operativ temperatur

Spredningsdiagrammet viser at økningen i operativ temperatur vil avta litt etter en viss tykkelse på takisolasjonen (figur 34). I forhold til veggisolasjon er det større spenn mellom maks temperatur. Den største påvirkningen skjer derimot på energiforbruket.



Figur 34 Isolasjon tak [m] og operativ temperatur

Det ble kjørt en parametrisert simulering på termisk konduktivitet i isolasjonsmateriale. Isolasjonstykkelsen i konstruksjonen ble holdt konstant. Man ønsket å studere virkningen termisk konduktivitet har på operativ temperatur i løpet av maimåneden. Diagrammet viser at det er lite spenn mellom maks operativ temperatur og energiforbruket (figur 35). Innenfor noen verdier innenfor termisk konduktivitet forholder utdataparameterne seg stabil. Det kan være at termisk konduktivitet har større påvirkning på en årssimulering. Det positive med dette tiltaket er at man trenger mindre isolasjon når materialet har lav termisk konduktivitet, samt innnetemperaturen holder seg jevnere.

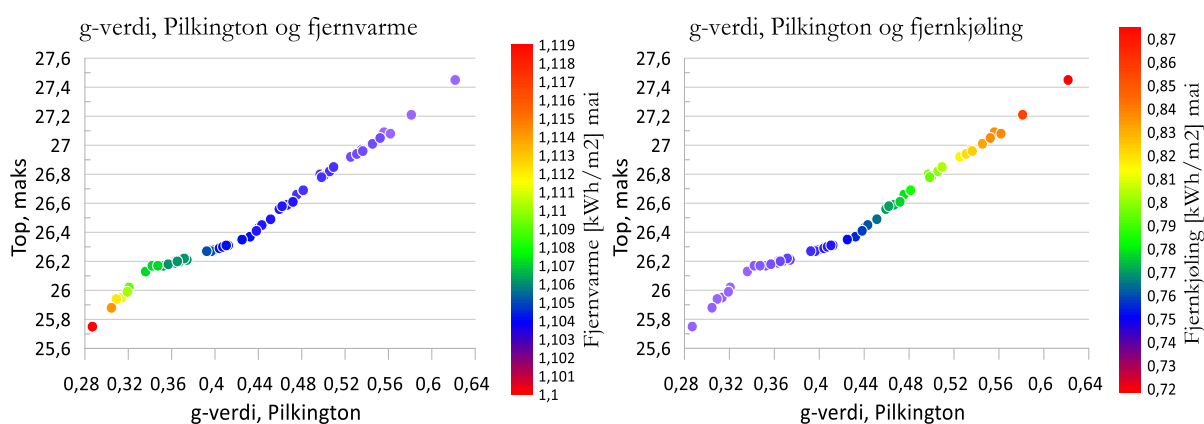


Figur 35 Termisk konduktivitet og operativ temperatur

Spredningsdiagrammene viste at med enkelte tiltak kan det være vanskelig å få en operativ temperatur under 26 °C med vindusglasset fra referansemodellen. Dermed ble tolags- glasset Saint-Gobain T4-12 m byttet ut med trelags-glasset Pilkington Suncool 66/33 (6C(66)-15Ar-4-15Ar-4S(3)). Glassegenskapene er presentert i tabell X. Man utførte også her statistiske tester på datasettet for å forsikre seg om at det var gyldig til videre bruk (vedlegg H-J).

g-verdi [-]	T <sub>dir</sub> [-]	T <sub>vis</sub> [-]	U-verdi W/(m <sup>2</sup> K)	Innvendig emissivitet [-]	Utvendig emissivitet [-]
0,32	0,28	0,70	0,6	0,837	0,837

Pilkington klarer å holde lavere operativ temperatur enn glasstypen i referansemodellene. Ved sammenligning vil en g-verdi på 0,32 holde temperaturen under 26 °C med Pilkington, mens temperaturen vil være cirka 27 °C med Saint-Gobain. Kjølebehovet vil også derfor være mindre med trelags-glasset (figur 36).



Figur 36 g-verdi for glasstype Pilkington

### 4.7.3 Optimalisering med GenOpt

I GenOpt sin optimaliseringsfunksjon kan flere inndataparametere kjøres samtidig for å finne den mest optimale designløsningen innenfor et variasjonsområde. Funksjonen systematisk varierer verdiene til inndataparameterne for å finne de løsningene som gir minimum eller maksimum verdi til en faktor. Årssimuleringen på referansemodellen (møterommet) med opprinnelige verdier ga resultatet som er representert i tabell 14. Det ble kjørt årssimuleringer (år 2020) over samme variasjonsområde brukt i Monte Carlo simuleringen (tabell 12), bortsett fra isolasjonstykkelsen. Variasjonsområde til isolasjon i yttervegg og tak ble endret til 0,1-0,5 m, da det er mer troverdige verdier som er aktuelt å bruke i en bygning. Simuleringene ble utført med glasstypen Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 174+ar+PLANITHERM ULTRA og Pilkington Suncool 66/33 for sammenligning.

I analysen ønsket man å finne hvilke inndataparametere som gir lavest operativ temperatur i rommet, samt hvilke verdier til hver parameter som er mest optimal. Deretter ble utvalgte parametere kombinert for videre årssimuleringer i IDA ICE med Monte Carlo. Tabell 14 viser resultat fra årssimuleringen på referanserommet.

Tabell 14 Resultat fra årssimuleringen på rommodell (referanse)

$T_{op}$ [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
27,67	49,41	8,67	656,7	268,1

Vindusglasset Saint-Gobain har opprinnelig en g-verdi på 0,38. Innenfor valgt variasjonsområde viser optimaliseringen at en g-verdi på 0,32 gir lavest operativ temperatur. Vindusglasset Pilkington har opprinnelig en g-verdi på 0,32, men ved å senke den 0,28 vil man oppnå en bedre operativ temperatur. (tabell 15).

Tabell 15 Resultat etter optimalisering: glassegenskaper

Tiltak	Verdi [-]	$T_{op}$ [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
Saint-Gobain						
g-verdi glass	0,32	27,31	51,33	8,35	667,50	256,5
Pilkington						
g-verdi glass	0,28	26,56	52,28	7,27	682,5	217,9

Lavemisjonsbelegg på innside og utside av glasset vil redusere overtemperaturen og kjølebehovet i rommet ytterligere i forhold til ubelagt glass. Som nevnt tidligere er det benyttet en emissivitet på 0,12 på ytterste glass og 0,013 på innerste (tabell 16).

Tabell 16 Resultat etter optimalisering: lavemisjonsbelegg

Tiltak	Verdi [-]	T <sub>op</sub> [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
Saint-Gobain						
g-verdi glass	0,38	26,51	56,23	7,17	694,8	214,4
Pilkington						
g-verdi glass	0,32	26,35	54,4	7,054	694	210

Vindusarealet i referansemodellene er 4,71 m<sup>2</sup>. I hver himmelretning undersøkte man hvordan størrelsen på vindusarealet påvirket operativ temperatur. Et lite vindusareal gir mindre solinnstråling som fører til lavere innendørstemperatur. På vestlig fasade kan vindusarealet reduseres uten at det øker varmebehovet. Sammenligner man øst- og sørfasade, vil samme vindusareal gi høyere operativ temperatur på sørlig side på grunn av solinnskudd. Fordelen er mindre energiforbruk til oppvarming, så helhetlig kunne vindusarealet på østsiden vært større slik at varmebehovet reduseres (tabell 17).

Tabell 17 Resultat etter optimalisering: vindusareal i forskjellig himmelretning

Orientering [°]	Areal [m <sup>2</sup> ]	T <sub>op</sub> [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
Saint-Gobain						
0	1,03	26,55	51,99	7,20	688,3	215,3
90	1,06	25,45	58,78	6,93	712,3	205,7
180	1,06	26,79	55,35	7,13	702,8	212,9
270	1,00	26,79	45,37	7,26	657,7	217,5
Pilkington						
0	1,46	26,39	50,59	7,08	686,4	211
90	1,03	25,12	56,71	6,89	709,5	204,2
180	1,15	26,44	53,93	7,02	701,5	208,8
270	1,05	26,43	45,24	7,075	663,5	210,8

Optimaliseringen av utvendig integrert persienne regulert etter solenergi fluks og innendørs temperatur, ble kombinert med begge glasstypene. For Saint-Gobain var vindusglass med en g-verdi på 0,32 og persienne med g-verdi på 0,11 den kombinasjon som ga minste operativ temperatur. En dybde på nesten 1 m mellom yttervegg og overheng ga den beste innetemperaturen.

Simuleringen med Pilkington ga samme resultat når g-verdien på persiennen var mellom 0,11-0,20, og vindusglasset hadde en g-verdi på 0,32. Overhengets dybde måtte også i dette tilfellet være opp mot 1 m for å redusere overtemperaturen. Man ser i tabell 18 at det vil påvirke varmebehovet negativt.

Tabell 18 Resultat etter optimalisering: solavskjerming

Solskjerming	Verdi	T <sub>op</sub> [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]
Saint-Gobain						
Persienn, g-verdi [-]	0,11	26,55	51,15	7,875	666,6	239,6
Overheng, Dybde [m]	0,98	26,76	53,57	7,564	679,9	228,4
Pilkington						
Persienn, g-verdi [-]	0,14	26,49	51,03	7,338	677,2	220,2
Overheng, Dybde [m]	0,95	26,13	58,1	6,984	703,7	207,5

Det ble kjørt kombinert optimalisering på isolasjonstykkelse og varmekonduktivitet i isolasjonen (tabell 19). Resultatet fra optimaliseringen viste at liten isolasjonstykkelse med høy varmekonduktivitet gir lavere operativ temperatur, men er ikke gunstig med tanke på varmetapet. Man ser også at U-verdien for tak og vegg ville ikke tilfredsstilt passivhuskravet ved bruk av glasstypen Pilkington. For Saint -Gobain var det bare U-verdien for tak som var for høy. Ved å øke isolasjonstykkelsen samt forbedre varmekonduktiviteten, ville man redusert varmebehovet og U-verdien kraftig uten at operativ temperatur hadde økt bemerkelsesverdig. I henhold til resultatene fra optimaliseringen med Pilkington, ville en isolasjonstykkelse på 0,4m med varmekonduktivitet på 0,035 i tak redusert oppvarmingsbehovet med 34,75 kWh/m<sup>2</sup>. U-verdien ville da vært på 0,09 W/m<sup>2</sup>K, og operativ temperatur hadde bare vært 0,25 °C høyere.

Tabell 19 Resultat etter optimalisering: isolasjon og varmekonduktivitet

Fasade	Isolasjonstykkelse [m]	Varmekonduktivitet [W/mK]	T <sub>op</sub> [°C]	Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ventilasjonsvarme [kWh]	Ventilasjonskjøling [kWh]	U-verdi [W/m <sup>2</sup> K]
Saint-Gobain								
Yttervegg	0,1	0,04	27,55	61,94	8,4	687,4	259,5	0,1
Tak	0,1	0,04	27,48	80,73	8,2	712,2	251,3	0,4
Pilkington								



Yttervegg	0,1	0,04	26,24	66,08	7,0	715,4	208	0,3
Tak	0,1	0,04	26,08	91,67	7,0	740	207,1	0,4

Siden det ble utført en årssimulering ble maksimal operativ høyere enn under månedssimuleringen. Dette skyldes at man har inkludert sommermånedene i simuleringen. GenOpt sitt optimaliseringsverktøy ga optimale verdier for hver parameter. Man kunne dermed vurdere utfra resultert operativ temperatur om tiltakene (innenfor variasjonsområde) klarte å redusere temperaturen i forhold til referansemодellen. Alle tiltakene fikk en operativ temperatur like over 26 °C, dette er rundt 1 °C mindre enn i referansemодellen. Det skal senere i studie bli sett på hvor mange timer i året temperaturen overstiger 26 °C i de ulike tiltakene, for å vurdere om de klarer å hindre overtemperatur.

#### 4.7.4 Valg av programvare for symbolsk regresjon

Etter å ha sammenlignet HeuristicLab og Eureqa kom man fram til den konklusjon at Eureqa vil være mest aktuelt å bruke i masteroppgaven. Eureqa er velkjent i forskningsmiljøet, brukervennlig og har en robust tilnærming for å lage opplærings- og valideringsdatasett.

##### 4.7.4.1 Valg av måltall for symbolsk regresjon

Pearsons korrelasjonskoeffisient viser hvor sterk lineær sammenheng det er mellom to variabler, men den gir ingen nøyaktig tallmessig lineær sammenheng. Det er derfor nødvendig å utføre en regresjonsanalyse for å forutsi en forventet verdi på utdataparameteren basert på verdien fra inndataparameteren (Pripp, 2018). Statistikkprogrammet Eureqa ble brukt for å finne en passende regresjonslinje til hvert datasett. Det er viktig at settet innehar de funksjonene som er nødvendig for å få en presis estimering, da med tanke på størrelse og parametere. I databasetabellen representerer hver kolonne en variabel, mens radene tilsvarer observasjoner. For at programmet skal klare å finne korrekte formler, må man spesifisere en funksjon som forklarer sammenhengen i datasettet. Datasettene i dette studie hadde funksjonen  $y = f(x)$  eller  $y = f(x_1, x_2 \dots x_n)$ , det vil si at utdataverdien er en funksjon av de ulike inndataverdiene. Det ble spesifisert hvilken type feilmåling man ønsket å bruke under analyseprosessen i Eureqa. Siden datasettet har normalt distribuert støy, ble funksjonen *Mean Squared Error* (MSE) brukt:

*Formel 6 Mean Squared Error*

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - y_i)^2$$

$N$  = antall datapunkter

$f_i$  = estimert verdi

$y_i$  = faktisk verdi

Denne funksjonen minimerer gjennomsnittsverdien av kvadratiske restavvik, slik at kvadratdifferansen mellom de estimerte verdiene og faktisk verdi er minimal. Eureka kommer med en rekke ligninger som kan passe til datasettet. Aktuelle løsninger blir vurdert etter kompleksitet og regresjonsmodellens tilpasning. Ved å velge ligninger med få ledd unngår man overtilpasning. Størrelsen R kvadrat ( $r^2$ ) beskriver hvor godt regresjonsmodellen passer dataene, ved at den forteller hvor stor andel av variasjonen i utdataen kan forklares med en variasjon i inndataen. Verdien  $r^2$  ligger mellom 0 og 1, der 1 tilsvarer at 100% av variasjonen kan forklares ved en lineær sammenheng.

#### 4.7.4.2 *Datasett brukt i Eureka*

Det blir utført årssimuleringer med funksjonen *Parametric Runs* (Monte Carlo) i IDA ICE (01.01.2020 -31.12.2020). Årssimuleringen på referansemodellen (møterommet) med opprinnelige verdier og glasstype ga resultatet som er representert i tabell 20.

Tabell 20 Resultat fra årssimulering på referanserom

$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
27,32	532	52,9	22,3	67,7	16,1

Det brukes bare glasstypen Pilkington Suncool 66/33 under videre Monte Carlo simuleringer da det viste seg at denne har bedre effekt på utdataparameterne. Vindusstørrelsen er som opprinnelig (2,17x 2,17) og himmelretningen er 180 °, hvis ingenting annet er nevnt. Det har blitt utarbeidet en tabell som viser temperaturdifferansen i alle himmelretninger med 5° intervall, slik at man kan anvende dimensjonskriteriene også i andre himmelretninger. Videre har man omgjort tiltak vindusareal til vindusareal/romareal slik at dimensjonskriteriene er anvendelig til ulike rom. Fremgangsmetoden og variasjonsområde er den samme som i delkapittel 4.7.1.3. Det skal bli utformet dimensjonskriterier til disse inndataparameterne:

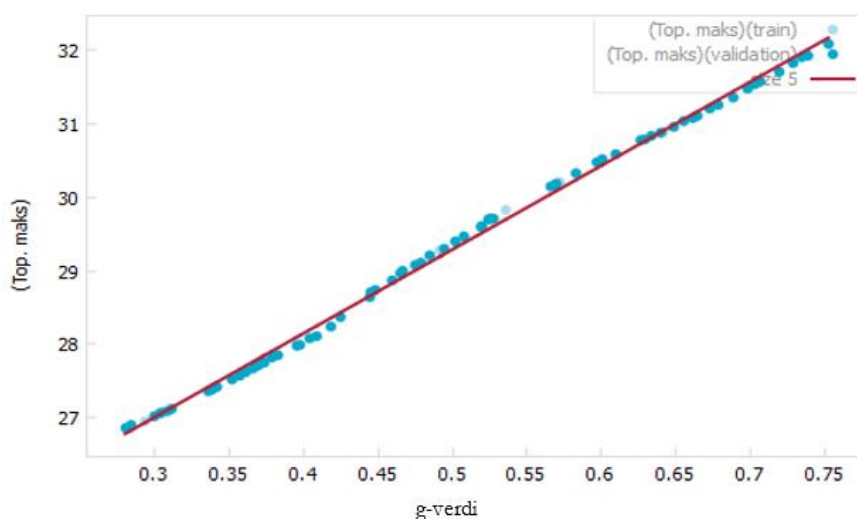
- Solfaktor
- Total solfaktor
- Overheng over vindu
- Forhold mellom vindusareal/romareal (nord, øst, sør og vest)
- Isolasjonstykkelse i vegg og tak
- Kombinasjon av tiltak: total solfaktor, vindusareal/romareal og isolasjonstykkelse i vegg og tak

## 5 RESULTATER OG DISKUSJON

Resultatene fra regresjonsanalysen Eureka blir presentert i dette kapittelet. Ved hjelp av symbolsk regresjons utvikles enkle dimensjonskriterier for hvert enkelte designtiltak. Det blir også sammenlignet hvilken effekt tiltakene har på operativ temperatur og energiforbruket i forhold til referansemodellen. I vedlegg L er resultatene fra symbolsk regresjon er plassert i tabell L, mens i vedlegg M er resultatene fra energisimuleringene utført i denne delen av studie.

### 5.1 SOLFAKTOR (G-VERDI)

Denne regresjonsmodellen var én av de minst komplekse løsningene fra Eureka, men den hadde en god tilpasning til datasettet (figur 37). R-kvadrat oppgir verdien 0,997.. som tilsvarer at modellen forklarer 99,4 % av variasjonene i operativ temperatur.



Figur 37 Regresjonsmodell: g-verdi

Den lineære ligningen ble som følge:

$$T_{op, maks} = 23.5731393751539 + 11.4345066716919*(g\text{-verdi})$$

Solfaktoren vil øke operativ temperatur lineært. Fra tabellen ser man at temperaturen reduseres rundt 2% når g-verdien går ned med 0,05 (tabell 21).

Tabell 21 Resultat fra symbolsk regresjon: g-verdi

g-verdi [-]	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
-------------	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----

$T_{op}$ [°C]	26,43	27	27,58	28,15	28,72	29,29	30,43	31,01	31,58	32,15
$\Delta T$ [K]	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

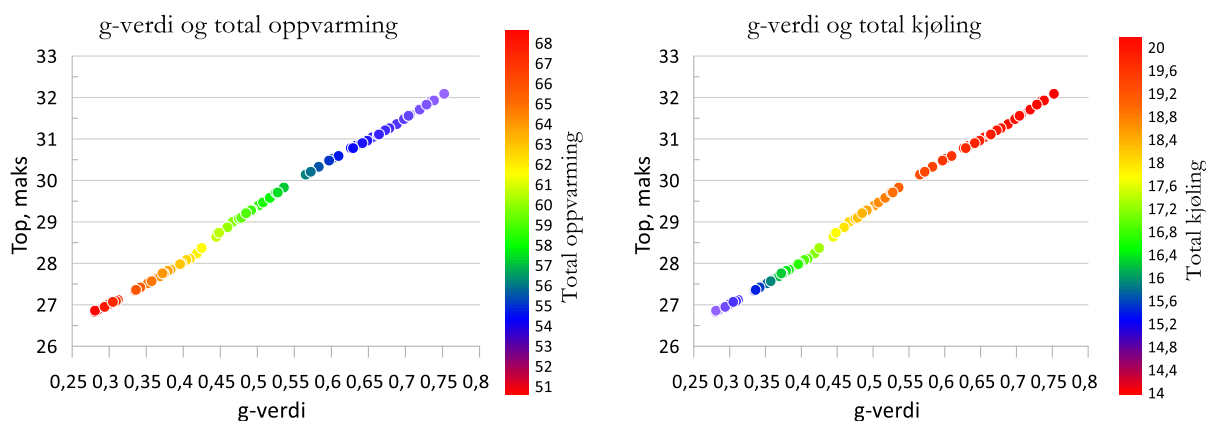
### 5.1.1 Solfaktor: termisk inn klima og energiforbruk

I simuleringen er det tatt utgangspunkt i vinduet plassert på sørlig fasade. Resultatet stemmer overens med resulterte verdier fra ligningen. Ved å endre g-verdien til 0,28 og  $T_{dir}$  til 0,27 vil man fremdeles oppleve 197 timer med overtemperatur på møterommet (tabell 22). Det er derfor ikke tilstrekkelig å endre g-verdien i glasstypen Pilkington Suncool 66/33 for å hindre overtemperatur. Derimot har andel misfornøyde blitt redusert fra 22 %.

Tabell 22 Solfaktor: termisk inn klima og energiforbruk

g-verdi [-]	$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
0,32	27,2	356	5,5	18,5	66,5	15,0
0,28	26,9	197	0,0	15,9	68,6	14,0

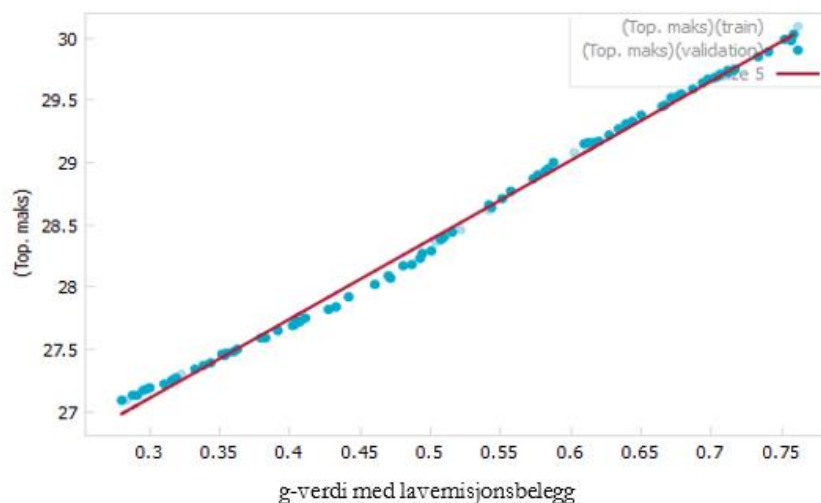
Total oppvarming er tilnærmet lik resultatene fra referanserommet, mens kjølebehovet er redusert med 13 % når g-verdien er 0,28. For å holde energiforbruket til kjøling nede i sørlig himmelretning, kan ifølge figur 38 g-verdien være maksimalt 0,37.



Figur 38 Spredningsdiagram for g-verdi: energiforbruk

## 5.2 LAVEMISJONSBELEGG PÅ VINDUSGLASS

Det ble valgt en lineær regresjonsmodell da denne hadde en god tilpasning (figur 39). R-kvadrat oppgir at 99,2 % av variasjonene i operativ temperatur skyldes inndataparameteren.



Figur 39 Regresjonsmodell: g-verdi med lavemisjonsbelegg

Valgt ligning er:

$$(T_{\text{op. maks}}) = 25.1948160784252 + 6.36966263251742 \cdot (\text{g-verdi med lavemisjonsbelegg})$$

Starttemperaturen med belagt glass er noe høyere enn med ubelagt, men det er mindre økning i operativ temperatur ved større g-verdier. Derfor vil det være gunstig å bruke belagt glass i himmelretninger der det er mye soltilskudd. Operativ temperatur reduseres rundt 1 % når g-verdien i belagt vindusglass går ned med 0,05 (tabell 23).

Tabell 23 Resultat fra symbolsk regresjon: g-verdi i belagt vindusglass

g-verdi [-]	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
$T_{\text{op}}$ [°C]	26,79	27,11	27,42	27,74	28,06	28,38	28,70	29,02	29,34	29,65
$\Delta T$ [K]	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32

### 5.2.1 Lavemisjonsbelegg: termisk inn klima og energiforbruk

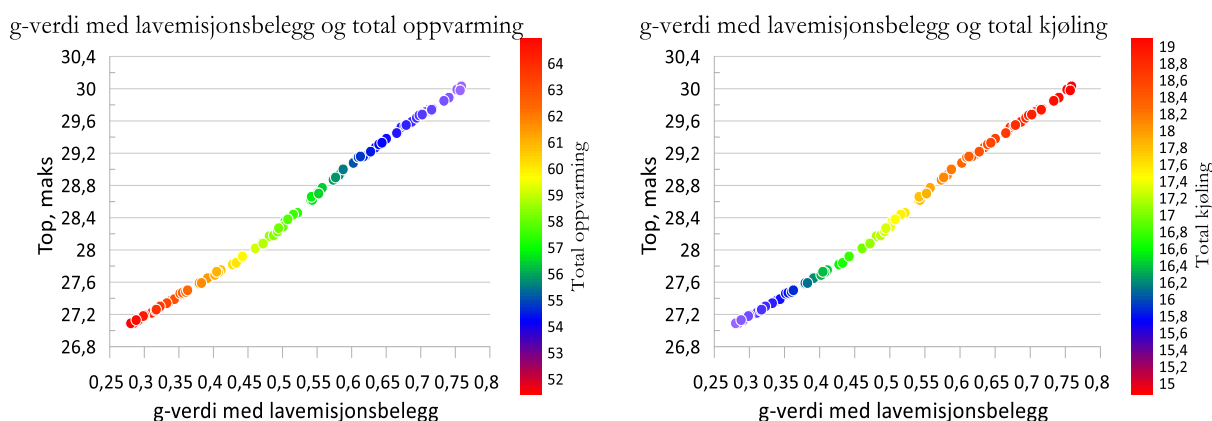
Resultatet fra simuleringene stemmer overens med resulterte verdier fra ligningen. Som nevnt tidligere vil ikke emisjonsbelegget klare å senke temperaturen tilstrekkelig når vindusglasset allerede har en lav g-verdi.

Derimot vil den begrense stor økning av temperaturen ved høyere g-verdi. I forhold til referansemodellen har andel misfornøyde blitt redusert med 25 % når g-verdien er 0,28 (tabell 24).

Tabell 24 Lavemisjonsbelegg: termisk inn klima og energiforbruk

Glassegenskaper [-]	$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
Belegg ytterst: 0,12 Belegg innerst: 0,013 g-verdi: 0,32	27,28	401	7,2	18,8	63,6	15,3
Belegg ytterst: 0,12 Belegg innerst: 0,013 g-verdi: 0,28	26,99	267	0,0	16,7	65,5	14,4

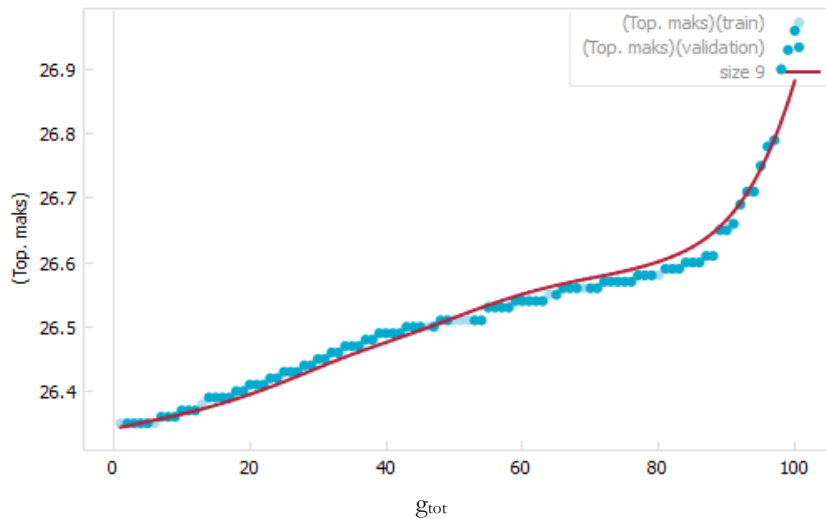
Både kjøle -og oppvarmingsbehovet er redusert med dette tiltaket, da spesielt oppvarmingsbehovet i forhold til resultatet med ubelagt vindusglass. I figur 40 ser man at lav g-verdi vil holde temperaturen nede, men det er på bekostning av energiforbruket til oppvarming av rommet. Forskjellen i energiforbruket mellom lav og høy g-verdi er 12 kWh/m<sup>2</sup>.



Figur 40 Spredningsdiagram for lavemisjonsbelegg: energiforbruk

### 5.3 TOTAL SOLFAKTOR

Det har blitt simulert 100 ulike sammensetninger med g-verdi i glass og persienne for å få total solfaktor. I diagrammet representerer x-aksen antall inndataparameter og total solfaktor. Spredningsplottet viser tegn på en polynomregresjon, men det er noen intervaller som holder kontinuerlig samme operativ temperatur (figur41). Valget ble til slutt en andregrads polynomligning som har 95 % tilpasning til variasjonene.



Figur 41 Regresjonsmodell: total solfaktor

Valgt andregrads polynomligning:

$$T_{\text{op. maks}} = 26.3022568066857 + 4.18089963395044 \cdot (g\text{-verdi persienne}) \cdot (g\text{-verdi glass})^2$$

Hovedsakelig gir høy g-verdi på persienne eller glass den største effekten på temperaturen, men på grunn av reguleringsmetoden på persiennen vil man ikke oppleve så store temperaturredifferanser. Tabell 25 viser prosentvis temperaturendring når g-verdien i persienne reduseres med 0,02. For eksempel, hvis g-verdien i glass er 0,7, vil en endring på 0,02 (g-verdi, persienne) endre temperaturen med 0,15 %. Hvis persiennen har en g-verdi fra 0,24 til 0,26, vil en endring på 0,05 (g-verdi, glass) endre temperaturen fra 0,11 % til 0,26 %. Det kommer an på hvor høy g-verdi det er på glasset. Spesifikke temperaturendringer for de ulike kombinasjonene er satt i tabeller og plassert i vedlegg L.

Tabell 25 Resultat fra symbolsk regresjon: endring av g-verdi i persienne (g-verdi, persienne = 0,08 – 0,26)

g-verdi, glass	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
Temperaturendring [%]	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15

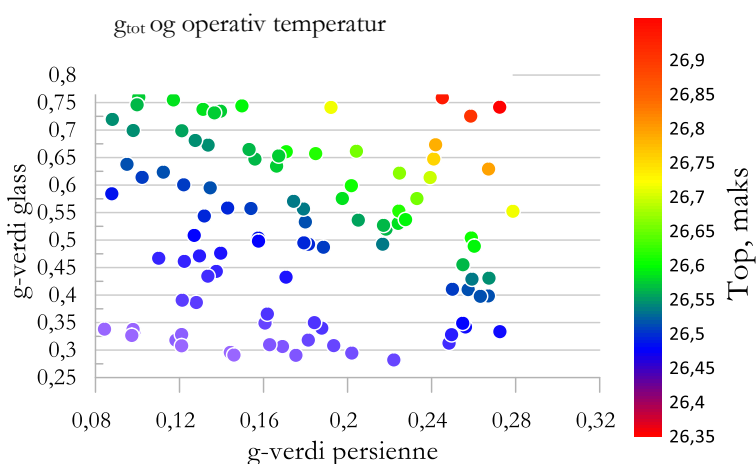
### 5.3.1 Total solfaktor: termisk inn klima og energiforbruk

Simuleringen ble utført med total solfaktor på 0,04 ( $g_{\text{glass}} = 0,32$ ,  $g_{\text{persienne}} = 0,14$ ). Dette er under den anbefalte grensen ( $<0,05$ ) på solutsatte fasader. Resultatet ble 21,6 timer over 26 °C i året, der maksimal operativ temperatur ble 26,4 °C. Dette tiltaket ga 14 % andel misfornøyde (tabell 26).

Tabell 26  $g_{oi}$ : termisk innelima og energiforbruk

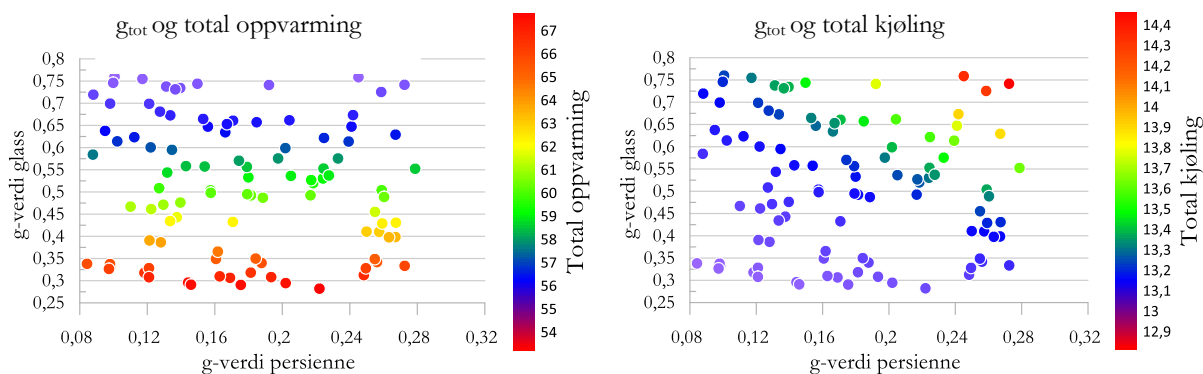
$g_{tot}$ [-]	$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
0,04	26,37	21,6	0,0	14,3	66,3	12,8

Fra spredningsdiagrammet ser man at  $g$ -verdien i vindusglass har større påvirkning på operativ temperatur enn  $g$ -verdien i persiennen (figur 42). Solfaktoren i persiennen kan være høy så lenge den er lav i glasset, temperaturen vil uansett forholde seg ganske stabil.



Figur 42 Spredningsdiagram for  $g_{tot}$ : operativ temperatur

Ved å velge laveste solfaktor på vindusglasset øker man energiforbruket til oppvarming med 13 kWh/m<sup>2</sup>. Siden differansen mellom høy og lav operativ temperatur er minimal med denne reguleringsmetoden kan det være gunstig å velge en høyere  $g$ -verdi på vindusglasset, slik at oppvarmingsbehovet minsker (figur 43).

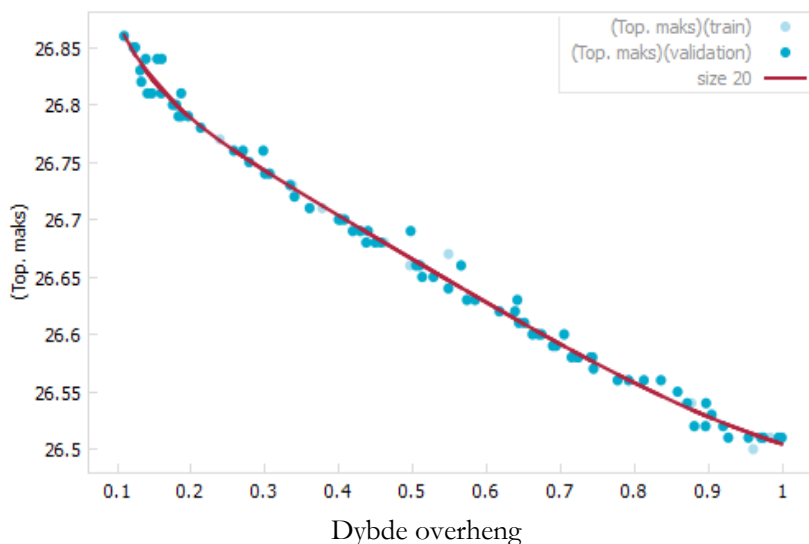


Figur 43 Spredningsdiagram for  $g_{tot}$ : energiforbruk



## 5.4 OVERHENG OVER VINDU

Spredningsplottet viser en polynomisk sammenheng mellom inn -og utdata (figur 44). Derfor valgte man en polynomisk regresjonsmodell som tilpasser variasjonene i datasettet med 98,8%.



Figur 44 Regresjonsmodell: overheng over vindu

Valgt tredjegrads polynommodell:

$$T_{op. maks} = 26.7361354635657 + 0.0142918557640084 / (\text{Dybde overheng}) + 0.303866259636436 * (\text{Dybde overheng})^3 - 0.550044381783745 * (\text{Dybde overheng})^2$$

Det ble testet ut en rekke regresjonsmodeller for å sammenligne resultatet fra ligningene med resultatet fra simuleringene, valgt ligning stemte best med utdataen fra simuleringene. Fra regresjonsmodellen ser man at reduksjon eller økning av temperaturen avhenger av dybden på overhenget. Tabell x viser at den største temperaturforskjellen fås når dybden er under 0,3 m. Øker man dybden med 0,1 m mellom 0,3 – 0,7 m, vil temperaturen senkes 0,15 %, over 0,7 m reduseres temperaturen med 0,11% (tabell 27).

Tabell 27 Resultat fra symbolsk regresjon: overheng over vindu

Dybde [m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$T_{op}$ [°C]	26,87	26,79	26,74	26,70	26,67	26,63	26,59	26,56	26,53	26,50
$\Delta T$ [K]	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

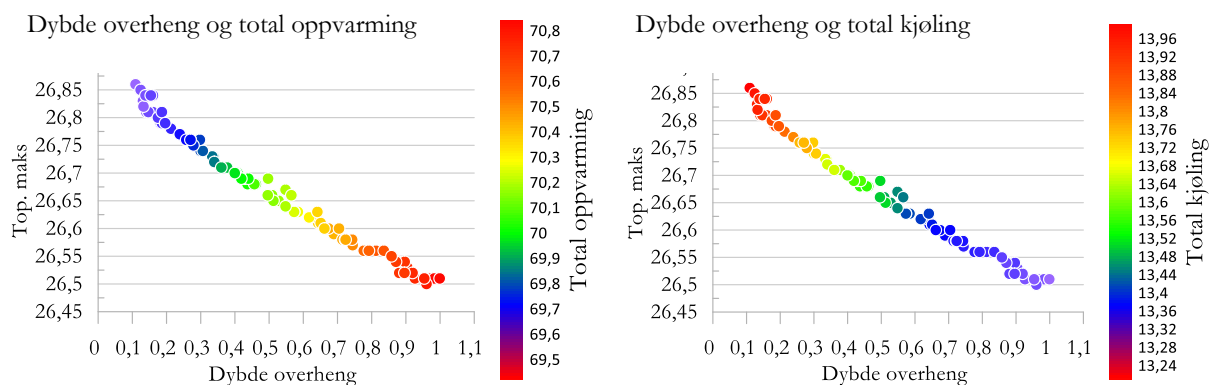
### 5.4.1 Overheng over vindu: termisk inneklima og energiforbruk

Resultatet fra simuleringene bekrefter at valgt ligning gir tilfredsstillende verdier. Som sett tidligere vil en dybde på 1 m redusere mye av overtemperaturen. Med overheng vil man derimot begrense tilgangen til soltilskudd som fører til høyt oppvarmingsbehov. Antall misfornøyde har hatt en nedgang på 29 % i forhold til opprinnelig andel (tabell 28).

Tabell 28 Overheng: termisk inneklima og energiforbruk

Dybde [m]	$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
0,5	26,66	142	0,0	16,4	70,2	13,5
1,0	26,49	83,6	0,0	15,9	70,8	13,2

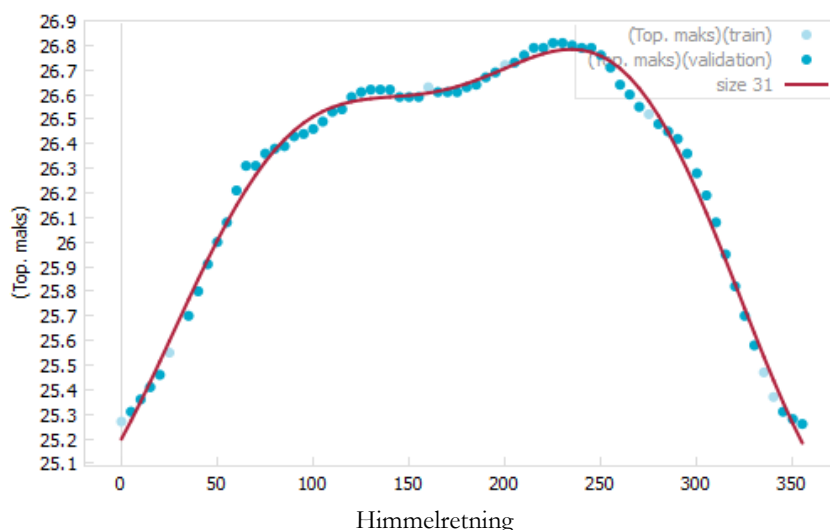
Fra spredningsdiagrammene ser man lite differanse mellom høyt og lavt energiforbruk, det samme gjelder for operativ temperatur (figur 45). Valgt dybde på overhengen har derimot stor påvirkning på antall timer overtemperatur.



Figur 45 Spredningsdiagram for dybde overheng: energiforbruk

## 5.5 TEMPERATURDIFFERANSE MELLOM ULIKE HIMMELRETNINGER

I Eureka valgte man en eksponential funksjon for å forklare sammenhengen mellom temperatur og himmelretning. Resultat fra simuleringen er satt i vedlegg O. Ifølge R - kvadrat kan funksjonen forklare 99,4 % av variasjonene i operativ temperatur (figur 46).



Figur 46 Regresjonsmodell: himmelretning

Valgt eksponential funksjon:

$$T_{\text{op. maks}} = 25.5525962204593 + 0.0118795870609129 * \text{Himmelretning} + 0.00246347475076853 * \text{Himmelretning} * \cos(0.0261882392516612 * \text{Himmelretning}) - 3.22974089548068e-5 * \text{Himmelretning}^2 - 0.353621025287445 * \cos(0.0261882392516612 * \text{Himmelretning})$$

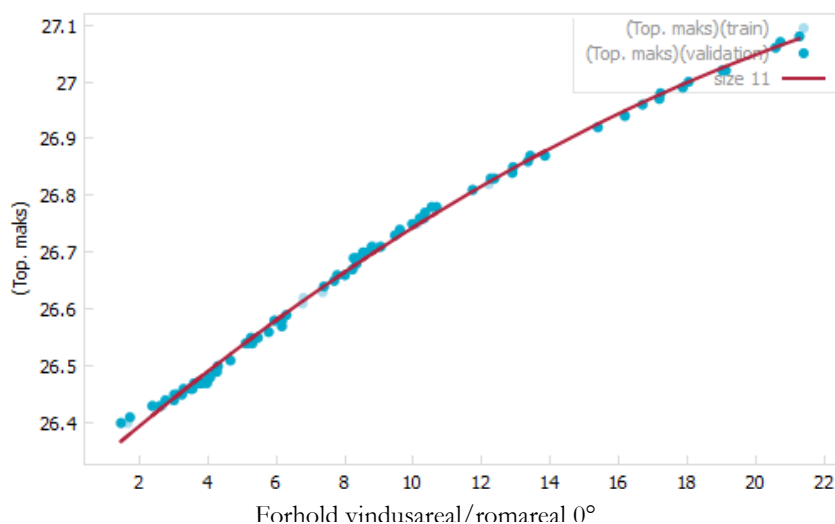
Himmelretning mellom 0° - 355° er satt i tabell 29. I tabellen kan man se at en endring fra 180° til 175° reduseres operativ temperatur med 0,02 °C. Hvis man ønsker å gå fra 180° til 190° øker derimot temperaturen med 0,04 °C. Dette gir mulighet til å bruke dimensjonskriteriene uavhengig av himmelretning.

Tabell 29 Himmelretning og temperaturdifferanse

°	[K]	°	[K]	°	[K]	°	[K]	°	[K]	°	[K]	°	[K]	°	[K]
0	0,04	55	0,13	105	0,04	155	0,04	205	0,03	255	-0,07	305	0,11	355	0,02
5	0,05	60	0,10	110	0,01	160	-0,02	210	0,03	260	-0,04	310	0,13		
10	0,05	65	0,00	115	0,05	165	0,00	215	0,00	265	-0,05	315	0,13		
15	0,05	70	0,05	120	0,02	170	0,00	220	0,02	270	-0,03	320	-0,12		
20	0,09	75	0,02	125	0,01	175	0,02	225	0,00	275	-0,04	325	-0,12		
25	0,15	80	0,01	130	0,00	180	0,01	230	-0,01	280	-0,03	330	-0,11		
35	0,10	85	0,04	135	0,00	185	0,03	235	-0,01	285	-0,03	335	-0,10		
40	0,11	90	0,01	140	-0,03	190	0,02	240	0,00	290	-0,06	340	-0,06		
45	0,09	95	0,02	145	0,00	195	0,03	245	-0,03	295	-0,08	345	-0,03		
50	0,08	100	0,03	150	0,00	200	0,01	250	-0,05	300	-0,09	350	-0,02		

## 5.6 FORHOLD MELLOM VINDUSAREAL/ROMAREAL I NORDLIG HIMMELRETNING [0°]

Det er ingen lineær sammenheng mellom inn -og utdata, så det ble valgt en polynomisk annengradsligning for å forklare regresjonen (figur 47). I henhold til R-kvadrat så forklarer regresjonsmodellen 99,6 % av variasjonene.



Figur 47 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i nordlig himmelretning

Valgt polynomisk annengradsligning;

$$T_{\text{op. maks}} = 26.2925092853138 + 0.0525239447294359 * (\text{Forhold vindusareal/romareal}) - 0.000738027843924829 * (\text{Forhold vindusareal/romareal})^2$$

Ligningen og spredningsplottet viser at temperaturøkningen avtar når Forhold vindusareal/romareal (V/R) er over en viss størrelse. I tabell 30 representerer øverste rad forholdet mellom vindusareal og romareal [%]. Fra tabellen ser man at forhold vindusareal/romareal opptil 11 % har størst påvirkning på operativ temperatur, da vil en reduksjon på cirka 1% endre temperaturen med 0,37 - 0,38 %. Når forhold vindusareal/romareal overstiger 11% vil effekten avta.

Tabell 30 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i nordlig himmelretning

V/R	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
T <sub>op</sub>	26,4	26,4	26,5	26,6	26,6	26,7	26,7	26,8	26,8	26,9	26,9	27,0	27,0	27,0	27,1	27,1

$\Delta T$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
%	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

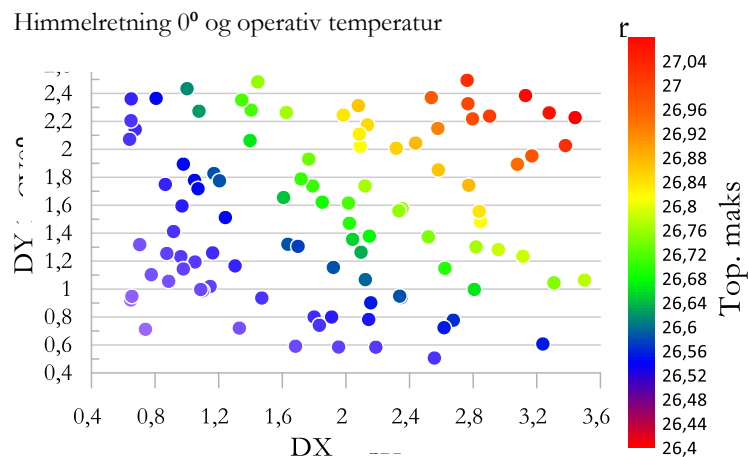
### 5.6.1 Nordlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk

I nordlig himmelretning er det lite soltilskudd, så man trenger ikke å redusere forhold vindusareal/romareal betraktelig for å unngå overtemperatur. Det er derimot et høyt oppvarmingsbehov, men ved å minske forholdet reduseres behovet litt. Fra tabellen ser man også at andel misfornøyde reduseres når andelen mellom vindu og rom er mindre (tabell 31).

Tabell 31 Vindusareal/romareal i nordlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk

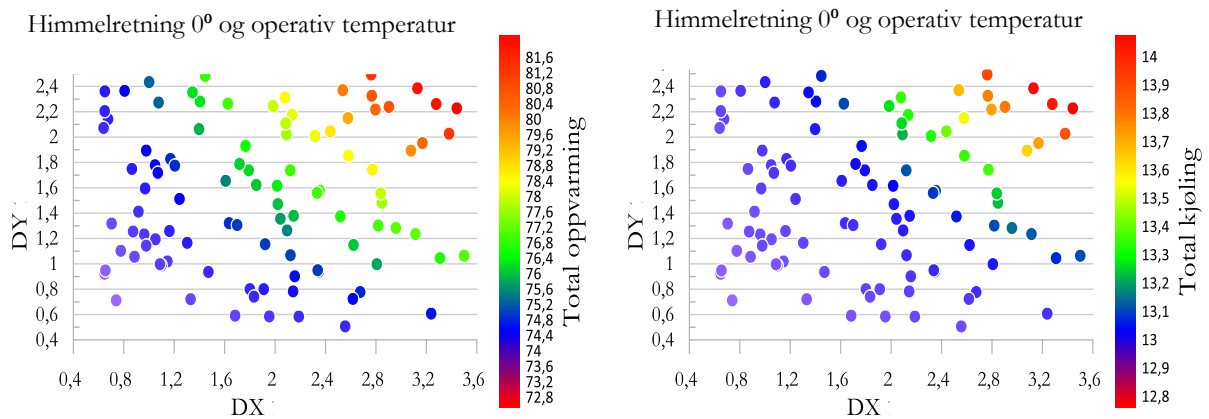
Forhold [%]	$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
13	26,9	79,4	0,0	15,5	78,2	13,3
10	26,7	44,8	0,0	14,8	76,6	13,1

Spredningsdiagrammet viser at utformingen på vinduet har betydning for operativ temperatur (DY = høyde, DX = bredde). I henhold til diagrammet oppnår man lavest temperatur ved å ha et høyt og smalt vindu eller lavt og bredt (figur 48).



Figur 48 Spredningsdiagram for vindusareal i nordlig himmelretning: operativ temperatur

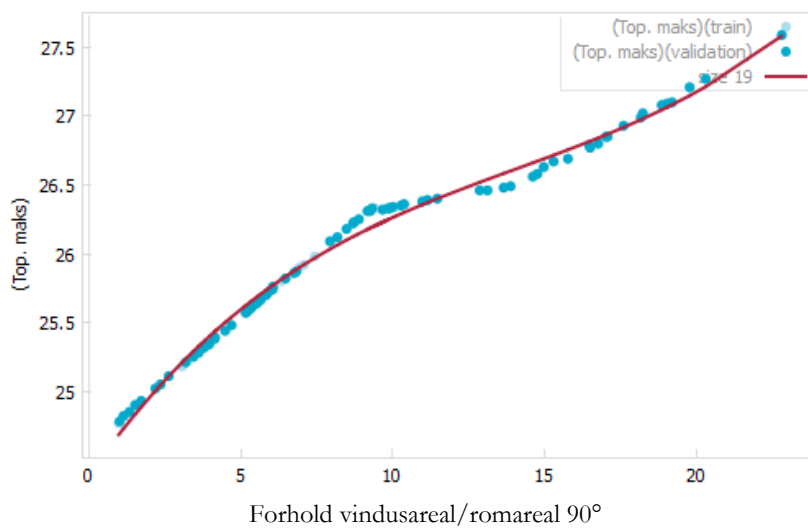
Oppvarmingsbehovet er forståelig nok mer sensitivt for vindusarealet enn kjølebehovet i nordlig himmelretning. Fra diagrammene ser man at energiforbruket øker ved større areal (figur 49). Grunnen er høyere U-verdi på vindu enn vegg som fører til varmetap gjennom vinduet, samt ekstra soltilskudd gjennom glasset på sommerstid.



Figur 49 Spredningsdiagram for vindusareal i nordlig himmelretning: energiforbruk

## 5.7 FORHOLD MELLOM VINDUSAREAL/ROMAREAL I ØSTLIG HIMMELRETNING [90°]

Det ble valgt å bruke en polynomisk regresjonslinje av 3. grad (figur 50). Regresjonsmodellen forklarer datasettet tilfredsstillende uten fare for overtilpasning, 98,4 % av variasjonene forklares av modellen.



Figur 50 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i østlig himmelretning

Valgt polynomisk tredjegradslikning:

$$T_{\text{op. maks}} = 24.3898489550887 + 0.313878115617715 * (\text{Forhold vindusareal/romareal}) + 0.000393232575085081 * (\text{Forhold vindusareal/romareal})^3 - 0.0165959309582065 * (\text{Forhold vindusareal/romareal})^2$$

Spredningsplottet hadde en sterk økning når forholdet mellom vindu -og romarealet var mellom 1– 10 %. Vindusareal/romareal fra 10 % holdt operativ temperatur mer stabil, mens over 19 % ga igjen temperaturøkning (figur 50). Ved å bruke tredjegradslikningen klarer regresjonsmodellen å følge de største svingningene i spredningsplottet. Fra tabell 32 ser man at operativ temperatur vil synke med 1,2 % per % man reduserer vindu -og romarealet, hvis forholdet mellom vindu -og romarealet er under 6%. Mellom 10 -19 % minsker temperaturen med 0,4 % per prosentendring i arealforholdet. Fra 19 % opplever man en temperaturøkning på 0,7 % når man endre vindu/romareal med 1 %.

Tabell 32 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/ romareal i østlig himmelretning

V/R	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
T <sub>op</sub>	24,8	25,1	25,4	25,7	25,9	26,1	26,2	26,4	26,5	26,6	26,7	26,8	27,0	27,1	27,3	27,5
ΔT	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
%	1,19	1,18	1,17	0,77	0,77	0,76	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,73	0,73	0,73

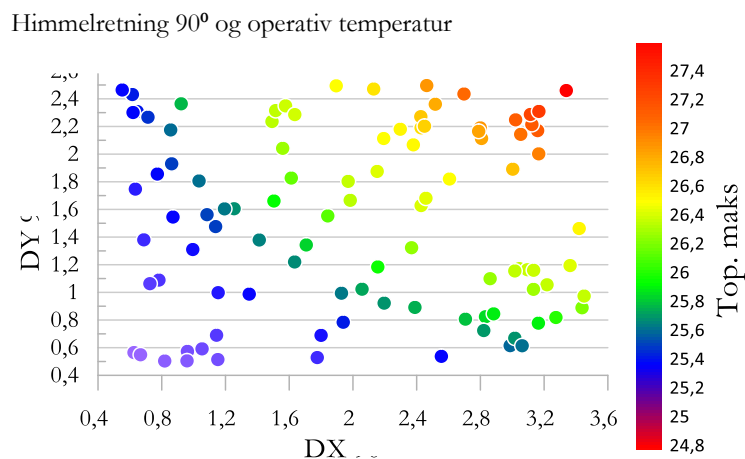
### 5.7.1 Østlig himmelretning: termisk inneklime og energiforbruk

Som nevnt tidligere anså man sørøstlig side som mest kritisk sone med tanke på termisk inneklime, på grunn av brukernes tenkte arbeidstid. For å hindre overtemperaturen betraktelig, må man redusere forholdet mellom vindu -og romarealet til 11%. Da er andel misfornøyde 15 %, som er en reduksjon på 33,6 % i forhold til referanserommet (tabell 33).

Tabell 33 Vindusareal/ romareal i østlig himmelretning: termisk inneklime og energiforbruk

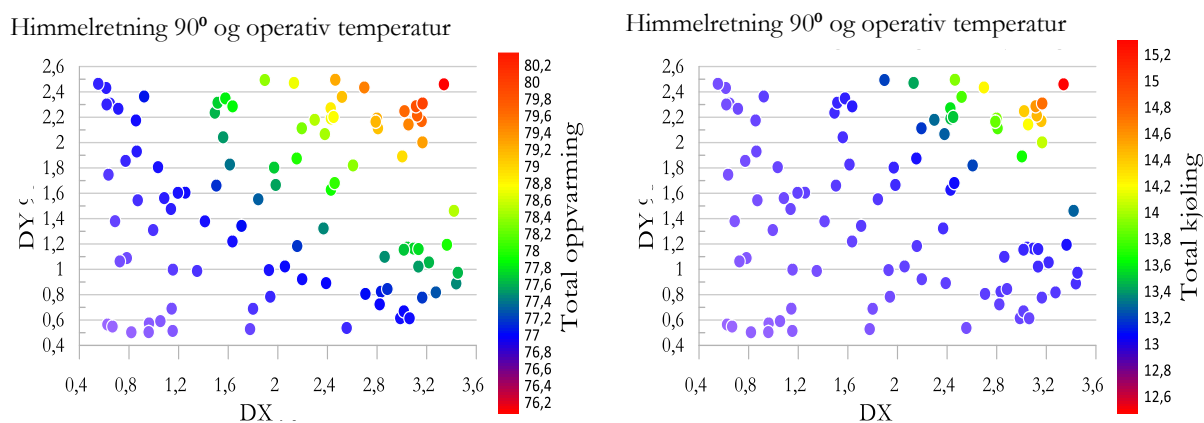
Forhold [%]	T <sub>op, maks</sub> [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
13	26,5	88	0,0	15,9	78,3	13,2
11	26,4	44,5	0,0	14,8	77,9	12,9

I østlig himmelretning er det mest gunstig å ha et høyt og smalt vindu for å opprettholde termisk komfort (figur 51).



Figur 51 Spredningsdiagram for vindusareal i østlig himmelretning: operativ temperatur

Spredningsdiagrammet viser at vinduet kan ha god størrelse uten at man risikerer økt kjølebehov (figur 52).

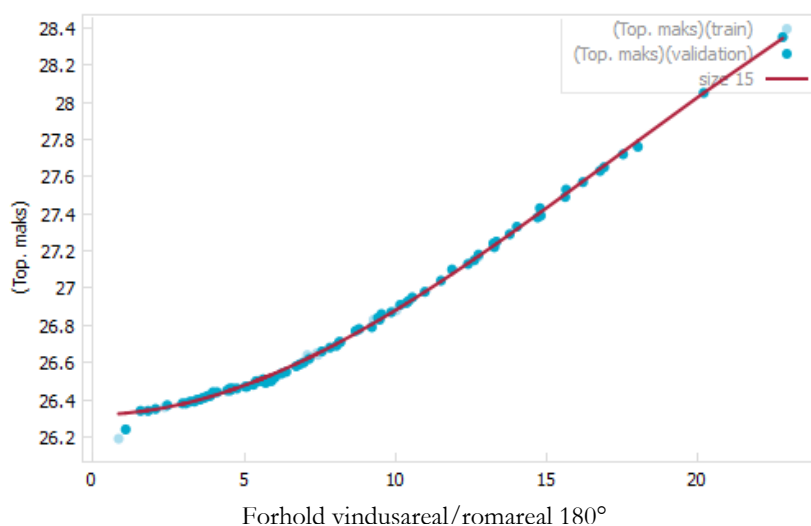


Figur 52 Spredningsdiagram for vindusareal i østlig himmelretning: operativ temperatur

## 5.8 FORHOLD MELLOM VINDUSAREAL/ROMAREAL I SØRLIG HIMMELRETNING [180°]

Spredningsplottet viste en ikke-lineær sammenheng mellom inndata -og utdataparameteren. For å få bedre tilpasning til spredningsplottet ble det valgt en polynomfunksjon av 3. grad (figur 53). Valgt regresjonsmodell forklarer 99,8 % av variasjonene i operativ temperatur.





Figur 53 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i sørlig retning

Valgt polynomisk tredjegradslikning er:

$$T_{\text{op. maks}} = 26.3195834652805 + 0.00696711167368906 * (\text{Forhold vindusareal/romareal})^2 - 0.000134822913963515 * (\text{Forhold vindusareal/romareal})^3$$

Tabell 34 viser at et vindusareal/romareal over 11% redusere operativ temperatur med 0,7 % per prosentendring. Andel under 11% vil ikke ha like stor påvirkning på operativ temperatur da reduksjon vil være 0,4 % per prosentendring i arealforholdet mellom vindu/rom.

Tabell 34 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i sørlig himmelretning

V/R	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
$T_{\text{op}}$	26,3	26,3	26,4	26,5	26,6	26,7	26,9	27,0	27,1	27,3	27,5	27,6	27,8	28,0	28,2	28,4
$\Delta T$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
%	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71

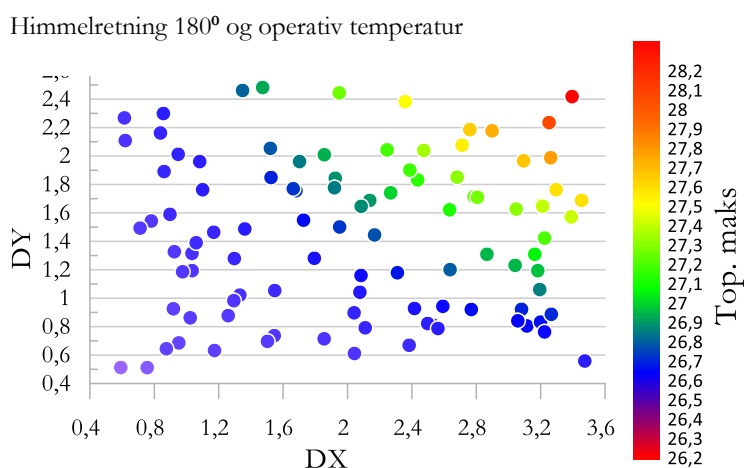
### 5.8.1 Sørlig himmelretning: termisk inn klima og energiforbruk

Den første kolonnen i tabell 35 har samme resultat som solfaktor simulering i tabell 22 på grunn av samme himmelretning og inndata. I sørlig himmelretning er det mye soltilskudd, og derfor må forholdet mellom vindu -og romarealet forminskes kraftig for å unngå overtemperatur. Oppvarmingsbehovet vil da få en økning. Andel misfornøyde har en nedgang på 30 % når vindusareal/romareal er lik 4%.

Tabell 35 Vindusareal/romareal i sørlig himmelretning; termisk inneklima og energiforbruk

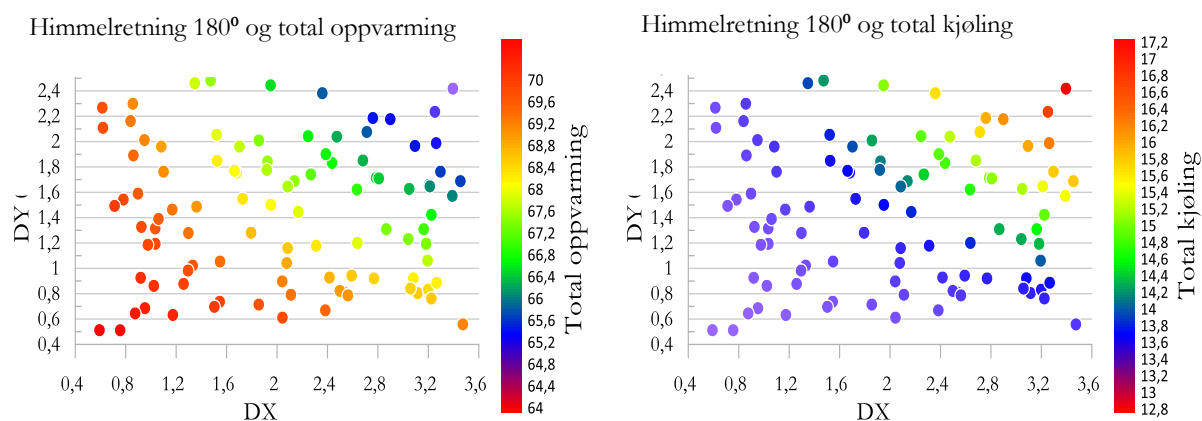
Forhold [%]	T <sub>op, maks</sub> [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
13	27,2	356	5,5	18,5	66,5	15,0
6	26,5	75,1	0,0	15,9	66,6	13,9
4	26,4	43,9	0,0	15,5	69,5	13,0

Det vil også i dette tilfellet være gunstig med rektangulær utforming på vinduet i henhold til operativ temperatur (figur 54).



Figur 54 Spredningsdiagram for vindusareal i sørlig himmelretning; operativ temperatur

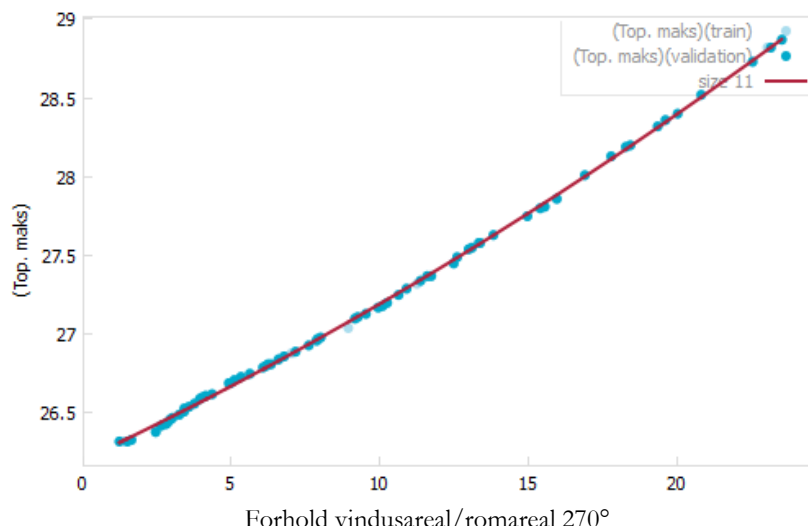
Kjøling har større differanse mellom lavt og høyt energiforbruk, så det vil være hensiktsmessig å ikke ha for store vinduer på sørlig fasade (figur 55).



Figur 55 Spredningsdiagram for vindusareal i sørlig himmelretning; energiforbruk

## 5.9 FORHOLD MELLOM VINDUSAREAL/ROMAREAL I VESTLIG HIMMELRETNING [270°]

Spredningsdiagrammet viser at plottet har en svak positiv kurve (figur 56). Det ble valgt en polynomisk regresjonsmodell som passer variasjonene i datasettet med 99,8 %.



Figur 56 Regresjonsmodell: vindusareal/romareal i vestlig himmelretning

Valgt polynomisk annengradsligning:

$$T_{\text{op.maks}} = 26.2024737031941 + 0.0885434269829576 * (\text{Forhold vindusareal/romareal}) + 0.00106351360135481 * (\text{Forhold vindusareal/romareal})^2$$

Ligningen viser at operativ temperatur vil ha en liten økning når forholdet mellom vindusareal og romareal blir større. I tabell 36 ser man at temperaturen har en tilnærmet jevn stigning per prosentøkning på 1 %. En forenklet tolkning av resultatene er å si at vindusareal/romareal under 7 % vil redusere temperaturen med 0,5 % per prosentendring (1%), mens arealforhold over 7% vil endre temperaturen med 0,6 %.

Tabell 36 Resultat fra symbolsk regresjon: vindusareal/romareal i vestlig himmelretning

V/R	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
$T_{\text{op}}$	26,3	26,5	26,6	26,7	26,9	27,0	27,2	27,3	27,5	27,6	27,8	28,0	28,1	28,3	28,5	28,7
$\Delta T$	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19
%	0,49	0,50	0,51	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,59	0,58	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,65

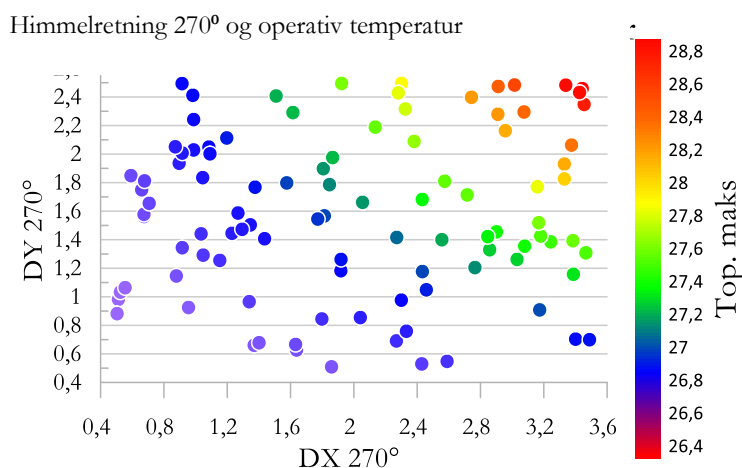
### 5.9.1 Vestlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk

I vestlig himmelretning var det 2,9 timer med uoppfylt kjølebehov da man kjørte simuleringer på opprinnelig vindusstørrelse. Reduksjon av vindusareal/romareal førte til mindre energibehov og timer overtemperatur. Andel misfornøyde forbedres også ved mindre vindusareal/romareal, i forhold til referanserommet kan man redusere PPD med 36 % (tabell 37).

Tabell 37 Vindusareal i vestlig himmelretning: termisk inneklima og energiforbruk

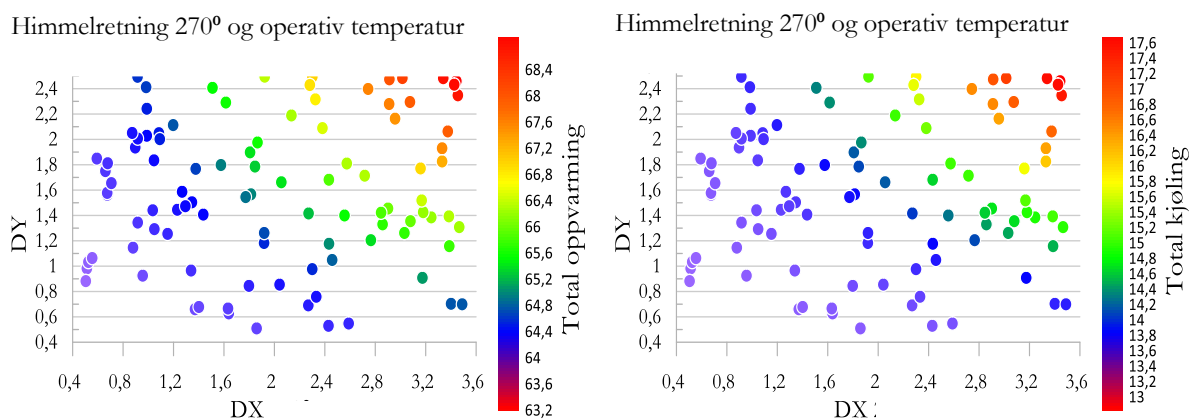
Forhold [%]	T <sub>op, maks</sub> [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
13	27,6	295	4,8	20,7	66,2	15,0
7	26,9	93	0,0	15,7	64,7	13,5
4	26,6	43,7	0,0	14,2	63,9	13,1

Spredningsdiagrammet viser at minimal operativ temperatur oppnås når vindusarealet er lite, og helst rektangulært hvis bredde eller høyde overstiger 1,6 m.



Figur 57 Spredningsdiagram for vindusareal i vestlig himmelretning: operativ temperatur

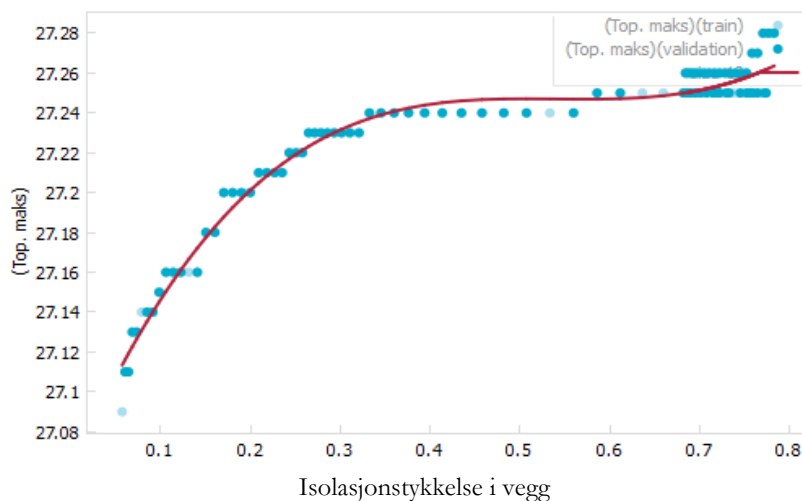
På vestlig fasade vil både kjøle -og varmebehovet reduseres ved mindre vindusareal (figur 58).



Figur 58 Spredningsdiagram for vindusareal i vestlig himmelretning: energiforbruk

## 5.10 ISOLASJONSTYKKELSE I VEGG

Simulasjonene ble utført med konstant termisk konduktivitet på 0,032 W/mK, og 100 ulike isolasjonstykkelser innenfor variasjonsområde. I spredningsplottet er det noen intervaller som holder kontinuerlig samme operativ temperatur, men plottets kurve viser tegn til polynomisk regresjon (figur 59). Valgt regresjonsmodell har 94 % tilpasning til variasjonene i operativ temperatur.



Figur 59 Regresjonsmodell: Isolasjonstykkelse i vegg

Valgt tredjegrads polynomligning:

$$T_{\text{op. maks}} = 27.0591236825826 + 1.05461026801819 * (\text{Isolasjonstykkelse i vegg}) + 1.21598713177971 * (\text{Isolasjonstykkelse i vegg})^3 - 1.96547824669091 * (\text{Isolasjonstykkelse i vegg})^2$$

Ligningen viser at isolasjonstykkelsen øker ikke operativ temperatur jevnt. Resultatene fra ligningen er satt i tabell 38. De største endringene i temperaturen er når isolasjonstykkelsen er mellom 0,05 – 0,35 m og 0,75 - 0,95 m, der vil man ha en temperaturreduksjon på 0,1 – 0,2 % per 0,1m. Tykkelse mellom 0,35 - 0,55 m vil ha bortimot ingen påvirkning på temperaturen.

Tabell 38 Resultat fra symbolske regresjon: isolasjonstykkelse i vegg

U-verdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,6	0,2	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
Tykkelse [m]	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
T <sub>op</sub> [°C]	27,11	27,18	27,22	27,24	27,25	27,25	27,25	27,26	27,28	27,33
ΔT [K]	0,07	0,04	0,02	0,01	0,000	0,001	0,01	0,03	0,05	0,05
Temperaturendring [%]	0,26	0,15	0,07	0,04	0,00	0,00	0,03	0,09	0,17	0,28

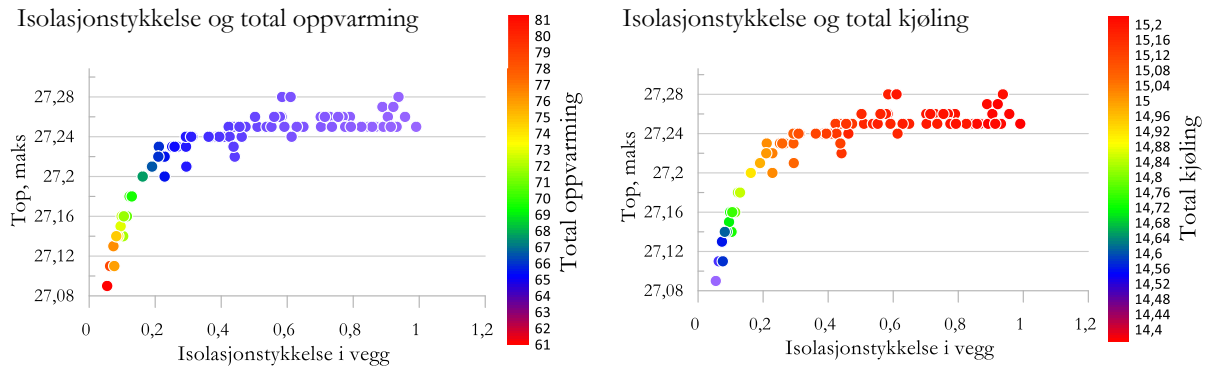
### 5.10.1 Isolasjonstykkelse i vegg: termisk inneklime og energiforbruk

I simuleringen har man valgt en isolasjonstykkelse på 0,28 m som tilsvarer en U-verdi på 0,1 W/m<sup>2</sup>K. Fra tabell 39 ser man at en lavere U-verdi på isolasjonen vil skape høyere operativ temperatur som ikke vil være hensiktsmessig i dette tilfellet. Som nevnt tidligere vil endring av isolasjonstykkelse ha mer betydning for varmetapet i bygningen. Andel misfornøyde er noe redusert i forhold til referanserommet.

Tabell 39 Isolasjonstykkelse i vegg: termisk inneklime og energiforbruk

Tykkelse [m]	T <sub>op, maks</sub> [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
0,28	27,23	362	5,7	18,5	65,9	15,0

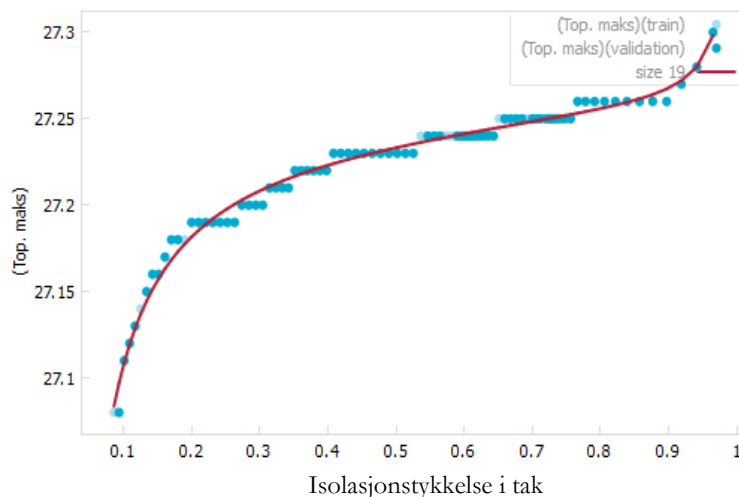
I spredningsdiagrammene er det stor differanse mellom høyt og lavt energiforbruk til oppvarming i forhold til kjøling, derfor er det gunstig å velge tykkelse som gir god isolering (figur 60).



Figur 60 Spredningsdiagram for isolasjonstykkelse i vegg: energiforbruk

### 5.11 ISOLASJONSTYKKELSE I TAK

Spredningsplottet har en klar kurve og lite svingninger, så man valgte en logaritmisk regresjonsmodell (figur 61). Ifølge R – kvadrat forklarer modellen 97 % av variasjonene i operativ temperatur.



Figur 61 Regresjonsmodell: Isolasjonstykkelse i tak

Logaritmisk regresjonsmodell

$$T_{\text{op,maks}} = 27,2472932526569 + 0,0247419592349763 \cdot (\text{Isolasjonstykkelse i tak}) + (-0,0143003710676186 / (\text{Isolasjonstykkelse i tak})) + (-0,00149131799825931 / \log(\text{Isolasjonstykkelse i tak}))$$

Det er enkelte isolasjonstykkelser som holder operativ temperatur forholdsvis stabil. Dette vises i resultatene fra valgt ligning (tabell 40). Den største endringen skjer fra isolasjonstykkelse 0,05 m til 0,15 m, da vil man få en temperaturøkning på 0,7 %. Ellers vil isolasjonstykkelsen i tak ha svært liten påvirkning på operativ temperatur. Mellom 0,35 - 0,85 vil temperaturen reduseres med 0,04 % per 0,1 m man reduserer av isolasjon.

Tabell 40 Resultat fra symbolsk regresjon: isolasjonstykkelse i tak

U-verdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,6	0,2	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
Tykkelse [m]	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
T <sub>op</sub> [°C]	26,96	27,16	27,20	27,22	27,23	27,24	27,25	27,26	27,27	27,32
ΔT [K]	0,2	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05
Temperaturrendring [%]	0,7	0,1	0,1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01

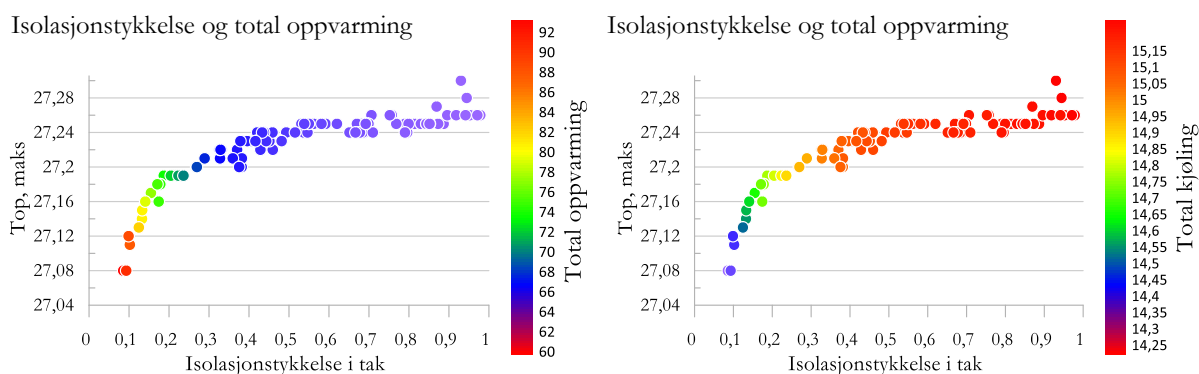
### 5.11.1 Isolasjonstykkelse i tak: termisk inneklima og energiforbruk

Det ble simulert med samme isolasjonstykkelse som er brukt i referansemodellen, en tykkelse på 0,4 m i taket tilsvarer en U- verdi på 0,08 W/m<sup>2</sup>K (tabell 41).

Tabell 41 Isolasjonstykkelse i tak: termisk inneklima og energiforbruk

Tykkelse [m]	T <sub>op, maks</sub> [°C]	Timer over 26 °C	Timer over 27 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Total oppvarming [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total kjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]
0,4	27,23	364	5,6	18,5	65,5	15,0

Det er ikke optimalt å redusere takisolasjon for mye da dette vil føre til høyt energiforbruk til oppvarming (figur 62). Energiforbruket til kjøling er derimot ikke like påvirket av isolasjonstykkelsen.

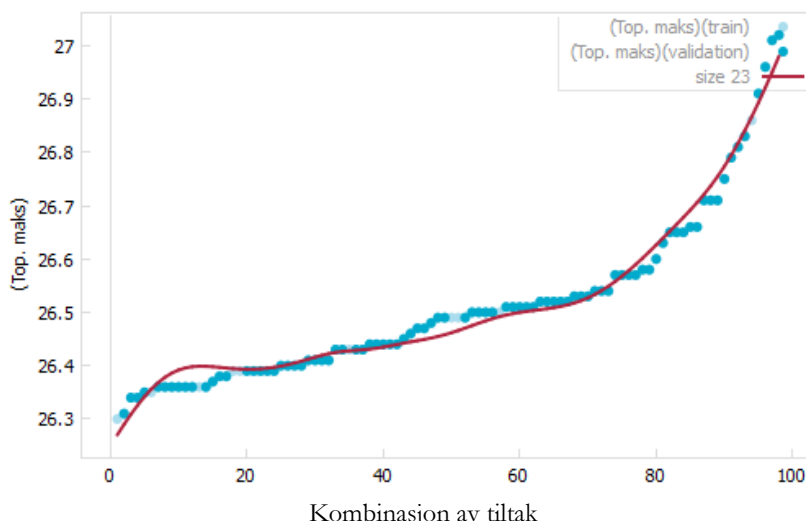


Figur 62 Spredningsdiagram for isolasjonstykkelse i tak: energiforbruk



## 5.12 KOMBINASJON AV TILTAK

Det ble gjort en Monte Carlo simulering med total solfaktor, forhold vindusareal/romareal, samt isolasjonstykkelse i vegg og tak. Det ble valgt en tredjegrads polynomligning, denne forklarer 97 % av variasjonene til operativ temperatur (figur 63).



Figur 63 Regresjonsmodell: Kombinasjon av tiltak

Valgt tredjegrads polynomligning:

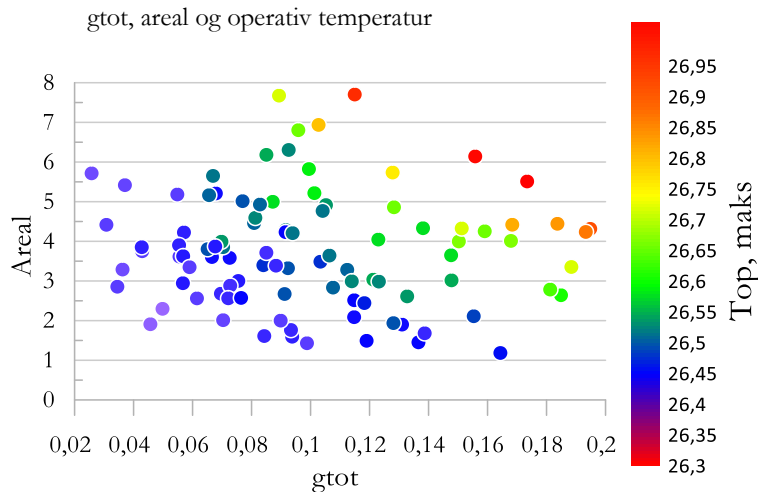
$$T_{\text{op. maks}} = 25.7085751181333 + 15.3955856336778 \cdot g_{\text{tot}} + 0.0208204340331567 \cdot (\text{Forhold vindusareal/romareal}) + 584.762810662155 \cdot g_{\text{tot}}^3 - 156.41295527142 \cdot g_{\text{tot}}^2$$

Det er total solfaktor og vindusareal som har størst effekt på operativ temperatur blant de valgte tiltakene. Derfor ble ikke isolasjonstykkelse representert i ligningen, da tykkelsen har liten påvirkning på temperaturen. Maksimal operativ temperatur man oppnådde med ligningen ligger i vedlegg N. På grunn av reguleringsmetoden på persiennen vil man ikke oppleve så store temperaturdifferanser. Ved å endre forholdet mellom vindusareal og romareal med én prosent vil operativ temperatur reduseres med 0,1 %, uavhengig av g-verdien på persiennen. Total solfaktors påvirkning på operativ temperatur er også uavhengig av andel vindusareal/romareal, når forholdet vindusareal/romareal er mellom 1-22%. En total solfaktor mellom 0,04 – 0,1 vil endre temperaturen med 0,1% per 0,01 økning/reduksjon i  $g_{\text{tot}}$ . I tabell 42 ser man hvordan temperaturen endrer seg når man forandre g-verdien i persiennen.

Tabell 42 Temperaturendring med  $g_{\text{tot}}$

$g_{\text{tot}}$ [-]	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	1,0
T [%]	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

I sørlig himmelretning bør ikke vindusareal/romareal overstige 6 % uavhengig av  $g_{tot}$ , med tanke på operativ temperatur (figur 64). Om det er forsvarlig i henhold til dagslys og trivsel må avgjøres i hvert ett prosjekt.



Figur 64 Spredningsdiagram:  $g_{tot}$  og vindusareal/romareal og operativ temperatur

### 5.13 PASSIVE TILTAK PÅ REFERANSEBYGNINGEN

Resultatene viser at  $g$ -verdi på ubelagt vindusglass, total  $g$ -verdi, overheng og andel vindusareal/romareal var de mest effektfulle tiltakene med tanke på overtemperatur. Det velges utvendig integrert persienne under simuleringen istedenfor overheng, da energiforbruket generelt blir lavere med denne løsningen. Andel vindusglass/romareal er allerede lavt (13 %) på referansebygningen, og vil derfor ikke endres. Glasstypen Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 174+ar+PLANITHERM ULTRA blir byttet ut med ubelagt Pilkington Suncool 66/33 (6C(66)-15Ar-4-15Ar-4S(3)) for å forbedre  $g$ -verdien samt  $U$ -verdien. Total solfaktor under simuleringen var 0,04. Resultatene fra simuleringen er satt i tabell 43. Hvitt felt i tabellen representerer de nye verdiene, mens grått felt er «gamle» verdier fra referansemodellen. Operativ temperatur og andel misfornøyde har blitt redusert med tiltakene. Derimot var energiforbruket det samme (104 kWh/m<sup>2</sup>) siden oppvarmingsbehovet økte litt på grunn av mindre soltilskudd forårsaket av persiennen (vedlegg P).

Tabell 43 Resultat etter passive tiltak på referansebygningen

Etasje	$T_{op, maks}$ [°C]	Timer over 26 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]	Timer over 26 °C	PPD <sub>maks</sub> [%]
0	25.53	0,0	12.78	13,6	13.33
1	25.79	1,74	15.42	28,1	18.2
2	25.62	0,0	12.78	20,1	13.23
3	25.36	0,0	13.14	13	13.1
4	25.4	0,0	13.26	4,52	13.52

## 5.14 DISKUSJON

Resultatene angående energiforbruk viser at det ofte er et kompromiss mellom kjøle -og oppvarmingsforbruket. I tiltakene *overheng over vindu* og *vindusareal/romareal (i nord og øst)* økte varmebehovet betraktelig grunnet lite tilgang til soltilskudd. Som nevnt tidligere anså man at møterommet på sørøstlig side ville være mer solekspontert under brukstiden til brukerne, og derfor ble dette brukt under simuleringene. I motsetning til enkelte tiltak reduserte *vindusareal/romareal (i vest)* både varme -og kjølebehovet betraktelig. For bygningsmodellen var det lite endring i energiforbruket, og man ville derfor anbefalt systemoptimalisering av ventilasjon og varmeanlegg. Dette ble ikke tatt stilling til i dette studie da man kun har forholdt seg til passive tiltak.

De tiltakene som hadde størst innvirkning på operativ temperatur samt total kjøleforbruk, var vindusglass/romareal, dybde på overheng og solfaktor. Ifølge studie (Claussnitzer, Samuelson, Goyal, Chen, & Romo-Castillo, 2016) er vindusareal/romareal det viktigste designtiltaket siden g-verdiens effekt er avhengig av størrelsen på andel vindu/rom. Simuleringene ble utført med fem ulike lokasjoner på passivhus, og det var da lav andel vindusareal/romareal som var mest optimal. Dette samsvarer med de resultatene man fikk i dette studie. (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) studerte hvilke andeler vindusareal/romareal ga best effekt på kjølebehovet i et passivbygg. Simuleringene ble utført med seks lokasjoner med kaldt klima i USA. Resultatet fra studie viste at i himmelretning øst og vest var 12,5 – 15% mest gunstig for energiforbruket, mens i sør var det 10 -17 %. Studie (Chiesa, et al., 2019) utførte simuleringer med geografisk lokasjon Italia og Finland. Deres studie viste derimot at optimal andel vindusareal/romareal lå rundt 30% i et passivhus.

Blant tidligere studier var det stor enighet om at solfaktor på vindusglass var en av de mest effektfulle tiltakene. I studie (Yong, et al., 2017) var solfaktoren en av parameterne som hadde størst påvirkning på både varme -og kjølebelastningen. Resultatet fra dette studie viser at spesielt belagt vindusglass var gunstig å bruke med tanke på varmebehovet. Det vil derimot ikke være optimalt tiltak for å redusere overtemperatur, da ville det vært bedre med ubelagt vindusglass.

(Chen, Yang, & Wang, 2016) studerte overheng over vindu i forhold til solbelastning. Resultatet var at tiltaket hadde stor innvirkning på operativ temperatur og termisk komfort. Klimadata brukt under deres simuleringer tilsvarer varmt og fuktig klima, som forklarer hvorfor innklimaet ble tilfredsstillende. I dette studie klarte overheng å redusere operativ temperatur tilfredsstillende, men på grunn av andre klimaforhold i Oslo steg varmebehovet betraktelig. Studie (Delgarm, Sajadi, Azarbad, & Delgarm, 2017) benyttet sensitivitetsanalyse under deres forskning. Det ene resultatet var at dybde på overheng hadde neglisjerbar påvirkning på energiforbruket. Resultatene fra regresjonsanalysen i dette studie viser som nevnt at oppvarmingsforbruket økte, men også at det er liten differanse mellom høyt og lavt energiforbruk til oppvarming og kjøling.

Tiltaket *isolasjonstykkelse i vegg og tak* klarte ikke å redusere overtemperatur tilfredsstillende. Derimot viser resultater fra dette studie at optimal isolasjonstykkelse i vegg er mellom 220 – 300 mm, mens i tak er det mellom 260 – 300 mm for å unngå økt energiforbruk. Dette samsvarer bra med studie (Xu, Feng, Chi, Liu, & Dou, 2018) som også gjorde simuleringer med kaldt klima. De kunne anbefale isolasjonstykkelse mellom 200/260 – 300/380 mm.

Ligningene i studie er utarbeidet ved hjelp av Monte Carlo simuleringer og regresjonsanalyser. Den største utfordringen ved en Monte Carlo simulering er å definere en sannsynlighetsfordeling som representerer graden av usikkerhet til en parameter. Det er ingen fasit på hva som er korrekt fordeling, og dermed baseres avgjørelsen på bakgrunn av individuell bedømmelse og kunnskap. Da det ble kjørt simuleringer på flere inndataparametere samtidig valgte man uniform distribusjon slik at alle utfall hadde like stor sannsynlighet til å inntreffe. Det må påpekes at påvirkningen inndataparametere har på utdataen gjelder innenfor valgte variasjonsområder. I tidligere studier har det vært noe uenighet om valg av analysemetoder. Siden det ble benyttet symbolsk regresjon i dette studie, fikk man unike regresjonsmodeller som er skreddersydd til datasettet.

Lokasjon og klimaforhold påvirker designparameterne, og dermed resultatene. I studie er det brukt klimabasert modellering som tar hensyn til lokale forhold og orientering. Det var viktig å utføre simuleringene med lokale parametere for å få realistiske verdier.

## 6 KONKLUSJON

---

I tidlig prosjektfase kan preaksepterte ytelser fra TEK17 §3-4 benyttes for å begrense overtemperatur. Disse tiltakene er derimot veldig generelle, så man manglet noen nøyaktige og robuste formler som kan anvendes under tidlig prosjektering. Ved denne studien har man derfor utviklet noen enkle dimensjonskriterier som beskriver effekten utvalgte passive tiltak har på operativ temperatur. Disse kan fungere som tommelfingerregler for rådgivende ingeniører og arkitekter.

I studie simulerte referansemodellen et kontorbygg lokalisert i Oslo. Simuleringsprogrammet IDA ICE ble benyttet til datainnsamling. Det ble utført en global sensitivitetsanalyse i programmet med funksjonen Monte Carlo etter Morris metoden (OAT). For å validere datasettet brukte man korrelasjonstest, Kolmogorov – Smirnov test, varianstest (F-test) og T-test. Optimaliseringsverktøyet GenOpt ble brukt til å finne gunstige designløsninger innenfor variasjonsområde. Man utførte symbolsk regresjon på tiltakene i programvaren Eureqa. Da fikk man regresjonsmodeller som var spesialtilpasset til datasettet. Fra ligningene ble det utformet disse enkle dimensjonskriteriene:

- Ubelagt vindusglass:  $g_{\text{glass}}$  per 0,05 reduserer operativ temperatur cirka 2%
- Belagt vindusglass:  $g_{\text{glass}}$  per 0,05 reduserer operativ temperatur cirka 1%
- Overheng over vindu:
  - Dybde = 0,3 – 0,7 m: per 0,1 m reduserer operativ temperatur cirka 2%
  - Dybde = 0,7 – 1,0 m: per 0,1 m reduserer operativ temperatur cirka 1%
- Forhold vindusareal/romareal [0°]:
  - < 11 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,4 %
- Forhold vindusareal/romareal [90°]:
  - < 6 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 1 %
  - 10 – 19 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,4 %
  - 19 - 22 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,7 %
- Forhold vindusareal/romareal [180°]:
  - < 11 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,4 %
  - > 11 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,7 %
- Forhold vindusareal/romareal [270°]:
  - < 7 %: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,5 %
  - > 7 %: 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,6 %
- Isolasjonstykkelse i vegg:
  - 50 mm – 350 mm: per 100 mm reduserer operativ temperatur med 0,1 – 0,2 %
  - 750 - 950 mm: per 100 mm reduserer operativ temperatur med 0,1 – 0,2 %

- Isolasjonstykkelse i vegg:
  - 50 mm – 150 mm: per 100 mm reduserer operativ temperatur cirka 0,7 %
- Kombinasjon  $g_{tot}$  og vindusareal/romareal:
  - vindusareal/romareal: per 1% reduserer operativ temperatur cirka 0,1 %
  - $g_{tot} = 0,04 - 0,1$ : per 0,01( $g_{tot}$ ) reduserer operativ temperatur cirka 0,1 %

De tiltakene som hinder overtemperatur mest effektivt er vindusglass/romareal, dybde på overheng og solfaktor. Litteraturstudie viser at disse resultatene samsvarer med tidligere forskningsstudier.

Dimensjonskriteriene er utviklet spesifikt for Oslo klima, så disse vil ikke gjelde for andre lokasjoner med annet klima på grunn av ulik utetemperatur og solbelastning. Det skal også nevnes at dimensjonskriteriene gjelder for bygninger som skal benytte kjølebatteri i ventilasjonsaggregatet. Under simuleringene ble det benyttet et stort variasjonsområde slik at dimensjonskriteriene kan anvendes på de fleste bygg. Man kan derimot ikke være sikker på gyldigheten til kriteriene utover gitte variasjonsområder. På grunn av tidsbegrensinger ble det hovedsakelig bare sett på en himmelretning, men for å kompensere for dette har man utarbeidet en tabell som viser temperaturdifferansen i alle himmelretninger med 5° intervall. Slik at man kan addere denne faktoren sammen med dimensjonskriteriet, for å estimere operativ temperatur i ønsket himmelretning.

For fremtidig forskning anbefales det å utvikle koeffisienter til dimensjonskriteriene slik at de kan benyttes i andre klimaforhold. Energibehov og termisk inneklimate vil variere etter solbelastning og utetemperatur, så disse vil være koeffisienter som bør tilpasses. Annet forslag vil være å utvikle dimensjonskriterier for bygninger uten kjølebatteri. Det kunne også vært interessant og forsket på overheng over vindu. Tiltaket var veldig effektivt mot overtemperatur, men ga høyt oppvarmingsbehov. Ved å endre vinkelen fra veggen og lengde på overhenget, kunne man kanskje funnet en optimal løsning som oppfylte begge kravene.

## 7 REFERANSER

---

- Andresen, I. (2008, Juni). SINTEF Byggforsk : Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon. Hentet 2021 fra [https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb\\_prosjektrapport\\_22.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_22.pdf)
- Arbeidstilsynet. (u.å.). Arealkrav til kontorarbeidsplasser. Norge. Hentet Februar 22, 2021 fra <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/arealkrav-til-kontorarbeidsplasser>
- Arbeidstilsynet. (u.å.). Arealkrav til kontorarbeidsplasser. Norge. Hentet Mars 15, 2021 fra <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/arealkrav-til-kontorarbeidsplasser/>
- Arbeidstilsynet. (u.å.). Inneklima. Norge. Hentet Februar 12, 2021 fra <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklima/>
- Byggforskserien 421.501. (2017, Oktober). Termisk inneklima. Betingelser, tilrettelegging og målinger. Norge. Hentet Februar 6, 2021 fra [https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/193/termisk\\_inneklima\\_betingelser\\_tilrettelegging\\_og\\_maalinger#i5](https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/193/termisk_inneklima_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger#i5)
- Byggforskserien 471.010. (2020, September). Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer. Norge. Hentet April 25, 2021 fra [https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/209/varmekonduktivitet\\_og\\_varmemotstand\\_for\\_bygningsmaterialer](https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer)
- Byggforskserien 473.015. (2013, Desember). Dokumentasjon av passivhus og lavenergibygninger i henhold til NS 3700 og NS 3701. Norge. Hentet Februar 9, 2021 fra [https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/4109/dokumentasjon\\_av\\_passivhus\\_og\\_lavenergibygninger\\_i\\_henhold\\_til\\_ns\\_3700\\_og\\_ns\\_3701](https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/4109/dokumentasjon_av_passivhus_og_lavenergibygninger_i_henhold_til_ns_3700_og_ns_3701)
- Byggeteknisk forskrift (TEK17). (2017, September 15). Veiledning om tekniske krav til byggverk. Norge. Hentet fra <https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/>
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2016). *Heat and Mass Transfer* (5.. utg.). McGraw Hill Education.
- Chen, X., Yang, H., & Wang, Y. (2016, November 21). Parametric study of passive design strategies for high-rise residential buildings in hot and humid climates: miscellaneous impact factors. Kina. Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.055>
- Chiesa, G., Acquaviva, A., Grosso, M., Bottaccioli, L., Florida, M., Pristeri, E., & Sanna, E. M. (2019, Mai 31). Parametric Optimization of Window-to-Wall Ratio for Passive Buildings Adopting A Scripting Methodology to Dynamic-Energy Simulation. Italia. Hentet Januar 19, 2021 fra <https://doi.org/10.3390/su11113078>
- Claussnitzer, C., Samuelson, H., Goyal, A., Chen, Y., & Romo-Castillo, A. (2016, Mars 3). Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts. Hentet Mai 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.018>
- DataRobot. (2021, Mars 2). Introduction to Eureka. Hentet April 2021 fra <https://community.datarobot.com/t5/resources/introduction-to-eureka/ta-p/2409>
- Delgarm, N., Sajadi, B., Azarbad, K., & Delgarm, S. (2017, Desember 2). Sensitivity analysis of building energy performance: A simulation-based approach using OFAT and variance-based sensitivity analysis methods. Iran. Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.11.020>

- Dubčáková, R. (2010, September 17). Eureqa: software review. Hentet 2021 fra <https://link-springer-com.ezproxy.oslomet.no/article/10.1007%2Fs10710-010-9124-z#Sec3>
- Elbeltagi, E., Wefki, H., Abdrabou, S., Dawood, M., & Ramzy, A. (2017, August 1). Visualized strategy for predicting buildings energy consumption during early design stage using parametric analysis. Egypt. Hentet Januar 19, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.07.012>
- Elyasaf, A., & Sipper, M. (2014, Januar 24). Software review: the HeuristicLab framework. Hentet 2021 fra <https://link-springer-com.ezproxy.oslomet.no/article/10.1007/s10710-014-9214-4#Sec3>
- Energifakta Norge. (2019, Januar 3). Bærekraftige bygg. Hentet 2021 fra <https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/baerekraftige-bygg/>
- EnergyPlus. (u.d.). EnergyPlus. Hentet fra <https://energyplus.net/>
- EnergyPlus. (u.d.). Getting Started with EnergyPlus. Hentet fra [https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs\\_v8.3.0/GettingStarted.pdf](https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/GettingStarted.pdf)
- EnergyPlus. (u.å.a). Surface Heat Balance Manager / Processes. Hentet Januar 14, 2021 fra [https://www.energyplus.net/sites/default/files/docs/site\\_v8.3.0/EngineeringReference/03-SurfaceHeatBalance/index.html](https://www.energyplus.net/sites/default/files/docs/site_v8.3.0/EngineeringReference/03-SurfaceHeatBalance/index.html)
- EnergyPlus. (u.å.b). EnergyPlus. Hentet Januar 11, 2021 fra <https://energyplus.net/>
- ENOVA SF. (2009, Oktober 13). Karacterskalaen. Hentet Februar 26, 2021 fra <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/karacterskalaen/>
- ENOVA SF. (2016). *Enovas byggstatistikk 2016*. Fagrapport. Hentet fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>
- ENOVA SF. (2016a). *Enovas byggstatistikk 2016*. Hentet Februar 17, 2021 fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>
- EQUA Simulation. (2010). *Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4.0 with respect to CEN Standards EN 15255-2007 and EN 15265-2007*. Solna, Espoo: Equa Simulation. Hentet Februar 6, 2021 fra [http://www.equaonline.com/iceuser/validation/CEN\\_VALIDATION\\_EN\\_15255\\_AND\\_15265.pdf](http://www.equaonline.com/iceuser/validation/CEN_VALIDATION_EN_15255_AND_15265.pdf)
- EQUA. (u.å.a). IDA Indoor Climate and Energy. Hentet Januar 11, 2021 fra <https://www.equa.se/en/ida-ice>
- EQUA. (u.å.b). BIM Import. Hentet fra <https://www.equa.se/en/ida-ice/extensions/bim-import>
- EQUA. (u.å.c). Climate Data Download Center. Hentet Januar 11, 2021 fra [http://www.equaonline.com/ice4user/new\\_index.html](http://www.equaonline.com/ice4user/new_index.html)
- Erichsen & Horgen AS. (2007, Mai). Veileder for utforming av glassfasader. Hentet Mars 10, 2021 fra [https://www.erichsen-horgen.no/media/1452/2007-veileder\\_glassfasader.pdf](https://www.erichsen-horgen.no/media/1452/2007-veileder_glassfasader.pdf)
- Folkehelseinstituttet. (2015, April 29). Karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og inn klima. Norge. Hentet Februar 6, 2021 fra <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/artikler-inneklima-og-helseplager/karbondioksid-co2-og-inneklima/>
- Forskningsrådet. (2014). Glass i fasader og solskjerming. Hentet fra <http://glassportal.no/wp-content/uploads/2017/03/2016.04.18-Solskjerming.pdf>
- Gelesz, A., Lucchino, E., Goia, F., Serra, V., & Reith, A. (2020, Oktober 6). Characteristics that matter in a climate façade: A sensitivity analysis with building energy simulation tools. Hentet Januar 20, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110467>



- Glass og Fasadeforeningen. (2018). Tiltak mot utvendig kondens/dugg på isolerglass. Oslo, Norge. Hentet fra [https://www.glassportal.no/wp-content/uploads/2018/04/2018.04.16-Tiltak-mot-utvendig-kondens\\_dugg-pa%CC%8A-isolerglass.pdf](https://www.glassportal.no/wp-content/uploads/2018/04/2018.04.16-Tiltak-mot-utvendig-kondens_dugg-pa%CC%8A-isolerglass.pdf)
- GOLDEN SOFTWARE. (u.å.). Grapher. Hentet 2021 fra <https://www.goldensoftware.com/products/grapher>
- Hester, J., Gregory, J., & Kirchain, R. (2016, Oktober 31). Sequential early-design guidance for residential single-family buildings using a probabilistic metamodel of energy consumption. USA. Hentet Januar 19, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.047>
- HeuristicLab. (2014). About HeuristicLab. Hentet April 2021 fra <https://dev.heuristiclab.com/trac.fcgi/wiki/Documentation/AboutHeuristicLab>
- Hilliaho, K., Mäkitalo, E., & Lahdensivu, J. (2015, April 21). Energy saving potential of glazed space: sensitivity analysis. Finland. Hentet Januar 20, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.016>
- Jarić, M., Budimir, N., Pejanović, M., & Svetel, I. (2013, Mars 20). A review of energy analysis simulation tools. Serbia. Hentet Februar 3, 2021 fra [https://www.researchgate.net/publication/274654601\\_A\\_review\\_of\\_energy\\_analysis\\_simulation\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/274654601_A_review_of_energy_analysis_simulation_tools)
- JEPlus. (2018, September 24). JEPlus. Hentet Januar 21, 2021 fra <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/jeplus>
- Kommunal- og regionaldepartementet. (2010, August 23). Energieffektivisering av bygg. Hentet 2021 fra [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering\\_av\\_bygg\\_rapport\\_2010.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering_av_bygg_rapport_2010.pdf)
- Lawrence Berkeley National Laboratory. (2011, Desember 8). GenOpt. Hentet Januar 14, 2021 fra <https://simulationresearch.lbl.gov/GO/download/manual-3-1-0.pdf>
- Løvås, G. G. (2013). *Statistikk for universiteter og høyskoler* (3.. utg.). Oslo: Universitetsforlaget. Hentet Januar 26, 2021
- Mamen, J. (2021, Mai 18). Köppens klimaklassifisering. Hentet Mai 19, 2021 fra [https://snl.no/K%C3%B6ppens\\_klimaklassifisering](https://snl.no/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering)
- Mathisen, G. (2020, Oktober 28). EU fornyer 35 millioner bygninger. Hentet Februar 2021 fra <https://nemitek.no/energieffektivisering-eu-rehva/eu-forny-35-millioner-bygninger/136567>
- Microsoft. (u.å.). Bruke Analyseverktøy til å utføre komplisert dataanalyse. Hentet 2021 fra <https://support.microsoft.com/nb-no/office/bruke-analyseverkt%C3%B8y-til-%C3%A5-utf%C3%B8re-komplisert-dataanalyse-6c67ccf0-f4a9-487c-8dec-bdb5a2cefab6>
- Molven, J. (2013, Juni 17). Beslutningsanalyse under usikkerhet ved bruk av Monte Carlo simulering i E&P olje- og gassindustri. Hentet Mai 2, 2021 fra <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/182241/Molven%20Joakim.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Morio, J. (2011, Oktober). Global and local sensitivity analysis methods for a physical system. Hentet 2021 fra [https://www.researchgate.net/publication/231066223\\_Global\\_and\\_local\\_sensitivity\\_analysis\\_methods\\_for\\_a\\_physical\\_system#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/231066223_Global_and_local_sensitivity_analysis_methods_for_a_physical_system#fullTextFileContent)
- Nageler, P., Schweiger, G., Pichler, M., Brandl, D., Mach, T., Heimrath, R., . . . Hochenauer, C. (2016, April 18). Validation of dynamic building energy simulation tools based on a real test-box with thermally activated building systems (TABS). Østerrike. Hentet Februar 3, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.025>

- NTNU. (u.å.). Tildelingsprinsipper av arbeidsplasser. Norge. Hentet Februar 20, 2021 fra <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Tildelingsprinsipper+av+arbeidsplasser>
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (u.å.). Building Energy Optimization (BEopt) Software. USA. Hentet Januar 21, 2021 fra <https://www.energy.gov/eere/buildings/building-energy-optimization-beopt-software>
- Pripp, A. H. (2018, Mai 8). Pearsons eller Spearmans korrelasjonskoeffisienter. Hentet Mai 11, 2021 fra <https://tidsskriftet.no/2018/05/medisin-og-tall/pearsons-eller-spearman-korrelasjonskoeffisienter>
- Samuelson, H., Claussnitzer, S., Goyal, A., Chen, Y., & Romo-Castillo, A. (2016, Mars 3). Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts. USA. Hentet Januar 19, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.018>
- Simson, R., Kurnitski, J., & Maivel, M. (2016, November 7). Summer thermal comfort: compliance assessment and overheating prevention in new apartment buildings in Estonia. Estland. Hentet Januar 20, 2021 fra <https://doi-org.ezproxy.oslomet.no/10.1080/19401493.2016.1248488>
- SINTEF Byggforsk. (2010). *Klima- og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge: Utredning som grunnlag for NOU om klimatilpassing*. Oppdragsrapport, Oslo. Hentet Februar 9, 2020 fra [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/md/vedlegg/klima/klimatilpassing/underlagsrappporter/sintef\\_klima\\_saarbarhetsanalyse\\_nou.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/md/vedlegg/klima/klimatilpassing/underlagsrappporter/sintef_klima_saarbarhetsanalyse_nou.pdf)
- Statsbygg. (2018). STATENS LOKALER 2018. Norge. Hentet Februar 20, 2021 fra <https://dok.statsbygg.no/wp-content/uploads/2019/10/statensLokaler2018.pdf>
- TRNSYS. (u.å.). What is TRNSYS? Hentet Januar 19, 2021 fra <http://www.trnsys.com/>
- Tsanasa, A., & Xifara, A. (2012, Mars 9). Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools. UK. Hentet Januar 15, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.003>
- Xu, X., Feng, G., Chi, G., Liu, M., & Dou, B. (2018, November 22). Optimization of Performance Parameter Design and Energy Use Prediction for Nearly Zero Energy Buildings. Kina. Hentet Januar 19, 2021 fra <https://doi.org/10.3390/en11123252>
- Yong, S., Kim, J., Gim, Y., Kim, J., Cho, J., Hong, H., . . . Koo, J. (2017, Februar 15). Impacts of building envelope design factors upon energy loads and their optimization in US standard climate zones using experimental design. Sør-Korea. Hentet Januar 19, 2021
- Østergård, T., Jensen, R. L., & Maagaardb, S. E. (2016, April 6). Building simulations supporting decision making in early design – A review. Danmark. Hentet Januar 19, 2021 fra <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>

## VEDLEGG

---

## VEDLEGG A BEREGNING, INTERNLAST UTSTYR

Beregning av utstyr på møterom

Effektbehov for utstyr	Antall	PC [W]	skriver [W]	flatskjerm [W]	Effektbehov [W]	Til stedevær	Effektbehov med 60% til stedeværrelse [W/m2]
Kontorbygg	287,5	94	35	25	40	32,7	19,6
Cellekontorer	673,5	100	35	25	40	14,8	8,9
Åpent kontorlandska	144	8	35	25	40	5,6	3,3
Møte/stillerom	595		35	25	40	2	2,0
sekundærare	1700						8,5
sum							

## VEDLEGG B BEREGNING, LUFTMENGDE

Sone Type	Areal [m <sup>2</sup> ]	A		B (driftstid)		B (utenfor driftstid)		C		Persontetthet		Tilstedeværelse		Tomt rom		Romnivå		Fullt rom		Aggregatnivå	
		Konstant [m <sup>3</sup> /h]	Emisjon [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	Emisjon [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	Personer [m <sup>3</sup> /h]	Maks [m <sup>2</sup> /pers]	Middels -60 %	Maks -100 %	Vmin [m <sup>3</sup> /h]	Vmin [(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	Vmin [(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	Vmld. [m <sup>3</sup> /h]	Vmaks [m <sup>3</sup> /h]	Vmld. [m <sup>3</sup> /h]	Vmaks [(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	Vmaks [(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> ]	Vmld. [m <sup>3</sup> /h]	Vmaks [m <sup>3</sup> /h]			
Cellekontorer	287,5		3,6	3,6	0,7	26	5	35	58	201	0,7	1932	2530	8,8	1518	2530					
Åpent kontorlandskap	673,5		3,6	3,6	0,7	26	5	81	135	471	0,7	4526	5927	8,8	3556	5927					
Møte/stillerom	144		3,6	3,6	0,7	26	5	17	29	101	0,7	968	1267	8,8	760	1267					
Sekundæreal (generelt)	554		3,6	3,6	0,7					388	0,7	1996	1996	3,6	1198	1996					
Sekundæreal (WC på 6m <sup>2</sup> )	36		3,6	3,6	0,7					36	1	130	130	3,6	78	130					
Sekundæreal (heissjakt på 2,3m <sup>2</sup> )	4,6		3,6	3,6	0,7					30	6,5	30	30	6,5	18	30					
Sum en etg.	1700									1228	1,7	9581	11879	6,7	7128	11879					

## VEDLEGG C BYGNINGSMODELLEN I IDA ICE

Valgt farge på innvendige overflater

Name	Type	Surface	Reflectance	Transmittance	Diffusion factor	Specularity	Roughness
Zone 4.Floor.I...	Int. floor inner	© Light surface (...)	0.6	0.0	0.0	0.0	0.03

U-verdi konstruksjon

**Roof** Concrete joist roof (example)1

Description: Insulation 200, Concrete 150

U-value: 0.08818 W/(m²K)

Thickness: 0.5 m

Layers (Floor top/Wall inside to Floor bottom/Wall outside):  
 Light insulation (example), 0.4 m  
 Concrete (example), 0.1 m

**Generic** Concrete floor against ground (example)2

Description: chip board 16, insulation 40, concrete 100, insulation 100

U-value: 0.08326 W/(m²K)

Thickness: 0.535 m

Layers (Floor top/Wall inside to Floor bottom/Wall outside):  
 Chip board (example), 0.015 m  
 Light insulation (example), 0.22 m  
 Concrete (example), 0.1 m  
 Light insulation (example), 0.2 m

**External wall** Rendered concrete wall (example)1

Description: Concrete 150, insulation 180, render

U-value: 0.1245 W/(m²K)

Thickness: 0.4 m

Layers (Floor top/Wall inside to Floor bottom/Wall outside):  
 Concrete (example), 0.1 m  
 Light insulation (example), 0.28 m  
 Render (example), 0.02 m

**Internal wall** Interior wall with insulation (example)1

Description: Double gypsum on 95mm frame, 30mm light insulation

U-value: 0.7935 W/(m²K)

Thickness: 0.12 m

Layers (Floor top/Wall inside to Floor bottom/Wall outside):  
 Gypsum (example), 0.02 m  
 Air in 30 mm vert. air gap, 0.03 m  
 Light insulation (example), 0.02 m  
 Air in 30 mm vert. air gap, 0.03 m  
 Gypsum (example), 0.02 m

**Glass construction** Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 174+ar+PLANITHERM ULTR

Shading coefficients: Absolute value, Single pane reference, Double pane reference

g, Solar Heat Gain Coef (SHGC): 0.38

T, Solar transmittance: 0.32

Tvis, Visible transmittance: 0.7

Description: [Empty]

Glazing U-value: 0.8 W/(m²K)

Internal emissivity: 0.837 (0-1)

External emissivity: 0.837 (0-1)

**Door** Entrance door

Description: [Empty]

U-value: 0.7472 W/(m²K)

Thickness: 0.05 m

Layers (Floor top/Wall inside to Floor bottom/Wall outside):  
 Wood, 0.004 m  
 Aluminium, 0.001 m  
 Light insulation, 0.04 m  
 Aluminium, 0.001 m  
 Wood, 0.004 m

Total envelope (incl. roof and ground)  
(alternatively enter [W/K/\(m2 floor area\)](#))

0.03 W/K/(m² envelope)

**Infiltration**

**Method**

Infiltration units: ACH (building)

**Zone Distribution**

Distribute proportional to: External surface area

**Wind driven flow**

Air tightness: 0.6 ACH (building)

at pressure difference: 50 Pa

[Pressure coefficients](#)

**Fixed infiltration**

Flow: n.a. ACH (building)

**Wind driven flow**

Air tightness in zones: 0.3155 L/(s.m2 ext. surf.)

at pressure difference: 50 Pa

**Fixed infiltration**

Fixed flow in zones: n.a. L/(s.m2 ext. surf.)

### Trykk-koeffisient

Face \ Angle	0	45	90	135	180	225	270	315	Face azi...
Building body									
f1	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	0.0
f2	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	90.0
f3	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	180.0
f4	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	270.0
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0

## VEDLEGG D INTERNLASTER I IDA ICE

### Belysning i bygning per etasje

Light: the lights in kontorbygg master.Zone

General Geometry

Number of units: 68

Control strategy: Schedule

Schedule: 12 timer

Rated input per unit: 100 W

Luminous efficacy: 12 lm/W

Convective fraction: 0.3

Energy meter: [Default] Lighting, facility

[\* Schedule smoothing applied. Change in [System parameters](#)]

### Belysning i møterom

Light: the lights in moterom master.Zone 4

General Geometry

Number of units: 2

Control strategy: Schedule

Schedule: 12 timer

Rated input per unit: 98 W

Luminous efficacy: 12 lm/W

Convective fraction: 0.3

Energy meter: [Default] Lighting, facility

[\* Schedule smoothing applied. Change in [System parameters](#)]

### Antall brukere i hver etasje

Occupant: a group of occupants in kontorbygg master.Zone

Number of people in group: 170.0

Schedule: 12 timer

Activity level: 1.2 MET

Clothing

Constant: 0.85 ± 0.25 CLO

Schedule: n.a.

[\* Schedule smoothing applied. Change in [System parameters](#)]

[\* clothing is automatically adapted between limits to obtain comfort]



## Antall brukere på møterom

Occupant 1: a group of occupants in møterom master.Zone 4

Number of people in group:

Schedule:  \*

Activity level:  MET [\* Schedule smoothing applied. Change in [System parameters](#)]

Clothing

Constant:  ±  \* CLO

Schedule:  \*

[\*clothing is automatically adapted between limits to obtain comfort]

## Utstyr i hver etasje

Equipment: a set of equipment units in kontorbygg master.Zone

Number of units:

Schedule:  \*

Emitted heat per unit:  W [\* Schedule smoothing applied. Change in [System parameters](#)]  
Only this consumes energy

Energy carrier:

Energy meter:

## Utstyr i møterom

Equipment 1: a set of equipment units in møterom master.Zone 4

Number of units:

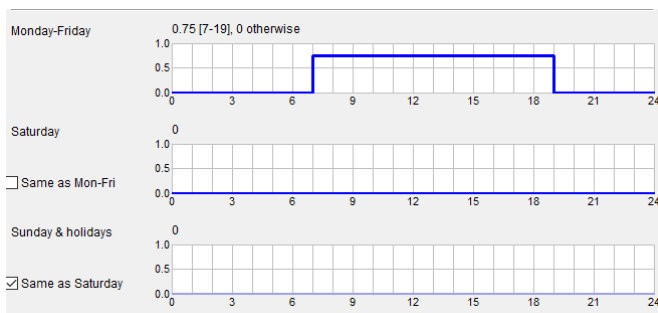
Schedule:  \*

Emitted heat per unit:  W [\* Schedule smoothing applied. Change in [System parameters](#)]  
Only this consumes energy

Energy carrier:

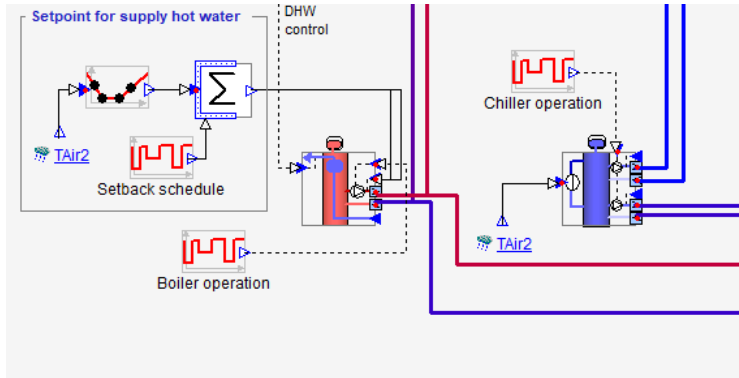
Energy meter:

## Brukstid

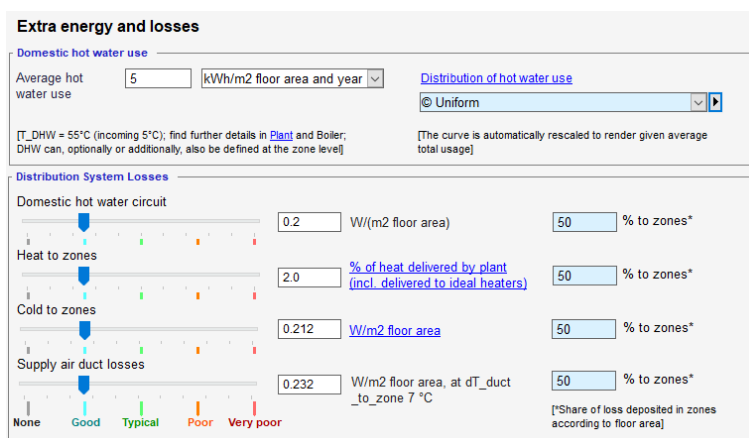


## VEDLEGG E VARMESENTRAL, ENERGITAP OG VENTILASJONSAGGREGAT I IDA ICE

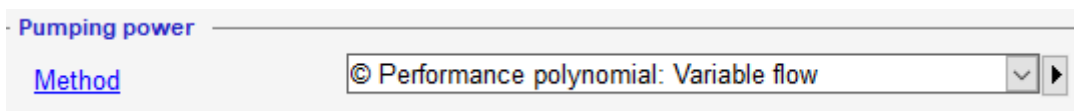
### Varmesentral



### Energitap



### Mengderegulering



## Vifteeffekt

**Fan**

**Performance at rating**

Pressure rise  Pa [Give SFP](#)

Efficiency (electr. to air)  -

**Air temperature rise**

Given constant  °C

Motor in air  %

**VAV part load performance**

[Performance](#)  ▼▶

Rated flow  L/s

Energy meter  ▼

## Varmeveksler

**Heat exchanger**

**Main parameters**

Effectiveness  0-1

Capacity  m<sup>3</sup>/s  unknown

**Additional settings**

Minimum allowed leaving temperature  °C (set >0 to avoid frost formation)

## Vannbåren radiator

**Water Radiator**

**Simplified model:**

Design power  W

W/m<sup>2</sup> floor area

N-value, exponent of power curve **N**  -

**Controller**  ▼

**Longwave Emissivity**

**Sensor**  ▼

## Ideal heater

Ideal heater: object in kontorbygg master.Zone

Maximum power (incl. emission losses)	<input type="text" value="2000"/>	W
	<input type="text" value="1.176"/>	W/m <sup>2</sup> floor area
Heater (generation) efficiency	<input type="text" value="1"/>	(default given in <a href="#">Defaults</a> form)
Distribution efficiency	(given in <a href="#">Extra energy and losses</a> )	
Emission efficiency	<input type="text" value="1"/>	
Long wave radiation fraction	<input type="text" value="0.4"/>	0-1
Energy carrier	[Default] District heat/cold	
<a href="#">Energy meter</a>	[Default] District heating	
<a href="#">Controller</a>	PI	

## VEDLEGG F ENERGIFORBRUK I REFERANSEMODELLENE

### Levert energi til referansebygning

	Purchased energy		Peak demand
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW
Lighting, facility	103221	12.1	34.0
HVAC aux	232319	27.3	37.44
Total, Facility electric	335540	39.5	
District cooling	45261	5.3	198.9
District heating	285810	33.6	309.0
Total, Facility district	331071	39.0	
Total	666611	78.4	
Equipment, tenant	219801	25.9	72.4
Total, Tenant electric	219801	25.9	
Grand total	886412	104.3	

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	144011.1	45216.8
Total	144011.1	45216.8

### Levert energi til referanserom

	Purchased energy		Peak demand
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW
Lighting, facility	595	16.5	0.2
HVAC aux	937	26.0	0.26
Total, Facility electric	1532	42.6	
District cooling	312	8.7	1.48
District heating	1779	49.4	2.01
Total, Facility district	2091	58.1	
Total	3623	100.6	
Equipment, tenant	364	10.1	0.12
Total, Tenant electric	364	10.1	
Grand total	3987	110.8	

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	656.7	268.1

## VEDLEGG G INNEKLIMA I REFERANSEMODELLENE

Resultat fra simulering: hele bygningen

Zone	Group	Zone multiplier, M	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C	Max solar gain, W/m <sup>2</sup>
Zone		1	18.86	26.04	19.15	26.44	11.81
Zone 1		1	18.7	26.07	19.11	26.53	11.2
Zone 2		1	18.86	26.05	19.18	26.43	11.86
Zone 3		1	18.84	26.05	19.21	26.41	11.86
Zone 4		1	18.61	26.03	19.06	26.36	11.85

Zone	Max CO <sub>2</sub> , ppm (vol)	Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)
Zone	820.2	13.33	0.7341	3083.0	229.7	0.0	51610...	32446.0	0.0	0.0
Zone 1	818.6	18.2	0.7339	3083.0	252.6	0.0	51610...	33777.0	0.0	0.0
Zone 2	820.2	13.23	0.7341	3083.0	253.7	0.0	51610...	32490.0	0.0	0.0
Zone 3	820.2	13.1	0.7341	3083.0	220.3	0.0	51610...	32630.0	0.0	0.0
Zone 4	818.5	13.52	0.7339	3083.0	116.9	0.0	51610...	34267.0	0.0	0.0

Resultat fra simuleringen: møterom

Zone	Group	Zone multiplier, M	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C	Max solar gain, W/m <sup>2</sup>
Zone 4		1	18.9	27.32	19.01	27.67	53.28

Max CO <sub>2</sub> , ppm (vol)	Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)
1004.0	22.27	0.734	3070.0	786.4	52.9	18218.0	1540.0	17.18	0.0

## VEDLEGG H RESULTATER FRA KORRELASJONSTESTEN OG T-TESTEN

	<i>g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,539816667	1,100166667
Varians	0,016954944	1,41243E-07
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,62542908	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,539816667	1,100166667
Varians	0,016954944	1,41243E-07
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-33,33381426	
P(T<=t) ensidig	2,82869E-40	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	5,65737E-40	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>g-verdi</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,539816667	0,961585
Varians	0,016954944	0,004150437
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,99417803	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>g-verdi</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
--	----------------	---

Gjennomsnitt	0,539816667	0,961585
Varians	0,016954944	0,004150437
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	86	
t-Stat	-22,48811204	
P(T<=t) ensidig	4,44891E-38	
T-kritisk, ensidig	1,662765449	
P(T<=t) tosidig	8,89781E-38	
T-kritisk, tosidig	1,987934206	

	<i>Tdir</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,209088667	1,100366667
Varians	0,007096393	2,36158E-07
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,855108386	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Tdir</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,209088667	1,100366667
Varians	0,007096393	2,36158E-07
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-81,95260285	
P(T<=t) ensidig	8,77723E-63	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	1,75545E-62	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	



	<i>Tdir</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,209088667	0,88572
Varians	0,007096393	1,49647E-05
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,97007644	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Tdir</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,209088667	0,88572
Varians	0,007096393	1,49647E-05
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-62,15147848	
P(T<=t) ensidig	8,89447E-56	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	1,77889E-55	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>Isolasjon yttervegg [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,483824333	1,102216667
Varians	0,090132027	3,06133E-05
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,547251992	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Isolasjon yttervegg [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,483824333	1,102216667
Varians	0,090132027	3,06133E-05
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-15,95241396	
P(T<=t) ensidig	2,28692E-23	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	4,57383E-23	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>Isolasjon yttervegg [m]</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,483824333	0,877405
Varians	0,090132027	0,000549436
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,780335591	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Isolasjon yttervegg [m]</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,483824333	0,877405
Varians	0,090132027	0,000549436
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	60	
t-Stat	-10,12395305	
P(T<=t) ensidig	6,69062E-15	
T-kritisk, ensidig	1,670648865	

P(T<=t) tosidig	1,33812E-14
T-kritisk, tosidig	2,000297822

	<i>Isolasjon tak [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,523760833	1,107816667
Varians	0,077660489	0,000892288
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,411952718	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Isolasjon tak [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,523760833	1,107816667
Varians	0,077660489	0,000892288
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	60	
t-Stat	-16,14169813	
P(T<=t) ensidig	8,33513E-24	
T-kritisk, ensidig	1,670648865	
P(T<=t) tosidig	1,66703E-23	
T-kritisk, tosidig	2,000297822	

	<i>Isolasjon tak [m]</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,523760833	0,874241667
Varians	0,077660489	0,000887436
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,764350077	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Isolasjon tak [m]</i>	<i>Fjernkjøling [kW/h/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,523760833	0,874241667
Varians	0,077660489	0,000887436
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	60	
t-Stat	-9,686626192	
P(T<=t) ensidig	3,51759E-14	
T-kritisk, ensidig	1,670648865	
P(T<=t) tosidig	7,03519E-14	
T-kritisk, tosidig	2,000297822	

	<i>Termisk konduktivitet [W/mK]</i>	<i>Fjernvarme [kW/h/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,037263667	1,1008
Varians	8,62773E-06	3,66102E-07
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,875508906	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Termisk konduktivitet [W/mK]</i>	<i>Fjernvarme [kW/h/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,037263667	1,1008
Varians	8,62773E-06	3,66102E-07
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	64	
t-Stat	-2746,981227	
P(T<=t) ensidig	2,5527E-164	
T-kritisk, ensidig	1,669013025	
P(T<=t) tosidig	5,1054E-164	

	<i>Termisk konduktivitet [W/mK]</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,037263667	0,878198333
Varians	8,62773E-06	3,23415E-05
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,98194487	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Termisk konduktivitet [W/mK]</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,037263667	0,878198333
Varians	8,62773E-06	3,23415E-05
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	88	
t-Stat	-1017,674484	
P(T<=t) ensidig	3,262E-181	
T-kritisk, ensidig	1,662354029	
P(T<=t) tosidig	6,524E-181	
T-kritisk, tosidig	1,987289865	

	<i>Utvendig persienne, gtot</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,174062833	1,128916667
Varians	0,003558062	8,14548E-06
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,908215623	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Utvendig persienne, g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,174062833	1,128916667
Varians	0,003558062	8,14548E-06
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-123,8537737	
P(T<=t) ensidig	2,65312E-73	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	5,30624E-73	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>Utvendig persienne, gtot</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,174062833	0,718205
Varians	0,003558062	2,37771E-07
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,076922929	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Utvendig persienne, g-verdi</i>	<i>Utvendig persienne, g-verdi Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,174062833	0,718205
Varians	0,003558062	2,37771E-07
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-70,65888277	
P(T<=t) ensidig	5,06867E-59	

T-kritisk, ensidig	1,671093032
P(T<=t) tosidig	1,01373E-58
T-kritisk, tosidig	2,000995378

	<i>Dybde overheng</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,53906	1,10555
Varians	0,083931782	2,42119E-06
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,976648402	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Dybde overheng</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,53906	1,10555
Varians	0,083931782	2,42119E-06
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-15,14601515	
P(T<=t) ensidig	2,70226E-22	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	5,40452E-22	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>Dybde overheng</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,53906	0,76199
Varians	0,083931782	0,0006553
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,982851496	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Overheng overvindu</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,53906	0,76199
Varians	0,083931782	0,0006553
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	60	
t-Stat	-5,937342736	
P(T<=t) ensidig	7,81555E-08	
T-kritisk, ensidig	1,670648865	
P(T<=t) tosidig	1,56311E-07	
T-kritisk, tosidig	2,000297822	

	<i>Areal DX*DY</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	3,745926533	1,103016667
Varians	2,325450088	9,81328E-06
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	-0,827598924	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Areal DX*DY</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	4,147402867	1,102233333
Varians	2,191413302	5,97853E-06
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	15,93398346	
P(T<=t) ensidig	2,41759E-23	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	4,83517E-23	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	



	<i>Areal DX*DY</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	3,745926533	0,818986667
Varians	2,325450088	0,006214094
Observasjoner	60	60
Pearson-korrelasjon	0,988113176	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Areal DX*DY</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	4,147402867	0,842336667
Varians	2,191413302	0,005916213
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	17,27063052	
P(T<=t) ensidig	4,76439E-25	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	9,52879E-25	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>g-verdi, Pilkington</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
g-verdi, Pilkington	1	
Fjernvarme [kWh/m <sup>2</sup> ]	-0,886805167	1

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>g-verdi, Pilkington</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,441701667	1,104116667
Varians	0,006976114	1,30E-05
Observasjoner	60	60

Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0
fg	59
t-Stat	-61,37536467
P(T<=t) ensidig	1,85E-55
T-kritisk, ensidig	1,671093032
P(T<=t) tosidig	3,69E-55
T-kritisk, tosidig	2,000995378

	<i>g-verdi, Pilkington</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
g-verdi, Pilkington	1	
Fjernkjøling [kWh/m2]	0,977006937	1

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>g-verdi, Pilkington</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,441701667	0,768878333
Varians	0,006976114	0,001880062
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	89	
t-Stat	-26,92990478	
P(T<=t) ensidig	7,40E-45	
T-kritisk, ensidig	1,662155326	
P(T<=t) tosidig	1,48E-44	
T-kritisk, tosidig	1,9869787	

	<i>Lavemisjonsbelegg, g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m2]</i>
Lavemisjonsbelegg, g-verdi	1	
Fjernvarme [kWh/m2]	-0,73317197	1

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Lavemisjonsbelegg, g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,566781667	1,100733333
Varians	0,014359132	3,21582E-06
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	59	
t-Stat	-34,51158069	
P(T<=t) ensidig	4,02323E-41	
T-kritisk, ensidig	1,671093032	
P(T<=t) tosidig	8,04647E-41	
T-kritisk, tosidig	2,000995378	

	<i>Lavemisjonsbelegg, g-verdi</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Lavemisjonsbelegg, g-verdi	1	
Fjernkjøling [kWh/m <sup>2</sup> ]	0,97604095	1

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	<i>Lavemisjonsbelegg, g-verdi</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,566781667	0,963801667
Varians	0,014359132	0,010483004
Observasjoner	60	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	115	
t-Stat	-19,51162962	
P(T<=t) ensidig	1,38252E-38	
T-kritisk, ensidig	1,65821183	
P(T<=t) tosidig	2,76505E-38	
T-kritisk, tosidig	1,980807541	

## VEDLEGG I RESULTATER FRA KILMOGOROV -SMIRNOV TESTEN

	g-verdi	Tdir mai	DX	DY
Number of values	60	60	60	60
Sum	32,389	12,54532	144,705	104,079
Minimum	0,3454	0,05332	1,006	1,029
Maximum	0,7459	0,3576	3,498	2,5
Mean	0,539816667	0,209088667	2,41175	1,73465
Standard deviation	0,130211152	0,084240092	0,680120369	0,452481663
Kolmogorov-Smirnov stat	0,136	0,132	0,1	0,124
Critical K-S stat, alpha=.05	0,172	0,172	0,172	0,172

	Areal DX*DY mai	Isolasjon yttervegg [m	Isolasjon tak	Termisk konduktivitet [W/m
Number of values	60	60	60	60
Sum	248,844172	29,02946	31,42565	2,23582
Minimum	1,330407	0,05289	0,05711	0,03208
Maximum	7,7075	0,9949	0,9885	0,04198
Mean	4,147402867	0,483824333	0,52376083	0,037263667
Standard deviation	1,480342292	0,300219965	0,27867632	0,002937299
Kolmogorov-Smirnov stat	0,061	0,121	0,106	0,102
Critical K-S stat, alpha=	0,172	0,172	0,172	0,172

	Overheng	Persienne	DX 0°	DY 0°
Number of values	60	60	60	60
Sum	32,3436	11,21255	131,766	103,296
Minimum	0,105	0,08202	1,04	1
Maximum	0,9958	0,2776	3,386	2,444
Mean	0,53906	0,186875833	2,1961	1,7216
Standard deviation	0,289709824	0,058064252	0,702289324	0,471637831
Kolmogorov-Smirnov stat	0,136	0,109	0,12	0,112
Critical K-S stat, alpha=.05	0,172	0,172	0,172	0,172

	Areal DX*DY 0°	DX 90°	DY 90°	Areal DX*DY 90°
Number of values	60	60	60	60
Sum	224,755592	128,665	101,156	223,485916
Minimum	1,079457	1,073	1,078	1,193346
Maximum	7,797958	3,444	2,467	7,732912
Mean	3,745926533	2,14441667	1,685933333	3,724765267
Standard deviation	1,524942651	0,68677051	0,393182662	1,688588708
Kolmogorov-Smirnov	0,104	0,112	0,088	0,088
Critical K-S stat, alp	0,172	0,172	0,172	0,172

	DX 180°	DY 180°	Areal DX*DY 180°	DX 270°
Number of values	60	60	60	60
Sum	132,362	109,522	240,616153	131,657
Minimum	1,012	1,046	1,200687	1,122
Maximum	3,469	2,498	7,465104	3,454
Mean	2,206033333	1,825366667	4,010269217	2,194283333
Standard deviation	0,731322715	0,45144461	1,669273423	0,731875698
Kolmogorov-Smirnov stat	0,118	0,161	0,122	0,105
Critical K-S stat, alpha=.05	0,172	0,172	0,172	0,172

	DY 270°	Areal DX*DY 270°
Number of values	60	60
Sum	103,525	224,725419
Minimum	1,019	1,50909
Maximum	2,448	7,3899
Mean	1,725416667	3,74542365
Standard deviation	0,421541372	1,480306356
Kolmogorov-Smirnov stat	0,096	0,116
Critical K-S stat, alpha=.05	0,172	0,172

	g-verdi, Pilkington	Lavemisjonsbelegg. g-verdi
Number of values	60	60
Sum	26,5021	34,0069
Minimum	0,2869	0,3216
Maximum	0,6216	0,7563
Mean	0,441701667	0,566781667

Standard deviation	0,083523137	0,119829596
Kolmogorov-Smirnov stat	0,096	0,107
Critical K-S stat, alpha=.05	0,172	0,172

## VEDLEGG J RESULTATER FRA F-TESTEN

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,539816667	1,100166667
Varians	0,016954944	1,41243E-07
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	120041,0044	
P(F<=f) en side	4,3051E-134	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>g-verdi</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,539816667	0,961585
Varians	0,016954944	0,004150437
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	4,085098647	
P(F<=f) en side	1,09337E-07	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Tdir</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,209088667	1,100366667
Varians	0,007096393	2,36158E-07
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	30049,32029	
P(F<=f) en side	2,3849E-116	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Tdir</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,209088667	0,88572
Varians	0,007096393	1,49647E-05
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	474,2095467	
P(F<=f) en side	3,0275E-63	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Areal DX*DY</i>	
	<i>mai</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	4,147402867	1,102233333
Varians	2,191413302	5,97853E-06
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	366547,1125	
P(F<=f) en side	2,1504E-148	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Areal DX*DY</i>	
	<i>mai</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	4,147402867	0,842336667
Varians	2,191413302	0,005916213
Observasjoner	60	60
fg	59	59



F	370,4081014
P(F<=f) en side	4,2808E-60
F-kritisk, en side	1,539956607

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Isolasjon yttervegg [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,483824333	1,102216667
Varians	0,090132027	3,06133E-05
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	2944,213641	
P(F<=f) en side	1,35333E-86	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Isolasjon yttervegg [m]</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,483824333	0,877405
Varians	0,090132027	0,000549436
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	164,0446107	
P(F<=f) en side	9,60354E-50	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Isolasjon tak [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,523760833	1,107816667
Varians	0,077660489	0,000892288
Observasjoner	60	60

fg	59	59
F	87,0352413	
P(F<=f) en side	9,33962E-42	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Isolasjon tak [m]</i>	<i>Fjernkjøling [kWb/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,523760833	0,874241667
Varians	0,077660489	0,000887436
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	87,51108349	
P(F<=f) en side	7,98005E-42	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Isolasjon innvendig gulv [m]</i>	<i>Fjernvarme [kWb/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,049198733	1,102283333
Varians	0,000686846	5,11582E-07
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	1342,591872	
P(F<=f) en side	1,51919E-76	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Termisk konduktivitet [W/mK]</i>	<i>Fjernvarme [kWb/m2]</i>
Gjennomsnitt	0,037263667	1,1008
Varians	8,62773E-06	3,66102E-07

Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	23,56647191	
P(F<=f) en side	9,17169E-26	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Fjernkjøling [kW/h/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Termisk konduktivitet [W/mK]</i>
Gjennomsnitt	0,878198333	0,037263667
Varians	3,23415E-05	8,63E-06
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	3,748557289	
P(F<=f) en side	5,13524E-07	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Utvendig persienne, g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kW/h/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,174062833	1,128916667
Varians	0,003558062	8,14548E-06
Observasjoner	60	60
fg	59	59
F	436,8142182	
P(F<=f) en side	3,38057E-62	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Utvendig persienne, g<sub>tot</sub></i>	<i>Fjernkjøling [kW/h/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,174062833	0,718205

Varians	0,003558062	2,37771E-07
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>14964,22519</b>	
P(F<=f) en side	2,0354E-107	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Dybde overheng</i>	<i>Fjernvarme [kWh/ m2]</i>
Gjennomsnitt	0,53906	1,10555
Varians	0,083931782	2,42119E-06
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>34665,55929</b>	
P(F<=f) en side	3,5213E-118	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Overheng overvindu</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/ m2]</i>
Gjennomsnitt	0,53906	0,76199
Varians	0,083931782	0,0006553
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>128,081482</b>	
P(F<=f) en side	1,29076E-46	
F-kritisk, en side	1,539956607	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>g-verdi,</i> <i>Pilkington</i>	<i>Fjernvarme</i> <i>[kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,44170167	1,10411667
Varians	0,00697611	1,30E-05
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>535,797553</b>	
P(F<=f) en side	8,37E-65	
F-kritisk, en side	1,53995661	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>g-verdi,</i> <i>Pilkington</i>	<i>Fjernkjøling</i> <i>[kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,44170167	0,76887833
Varians	0,00697611	0,00188006
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>3,71057665</b>	
P(F<=f) en side	6,14E-07	
F-kritisk, en side	1,53995661	

F-Test: To utvalg for varianser

	<i>Lavemisjonsbelegg, g-verdi</i>	<i>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Gjennomsnitt	0,566781667	1,100733333
Varians	0,014359132	3,21582E-06
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>4465,155252</b>	

P(F<=f) en side	6,2905E-92
F-kritisk, en side	1,539956607

---

F-Test: To utvalg for varianser

---

	<i>Lavemisjonsbelegg, g-verdi</i>	<i>Fjernkjøling [kWh/ m2]</i>
Gjennomsnitt	0,566781667	0,963801667
Varians	0,014359132	0,010483004
Observasjoner	60	60
fg	59	59
<b>F</b>	<b>1,369753572</b>	
P(F<=f) en side	0,114915106	
F-kritisk, en side	1,539956607	

---

## VEDLEGG K RESULTATER FRA OPTIMALISERINGSANALYSEN I GENOPT

Utdrag fra optimaliseringen med vindusglasset -Gobain

GenOpt	Orientering	DX	DY	Areal	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g002-1	90	1,059	1,003	1,062177	25,45	58,78	6,934	712,3	205,7
g001-1	90	1,059	1,087	1,151133	25,51	58,84	6,934	712	205,7
g003-1	90	1,059	1,128	1,194552	25,51	58,87	6,937	711,8	205,8
g006-1	90	1,042	1,16	1,20872	25,52	58,88	6,935	711,8	205,7
g005-1	90	1,059	1,149	1,216791	25,53	58,9	6,935	711,8	205,7

Sør = 0° i dette tilfellet

GenOpt	Orientering	DX	DY	Areal	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g009-1	0	1,024	1,003	1,027072	26,55	51,99	7,201	688,3	215,3
g002-1	0	1,024	1,024	1,048576	26,55	51,98	7,199	688,2	215,3
g005-1	0	1,024	1,003	1,027072	26,55	51,99	7,201	688,3	215,3
g004-1	0	1,007	1,024	1,031168	26,55	51,98	7,198	688,3	215,2
g034-2	0	1,007	1,014	1,021098	26,55	51,99	7,2	688,2	215,3

Nord = 180° i dette tilfellet

GenOpt	Orientering	DX	DY	Areal	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g001-1	180	1,059	1,003	1,062177	26,79	55,35	7,133	702,8	212,9
g003-1	180	1,059	1,003	1,062177	26,79	55,35	7,127	702,8	212,6
g002-1	180	1,059	1,003	1,062177	26,79	55,35	7,127	702,8	212,6
g005-1	180	1,059	1,045	1,106655	26,79	55,41	7,119	702,7	212,4
g004-1	180	1,024	1,045	1,07008	26,79	55,37	7,123	702,6	212,5

GenOpt	Orientering	DX	DY	Areal	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g003-1	270	1,007	1,003	1,010021	26,79	45,37	7,26	657,7	217,5
g002-1	270	1,007	1,014	1,021098	26,79	45,36	7,265	657,7	217,7
g001-1	270	1,007	1,003	1,010021	26,79	45,37	7,262	657,7	217,5
g006-1	270	1,007	1,014	1,021098	26,79	45,37	7,266	657,7	217,7
g004-1	270	1,024	1,003	1,027072	26,79	45,39	7,263	657,7	217,6

GenOpt	Isolasjonstykkelse på tak	Varmekonduktivitet	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling	U-verdi
g001-1	0,1	0,04128	27,48	80,73	8,2	712,2	251,3	0,3772
g002-1	0,1056	0,04183	27,48	79,36	8,216	710,7	251,9	0,3634
g003-1	0,1056	0,04197	27,49	79,53	8,218	710,9	251,8	0,3645
g004-1	0,1111	0,04156	27,5	77,24	8,246	708,5	252,9	0,3445
g005-1	0,1	0,04156	27,5	81,08	8,2	712,5	251,3	0,3795

GenOpt	Varmekonduktivitet	Isolasjonstykkelse på yttervegg	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling	U-verdi
g001-1	0,04169	0,1022	27,55	61,94	8,428	687,4	259,5	0,1018
g003-1	0,04156	0,1022	27,56	61,87	8,431	687,6	259,6	0,1015
g002-1	0,04128	0,1022	27,56	61,65	8,444	687,1	260,1	0,1008
g228-10	0,04169	0,1078	27,56	61,18	8,45	685,8	260,2	0,1018
g229-10	0,04183	0,1022	27,56	62,03	8,444	687,5	260,1	0,1021

GenOpt	g-verdi glass	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g186-9	0,32	27,31	51,33	8,35	667,50	256,50
g203-11	0,32	27,31	51,40	8,33	667,90	256,00
g208-13	0,32	27,31	51,43	8,32	667,90	255,80
g210-14	0,32	27,31	51,42	8,33	668,10	255,90
g207-13	0,32	27,32	51,36	8,33	667,70	256,00

GenOpt	Overheng	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g001-1	0,9818	26,76	53,57	7,564	679,9	228,4
g002-1	0,9983	26,76	53,62	7,561	680	228,3
g003-1	0,9909	26,77	53,6	7,568	680,1	228,5
g004-1	0,9727	26,77	53,57	7,573	679,7	228,7
g005-1	1	26,77	53,6	7,562	679,7	228,3

GenOpt	Regulering	g-verdi glass	g-verdi persi	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g014-1	ShadeCtrlMa	0,3228	0,1106	26,55	51,15	7,875	666,6	239,6
g001-1	ShadeCtrlMa	0,38	0,14	26,57	49,25	7,959	655,8	242,6
g012-1	ShadeCtrlMa	0,358	0,2576	26,64	49,96	8,029	659,7	245,1
g168-6	ShadeCtrlMa	0,5032	0,1631	26,67	45,52	8,009	629,9	244,3
g286-10	ShadeCtrlMa	0,5032	0,1715	26,68	45,52	8,032	629,9	245,3

Utdrag fra optimaliseringen med vindusglasset Pilkington

GenOpt	Tdir, pilkingt	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g007-1	0,31	26,65	51,22	7,368	677,6	221,4
g078-12	0,2875	26,66	51,21	7,372	677,7	221,4
g079-12	0,2725	26,67	51,17	7,373	677,7	221,5
g081-13	0,2838	26,67	51,22	7,371	677,8	221,5
g084-14	0,2819	26,67	51,2	7,377	677,7	221,6

GenOpt	g-verdi pilkir	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g093-12	0,28	26,56	52,28	7,272	682,5	217,9
g095-13	0,2867	26,57	52,08	7,279	681,4	218,1
g097-14	0,2833	26,57	52,19	7,28	682	218,2
g090-11	0,2933	26,59	51,92	7,3	680,9	218,9
g092-12	0,3067	26,63	51,54	7,322	679,3	219,7

GenOpt	Orientering	DX	DY	Areal	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g013-1	0	1,059	1,337	1,415883	26,39	50,59	7,08	686,4	211
g160-10	0	1,059	1,17	1,23903	26,39	50,7	7,072	687,4	210,7
g164-11	0	1,059	1,253	1,326927	26,39	50,64	7,081	686,9	211
g167-12	0	1,059	1,378	1,459302	26,39	50,59	7,08	686,4	211
g168-12	0	1,059	1,295	1,371405	26,39	50,61	7,073	686,6	210,7



GenOpt	Orientering	DX	DY	Areal	Top, maks	Fjernvarme	Fjernkjøling	Vent. Varme	Vent. Kjøling
g001-1	90	1,024	1,003	1,027072	25,12	56,71	6,891	709,5	204,2
g003-1	90	1,007	1,003	1,010021	25,12	56,7	6,89	709,5	204,1
g002-1	90	1,024	1,014	1,038336	25,12	56,72	6,894	709,5	204,3
g004-1	90	1,024	1,024	1,048576	25,13	56,72	6,897	709,5	204,4
g005-1	90	1,059	1,003	1,062177	25,14	56,73	6,899	709,4	204,4

## VEDLEGG L RESULTATER FRA SYMBOLSK REGRESJON

Solution	(Top. maks) = $23.5731393751539 + 11.4345066716919*(g\text{-verdi})$
R <sup>2</sup> Goodness of Fit	0.99763509
Correlation Coefficient	0.9988238
Maximum Error	0.13870915
Mean Squared Error	0.0060181944
Mean Absolute Error	0.071171228
Coefficients	2
Complexity	5
Primary Objective	0.0060181944
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0023634129

Solution	(Top. maks) = $25.1948160784252 + 6.36966263251742*(g\text{-verdi med lavemisjonsbelegg})$
R <sup>2</sup> Goodness of Fit	0.99646495
Correlation Coefficient	0.99823862
Maximum Error	0.12938594
Mean Squared Error	0.0030790884
Mean Absolute Error	0.044134833
Coefficients	2
Complexity	5
Primary Objective	0.0030790884
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0035335989

Solution	(Top. maks) = $26.3022568066857 + 4.18089963395044*(g\text{-verdi persienne})*(g\text{-verdi glass})^2$
R <sup>2</sup> Goodness of Fit	0.97549195
Correlation Coefficient	0.98768881
Maximum Error	0.081318369

Mean Squared Error	0.00038685474
Mean Absolute Error	0.0137764
Coefficients	2
Complexity	9
Primary Objective	0.00038685474
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.024478781

Solution  $(\text{Top. maks}) = 26.7361354635657 + 0.0142918557640084/(\text{Dybde overheng}) + 0.303866259636436*(\text{Dybde overheng})^3 - 0.550044381783745*(\text{Dybde overheng})^2$

R <sup>2</sup>	
Goodness of Fit	0.99360963
Correlation Coefficient	0.99680065
Maximum Error	0.027519005
Mean Squared Error	6.8473559e-5
Mean Absolute Error	0.0059719356
Coefficients	4
Complexity	20
Primary Objective	6.8473559e-5
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0063851287

	(Top. maks) = 26.2925092853138 + 0.0525239447294359*(Forhold vindusareal/romareal 0°) - 0.000738027843924829*(Forhold vindusareal/romareal 0°)^2
Solution	
R^2 Goodness of Fit	0.99764281
Correlation Coefficient	0.99882526
Maximum Error	0.032208658
Mean Squared Error	8.3792736e-5
Mean Absolute Error	0.0072287983
Coefficients	3
Complexity	11
Primary Objective	8.3792736e-5
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0023548972

	(Top. maks) = 24.3898489550887 + 0.313878115617715*(Forhold vindusareal/romareal 90 °) + 0.000393232575085081*(Forhold vindusareal/romareal)^3 - 0.0165959309582065*(Forhold vindusareal/romareal)^2
Solution	
R^2 Goodness of Fit	0.99180829
Correlation Coefficient	0.99590863
Maximum Error	0.13663492
Mean Squared Error	0.0036653407
Mean Absolute Error	0.052034734
Coefficients	4
Complexity	19
Primary Objective	0.0036653407
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0081821554

	(Top. maks) = 26.3195834652805 + 0.00696711167368906*(Forhold vindusareal/romareal 180 %)^2 - 0.000134822913963515*(Forhold vindusareal/romareal)^3
Solution	
R^2 Goodness of Fit	0.99884699
Correlation Coefficient	0.9994341
Maximum Error	0.087466118
Mean Squared Error	0.00023384475
Mean Absolute Error	0.010103893
Coefficients	3
Complexity	15
Primary Objective	0.010103893
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.028923359

	(Top. maks) = 26.2024737031941 + 0.0885434269829576*(Forhold vindusareal/romareal) + 0.00106351360135481*(Forhold vindusareal/romareal)^2
Solution	
R^2 Goodness of Fit	0.99938051
Correlation Coefficient	0.99969233
Maximum Error	0.046351406
Mean Squared Error	0.00025230885
Mean Absolute Error	0.013097072
Coefficients	3
Complexity	11
Primary Objective	0.00025230885
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0006191595

	$(\text{Top. maks}) = 27.0591236825826 + 1.05461026801819 * (\text{Isolasjonstykkelse i vegg}) + 1.21598713177971 * (\text{Isolasjonstykkelse i vegg})^3 - 1.96547824669091 * (\text{Isolasjonstykkelse i vegg})^2$
Solution	
R^2 Goodness of Fit	0.96754063
Correlation Coefficient	0.98377905
Maximum Error	0.01893706
Mean Squared Error	4.962517e-5
Mean Absolute Error	0.0057196618
Coefficients	4
Complexity	19
Primary Objective	4.962517e-5
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.03239652

	$(\text{Top. maks}) = 27.2472932526569 + 0.0247419592349763 * (\text{Isolasjonstykkelse i tak}) + - 0.0143003710676186 / (\text{Isolasjonstykkelse i tak}) + - 0.00149131799825931 / \log((\text{Isolasjonstykkelse i tak}))$
Solution	
R^2 Goodness of Fit	0.98662322
Correlation Coefficient	0.99330089
Maximum Error	0.017032362
Mean Squared Error	1.8788424e-5
Mean Absolute Error	0.0031572513
Coefficients	4
Complexity	19
Primary Objective	1.8788424e-5
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.013356319

Solution	$(\text{Top. maks}) = 26.4518879104567 + 2.43117700043231 * \text{gtot} + 0.00426993658753825 * \text{Areal}^3 - 0.120245045822921 * \text{Areal}$
R <sup>2</sup> Goodness of Fit	0.9893618
Correlation Coefficient	0.99484469
Maximum Error	0.049000838
Mean Squared Error	0.00024532033
Mean Absolute Error	0.011659678
Coefficients	4
Complexity	17
Primary Objective	0.011659678
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.10676916

Solution	$(\text{Top. maks}) = 24.7439678723531 + 0.0129152467251993 * \text{Himmelretning} - 1.06019734513498e-7 * \text{Himmelretning}^3 - 0.216715340655251 * \cos(0.0357337190612615 * \text{Himmelretning})$
R <sup>2</sup> Goodness of Fit	0.9937352
Correlation Coefficient	0.99686723
Maximum Error	0.20881398
Mean Squared Error	0.0022045464
Mean Absolute Error	0.033133729
Coefficients	5
Complexity	22
Primary Objective	0.0022045464
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.0062295244

Solution	(Top. maks) = 25.7085751181333 + 15.3955856336778*gtot + 0.0208204340331567*(Forhold vindusareal/romareal) + 584.762810662155*gtot^3 - 156.41295527142*gtot^2
R^2 Goodness of Fit	0.98256868
Correlation Coefficient	0.99125773
Maximum Error	0.05986525
Mean Squared Error	0.00040197172
Mean Absolute Error	0.015625771
Coefficients	5
Complexity	23
Primary Objective	0.00040197172
Fit (Normalized Primary Obj.)	0.017403008



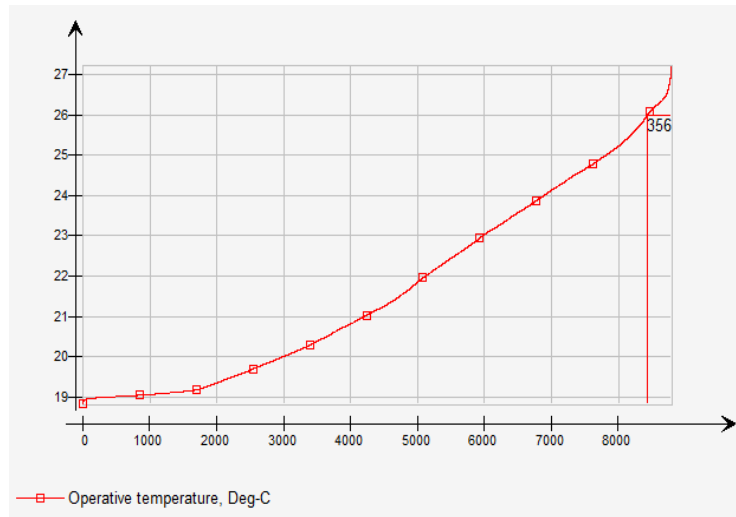
## VEDLEGG M TERMISK INNEKLIMA OG ENERGIFORBRUK VED DE ULIKE TILTAKENE

Tiltak: g-verdi = 0,32

Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C	Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)
18.91	26.87	19.03	27.22	18.45	0.734	3068.3	648.3	5.5	18218.0	1467.0	0.0	0.0

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	660.4	247.6
<b>Total</b>	<b>660.4</b>	<b>247.6</b>

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	914.8	25.41
District cooling	291.5	8.097
District heating	1733.3	48.15
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3899.0</b>	<b>108.3</b>

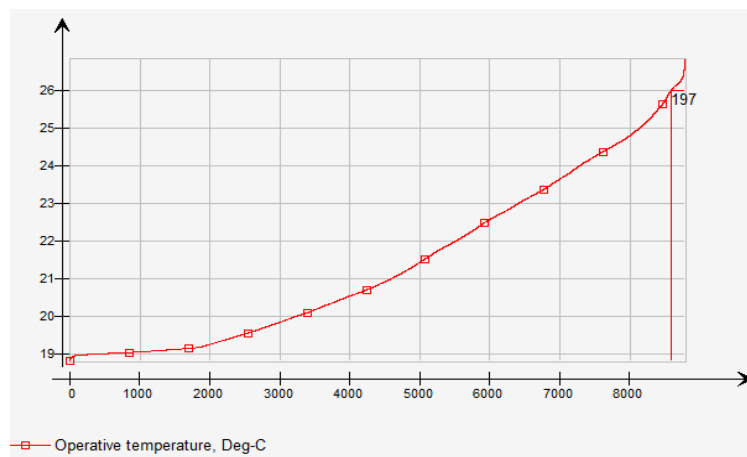


Tiltak g- verdi = 0,28

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.88	0.734	3067.6	464.2	0.0	18217.0	1425.0	0.0	0.0	18.91	26.53	19.03	26.85

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	671.5	229.8

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	899.1	24.98
District cooling	273.7	7.602
District heating	1798.6	49.96
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3930.8</b>	<b>109.2</b>



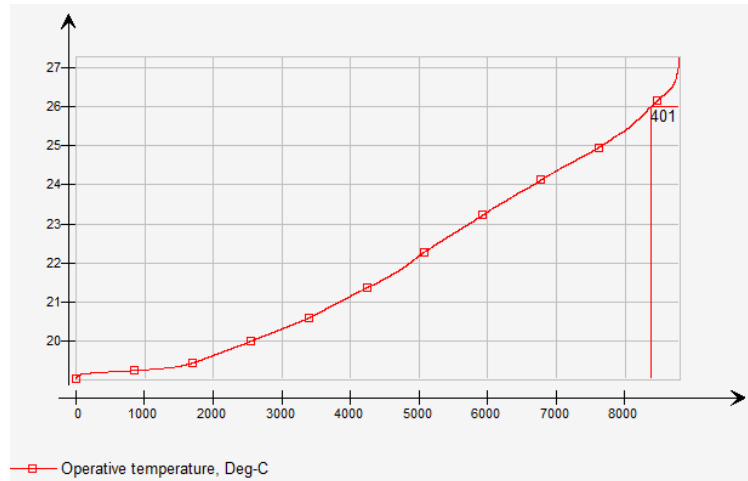
Tiltak lavemisjonsbelegg

g-verdi = 0,32

Max PPD %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
18.81	0.734	3069.4	729.1	7.2	18217.0	1446.0	0.2776	0.0	18.93	27.0	19.24	27.28

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	648.7	254.1

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	921.8	25.61
District cooling	298.0	8.278
District heating	1639.7	45.55
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3818.9</b>	<b>106.1</b>

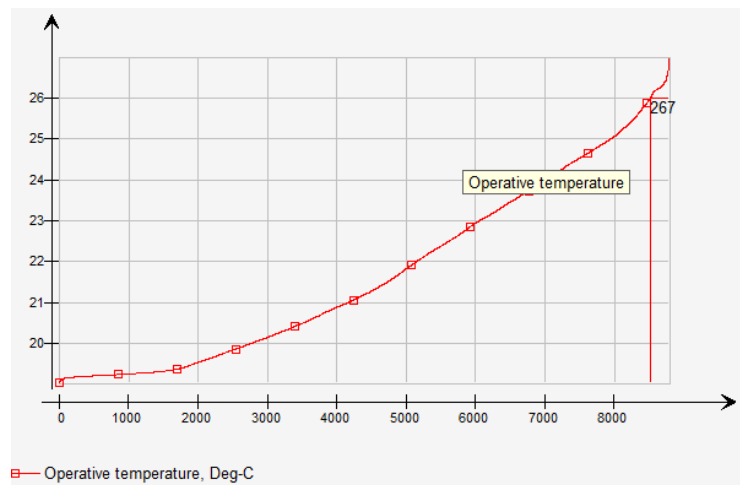


g-verdi = 0,28

Max PPD %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
16.74	0.734	3066.5	572.7	0.0	18218.0	1407.0	0.0	0.0	18.93	26.67	19.23	26.99

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	660.9	237.3

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	905.4	25.15
District cooling	281.2	7.81
District heating	1697.3	47.15
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3843.3</b>	<b>106.8</b>



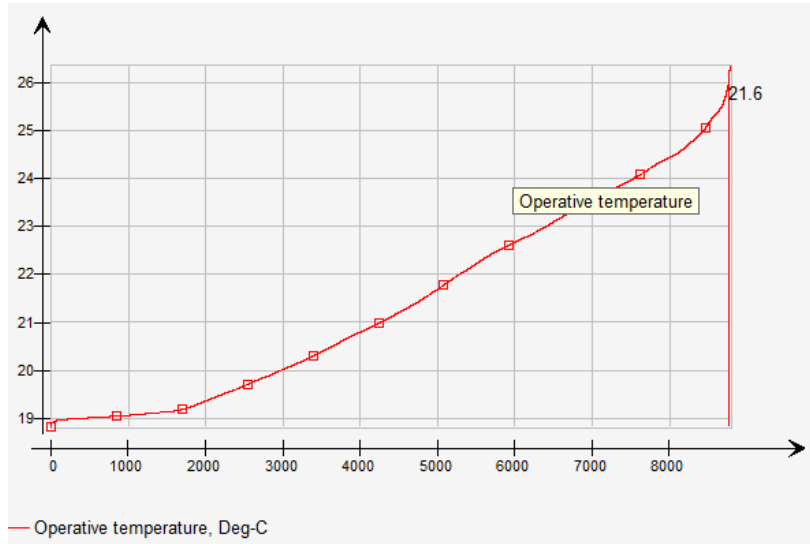
Tiltak: g\_tot

Total solfaktor = 0,04

Max PPD %	Max age of air	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
14.28	0.734	3068.0	295.8	0.0	18218.0	1343.0	0.0	0.0	18.91	26.11	19.03	26.37

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	659.4	209.2

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	887.6	24.65
District cooling	253.2	7.032
District heating	1725.7	47.94
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3825.9</b>	<b>106.3</b>



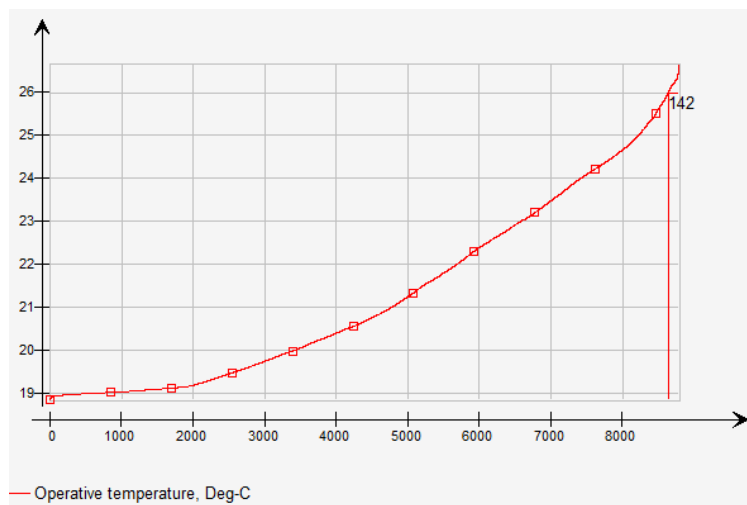
Tiltak: overheng over vindu.

Dybde = 0,5 m

Max PPD %	Max age of air	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
16.04	0.734	3067.0	415.8	0.0	18218.0	1421.0	0.0	0.0	18.91	26.28	19.03	26.66

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	678.3	221.1

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	893.2	24.81
District cooling	265.0	7.36
District heating	1847.0	51.31
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3964.6</b>	<b>110.1</b>

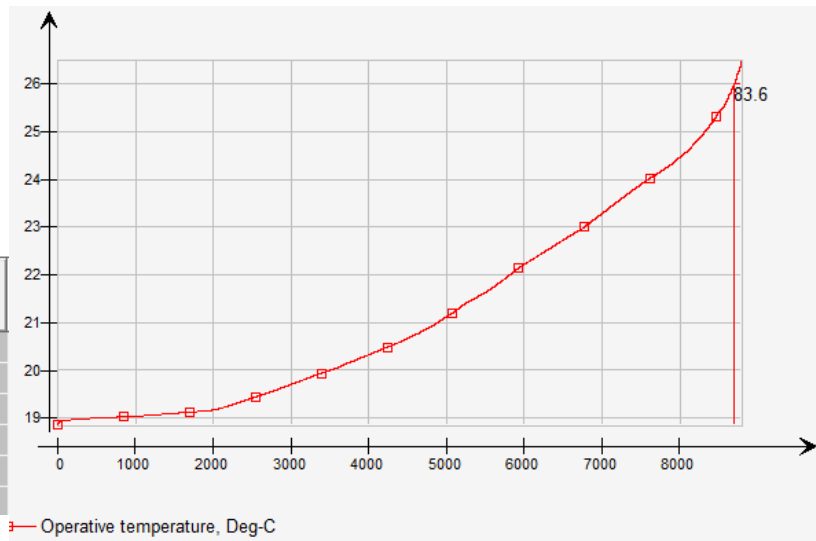


Dybde = 1,0 m

Max PPD %	Max age of air h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.86	0.734	3066.0	354.9	0.0	18218.0	1404.0	0.0	0.0	18.91	26.26	19.03	26.49

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	681.3	216.1

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	890.1	24.73
District cooling	260.0	7.221
District heating	1868.4	51.9
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>3978.0</b>	<b>110.5</b>



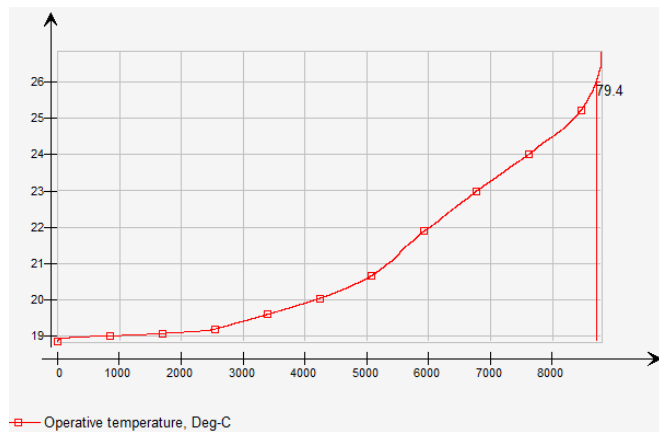
Tiltak: vindusareal i nordlig himmelretning

Vindusareal = 4,71 m<sup>2</sup>

Max PPD %	Max age of air h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.5	0.734	3065.8	293.1	0.0	18219.0	1480.0	0.0	0.0	18.88	26.53	18.96	26.85

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	707.3	217.9

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	892.0	24.78
District cooling	261.8	7.273
District heating	2109.2	58.59
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>4222.5</b>	<b>117.3</b>

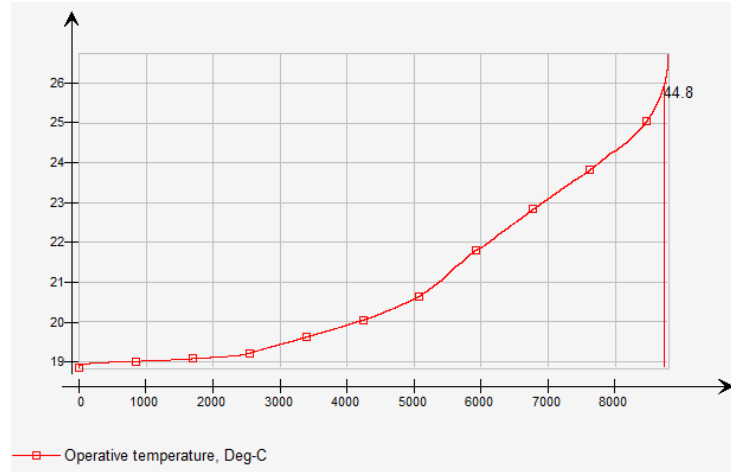


Vindusareal = 3,5 m<sup>2</sup>

Max PPD %	Max age of air	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
14.83	0.734	3067.5	227.0	0.0	18219.0	1454.0	0.0	0.0	18.88	26.43	19.03	26.74

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	705.4	213.1

Meter	Total, kWh	Per m <sup>2</sup> , kWh/m <sup>2</sup>
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	889.4	24.71
District cooling	257.1	7.14
District heating	2052.3	57.01
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>4158.3</b>	<b>115.5</b>



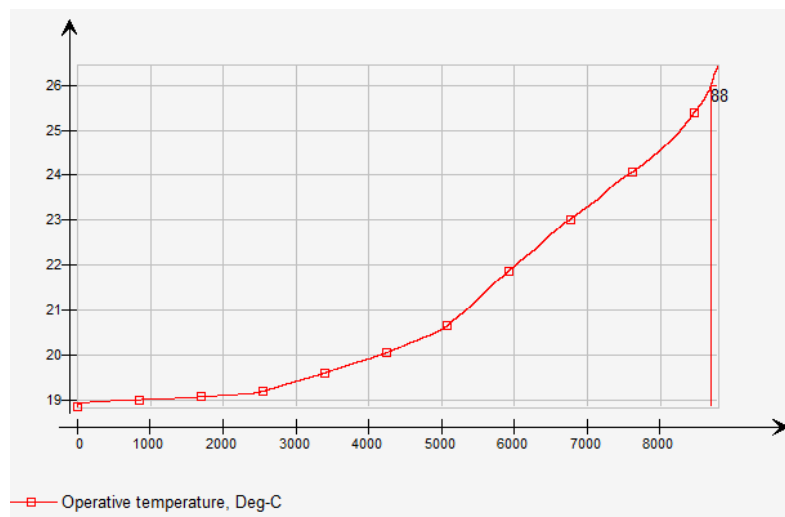
Vindusareal i østlig himmelretning

Vindusareal = 4,71 m<sup>2</sup>

Max PPD %	Max age of air	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.92	0.734	3066.0	373.6	0.0	18218.0	1487.0	0.0	0.0	18.89	26.23	18.92	26.45

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	705.2	215.1

Meter	Total, kWh	Per m <sup>2</sup> , kWh/m <sup>2</sup>
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	891.1	24.75
District cooling	259.0	7.196
District heating	2114.2	58.73
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>4223.8</b>	<b>117.3</b>

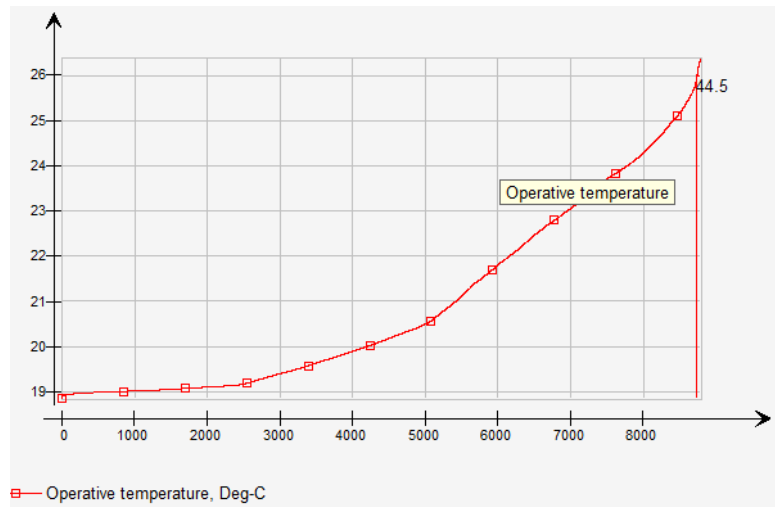


Vindusareal = 4,0 m<sup>2</sup>

Max CO <sub>2</sub> , ppm (vbl)	Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Zone multiplicity, M	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
1002.0	14.81	0.734	3064.8	303.8	0.0	18219.0	1461.0	0.0	0.0	1	18.88	26.16	18.96	26.38

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	706.5	211.1

Meter	Total, kWh	Per m <sup>2</sup> , kWh/m <sup>2</sup>
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	888.7	24.69
District cooling	255.0	7.084
District heating	2099.3	58.31
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>4202.5</b>	<b>116.7</b>



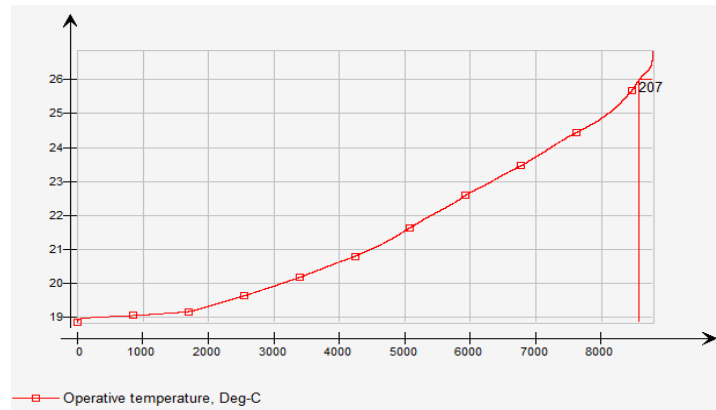
Tiltak: vindusareal i sørlig himmelretning

Vindusareal = 4m<sup>2</sup>

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
16.03	0.734	3067.8	481.7	0.0	18218.0	1421.0	0.0	0.0	18.92	26.49	19.04	26.85

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	666.9	228.3

Meter	Total, kWh	Per m <sup>2</sup> , kWh/m <sup>2</sup>
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	898.3	24.95
District cooling	272.2	7.562
District heating	1729.1	48.03
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3859.0</b>	<b>107.2</b>

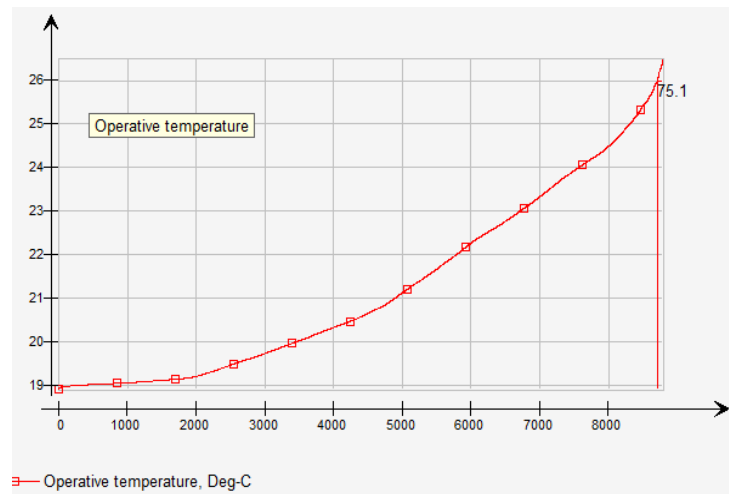


Vindusareal = 2 m<sup>2</sup>

Max PPD %	Max age of air	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.96	0.734	3065.3	360.6	0.0	18218.0	1407.0	0.0	0.0	18.92	26.24	19.04	26.5

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	681.8	215.1

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	889.8	24.72
District cooling	259.1	7.196
District heating	1800.0	50.0
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>3908.4</b>	<b>108.6</b>

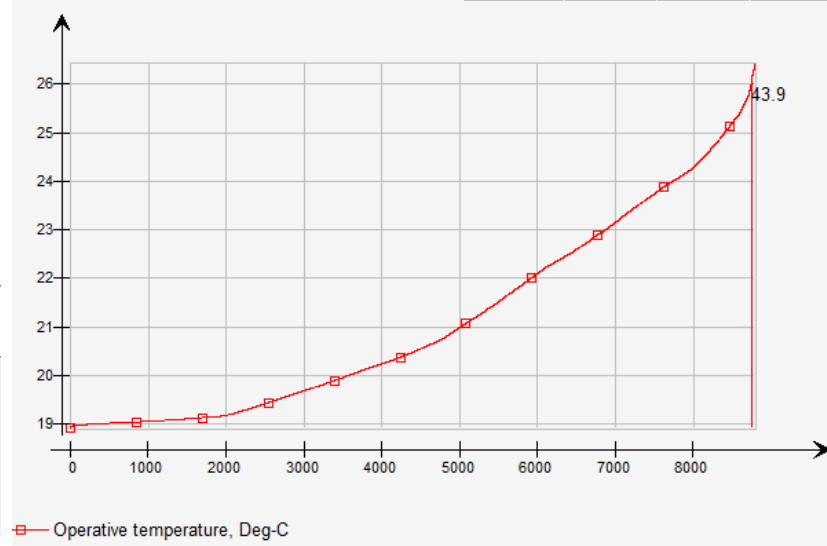


Vindusareal = 1,5 m<sup>2</sup>

Max PPD %	Max age of air	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.5	0.734	3066.0	308.7	0.0	18218.0	1396.0	0.0	0.0	18.92	26.21	19.05	26.44

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	685.5	212.2

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	888.3	24.67
District cooling	256.1	7.114
District heating	1814.7	50.41
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3918.5</b>	<b>108.8</b>



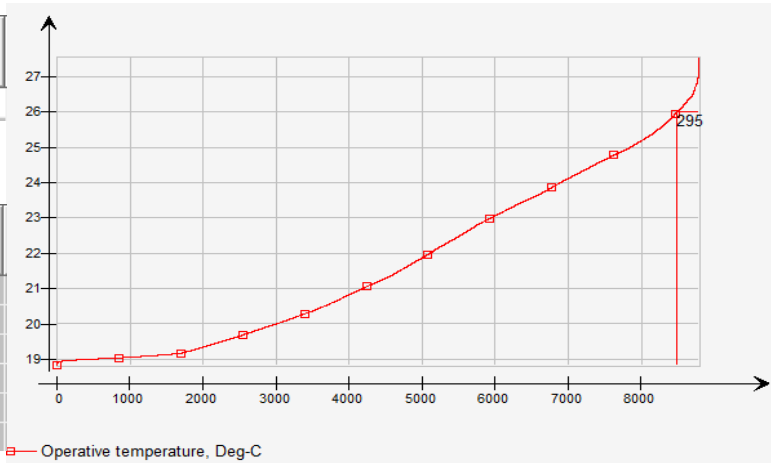
Tiltak: vindusareal i vestlig himmelretning

Vindusareal = 4,71 m<sup>2</sup>

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
20.74	0.734	3068.6	567.2	4.8	18218.0	1453.0	2.894	0.0	18.91	27.22	19.03	27.55

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	660.2	248.2

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	913.0	25.36
District cooling	292.1	8.114
District heating	1724.3	47.9
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3888.8</b>	<b>108.0</b>

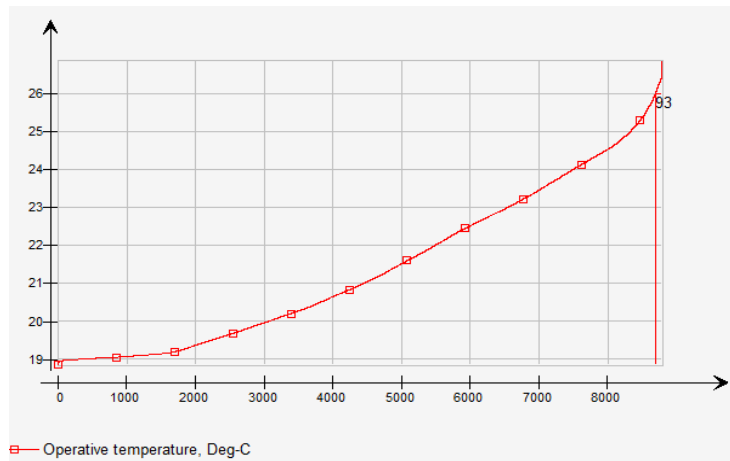


Vindusareal = 2,5 m<sup>2</sup>

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
15.74	0.734	3066.3	333.1	0.0	18218.0	1367.0	0.0	0.0	18.92	26.51	19.04	26.87

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	662.3	221.6

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	893.1	24.81
District cooling	265.6	7.378
District heating	1666.7	46.3
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3784.8</b>	<b>105.1</b>



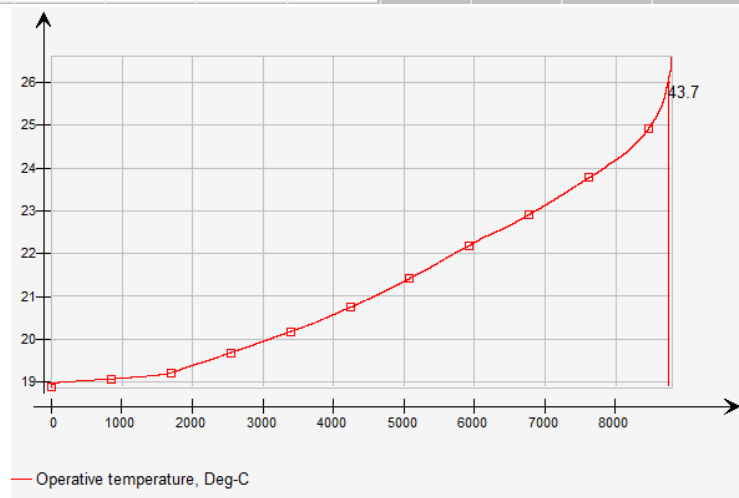


Vindusareal = 1,5 m<sup>2</sup>

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
14.24	0.734	3067.7	222.4	0.0	18219.0	1333.0	0.0	0.0	18.93	26.26	19.05	26.61

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
pt.Zone 4 Handling U...	662.6	213.2

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.2	16.53
HVAC aux	888.7	24.69
District cooling	257.1	7.142
District heating	1638.6	45.52
Equipment, te...	364.4	10.12
<b>Total</b>	<b>3744.0</b>	<b>104.0</b>



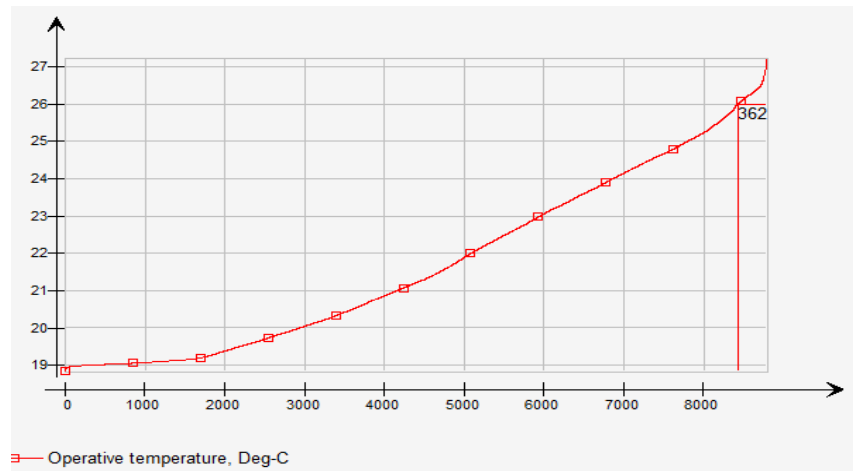
Tiltak: Isolasjonstykkelse i vegg

Isolasjonstykkelse = 0,28 m

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
18.5	0.734	3069.6	663.2	5.7	18217.0	1466.0	0.0	0.0	18.92	26.87	19.03	27.23

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	658.6	248.1

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	915.4	25.43
District cooling	292.1	8.114
District heating	1713.0	47.58
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3879.9</b>	<b>107.8</b>



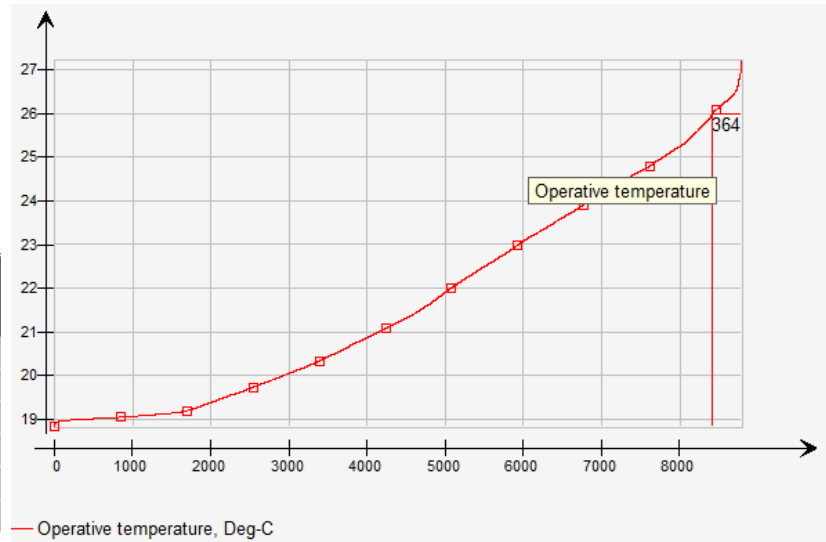
Tiltak: Isolasjonstykkelse i tak

Isolasjonstykkelse = 0,4 m

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
18.47	0.734	3066.7	669.5	5.6	18218.0	1466.0	0.0	0.0	18.92	26.87	19.03	27.23

AHU	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	656.9	248.3

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	595.1	16.53
HVAC aux	915.8	25.44
District cooling	292.3	8.12
District heating	1700.4	47.23
Equipment, te...	364.3	10.12
<b>Total</b>	<b>3867.9</b>	<b>107.4</b>



## VEDLEGG N RESULTATER FRA REGRESJONSMODELLEN

Tiltak:  $g_{tot}$

Aktuelle solfaktorverdier innenfor variasjonsområde for glass og persienne har blitt satt inn i matrisetabellen. Hvitt felt i tabellen representerer maksimal operativ temperatur man oppnådde med ligningen, for eksempel ga  $g_{glass} = 0,25$  og  $g_{persienne} = 0,08$  en operativ temperatur på 26,32 °C.

Glass \ Persienne	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0,08	26,32	26,33	26,34	26,36	26,37	26,39	26,40	26,42	26,44	26,47
0,1	26,33	26,34	26,35	26,37	26,39	26,41	26,43	26,45	26,48	26,51
0,12	26,33	26,35	26,36	26,38	26,40	26,43	26,45	26,48	26,51	26,55
0,14	26,34	26,35	26,37	26,40	26,42	26,45	26,48	26,51	26,55	26,59
0,16	26,34	26,36	26,38	26,41	26,44	26,47	26,50	26,54	26,58	26,63
0,18	26,35	26,37	26,39	26,42	26,45	26,49	26,53	26,57	26,62	26,67
0,2	26,35	26,38	26,40	26,44	26,47	26,51	26,56	26,60	26,66	26,71
0,22	26,36	26,39	26,41	26,45	26,49	26,53	26,58	26,63	26,69	26,75
0,24	26,36	26,39	26,43	26,46	26,51	26,55	26,61	26,66	26,73	26,79
0,26	26,37	26,40	26,44	26,48	26,52	26,57	26,63	26,69	26,76	26,83

Endre g-verdi vindusglass Hvitt felt er temperaturendring i prosent.

Glass \ Persienne	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0,08	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09
0,1	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11
0,12	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13
0,14	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15
0,16	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,17
0,18	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19	0,19
0,2	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,21
0,22	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,23

0,24	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,25
0,26	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,27

Endre g-verdi persienne. Hvitt felt er temperaturendring i prosent.

Glass Persienne	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0,08	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,1	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,12	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,14	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,16	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,18	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,2	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,22	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15
0,24	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15
0,26	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15

Tiltak: kombinasjon av vindusareal/romareal og total solfaktor.

Operativ temperatur i hvitt felt

% g <sub>tot</sub>	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
0,0 1	25, 88	25, 91	25, 93	25, 96	25, 99	26, 02	26, 05	26, 08	26, 11	26, 14	26, 17	26, 19	26, 22	26, 25	26, 28	26, 31
0,0 2	25, 99	26, 02	26, 05	26, 07	26, 10	26, 13	26, 16	26, 19	26, 22	26, 25	26, 28	26, 31	26, 33	26, 36	26, 39	26, 42
0,0 3	26, 07	26, 10	26, 13	26, 16	26, 19	26, 22	26, 25	26, 28	26, 31	26, 33	26, 36	26, 39	26, 42	26, 45	26, 48	26, 51

0,0 4	26, 14	26, 17	26, 20	26, 23	26, 26	26, 29	26, 31	26, 34	26, 37	26, 40	26, 43	26, 46	26, 49	26, 52	26, 55	26, 57
0,0 5	26, 19	26, 22	26, 25	26, 28	26, 31	26, 33	26, 36	26, 39	26, 42	26, 45	26, 48	26, 51	26, 54	26, 57	26, 59	26, 62
0,0 6	26, 22	26, 25	26, 28	26, 31	26, 34	26, 37	26, 40	26, 43	26, 46	26, 48	26, 51	26, 54	26, 57	26, 60	26, 63	26, 66
0,0 7	26, 25	26, 28	26, 31	26, 34	26, 37	26, 39	26, 42	26, 45	26, 48	26, 51	26, 54	26, 57	26, 60	26, 63	26, 65	26, 68
0,0 8	26, 27	26, 30	26, 33	26, 35	26, 38	26, 41	26, 44	26, 47	26, 50	26, 53	26, 56	26, 59	26, 61	26, 64	26, 67	26, 70
0,0 9	26, 28	26, 31	26, 34	26, 37	26, 40	26, 43	26, 46	26, 48	26, 51	26, 54	26, 57	26, 60	26, 63	26, 66	26, 69	26, 72
0,1	26, 30	26, 33	26, 36	26, 38	26, 41	26, 44	26, 47	26, 50	26, 53	26, 56	26, 59	26, 62	26, 64	26, 67	26, 70	26, 73

Endre g<sub>tot</sub>. Hvitt felt er temperaturendring i prosent.

$\frac{\%}{g_{tot}}$	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
0,0 1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
0,0 2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,0 3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
0,0 4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,0 5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0 6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0 7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0 8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0 9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Endre vindusareal/romareal. Hvitt felt er temperaturendring i prosent.

% g <sub>tot</sub>	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
0,0 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 2	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 3	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 4	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 5	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 6	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 7	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 8	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,0 9	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
0,1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1
	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1

## VEDLEGG O HIMMELRETNING OG OPERATIV TEMPERATUR

Himmelretning	Top, maks		
		155	26,59
0	25,27	160	26,63
5	25,31	165	26,61
10	25,36	170	26,61
15	25,41	175	26,61
20	25,46	180	26,63
25	25,55	185	26,64
35	25,7	190	26,67
40	25,8	195	26,69
45	25,91	200	26,72
50	26	205	26,73
55	26,08	210	26,76
60	26,21	215	26,79
65	26,31	220	26,79
70	26,31	225	26,81
75	26,36	230	26,81
80	26,38	235	26,8
85	26,39	240	26,79
90	26,43	245	26,79
95	26,44	250	26,76
100	26,46	255	26,71
105	26,49	260	26,64
110	26,53	265	26,6
115	26,54	270	26,55
120	26,59	275	26,52
125	26,61	280	26,48
130	26,62	285	26,45
135	26,62	290	26,42
140	26,62	295	26,36
145	26,59	300	26,28
150	26,59	305	26,19
		310	26,08
		315	25,95
		320	25,82
		325	25,7
		330	25,58
		335	25,47
		340	25,37
		345	25,31
		350	25,28
		355	25,26

**VEDLEGG P REFERANSEBYGG MED NYE VERDIER**

Zone	Group	Zone multiplier, M	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C
Zone		1	18.87	25.53	19.27	25.84
Zone 1		1	18.71	25.79	19.2	26.09
Zone 2		1	18.87	25.62	19.27	25.88
Zone 3		1	18.84	25.56	19.19	25.82
Zone 4		1	18.6	25.48	19.11	25.73

Max PPD, %	Max age of air, h	In use, h	h of T <sub>op</sub> >25, h	h of T <sub>op</sub> >27, h	Occ. hours, h	PDH, h	Unmet hours (cooling)	Unmet hours (heating)	Zone
12.78	0.734	3078.2	38.7	0.0	51611...	30968.0	0.0	0.0	Zone
15.42	0.7339	3078.2	50.5	0.0	51611...	30539.0	0.0	0.0	Zone 1
12.78	0.734	3078.2	44.5	0.0	51611...	30896.0	0.0	0.0	Zone 2
13.14	0.734	3078.2	34.3	0.0	51611...	31227.0	0.0	0.0	Zone 3
13.26	0.7339	3078.2	12.7	0.0	51611...	33511.0	0.0	0.0	Zone 4

AHV	Heating, kWh	Cooling, kWh
Air Handling U...	144223.1	44544.4
<b>Total</b>	<b>144223.1</b>	<b>44544.4</b>

Meter	Total, kWh	Per m2, kWh/m2
Lighting, facility	10322...	12.14
HVAC aux	23228...	27.33
District cooling	44586.6	5.245
District heating	28730...	33.8
Equipment, te...	21980...	25.86
<b>Total</b>	<b>88719...</b>	<b>104.4</b>



