



OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY  
STORBYUNIVERSITETET

OPPGAVE/KANDIDAT NR.

TILGJENGELIGHET

Åpen

**Institutt for Bygg- og energiteknikk**  
Postadresse: Postboks 4. St. Olavs plass, 0130 Oslo  
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Telefon: 67 23 50 00  
www.oslomet.no

## MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL Metode for beregning av dagslys i rom	DATO 21.05.2021
FORFATTER Martine Brockstedt Berg	VEILEDERE Ida Hedvig Bryn Arnkell Jonas Petersen
ANTALL SIDER 60 sider	ANTALL VEDLEGG 21 vedlegg

### SAMMENDRAG

I denne oppgaven er det funnet en sammenheng mellom dagslysfaktor inne i et rom og på fasade, ved både ytre og indre påvirkninger. Det er funnet en lineær sammenheng mellom intern dagslysfaktor, vindusareal, lystransmisjon, ekstern dagslysfaktor og formfaktor for rom. Denne sammenhengen er testet for forskjellige skjermingstilfeller i en sensitivitetsanalyse. Resultatet er en formel som kan benyttes for å finne nødvendig vindusareal eller nødvendig formfaktor for rommet for å oppnå ønsket gjennomsnittlig intern dagslysfaktor.

### 3 STIKKORD

Gjennomsnittlig daglysfaktor  
Dagslys i tidligfase  
Lynes formel

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Oslo Metropolitan University våren 2021. Oppgaven er mitt avsluttende arbeid på den toårige masterutdannelsen i Energi og Miljø i bygg og omfatter 30 studiepoeng.

I kurset Energidesign og Bygningsfysikk fikk jeg en introduksjon til dagslys og viktigheten av det. Jeg synes det er et veldig interessant og relevant tema. Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere Ida Bryn fra Oslo Met og Arnkjell Petersen fra Erichsen & Horgen. Takk for all hjelp med oppgaven. Det har vært svært nyttig og lærerikt å kunne ha dere som sparringspartnere og veiledere under arbeidet med denne oppgaven.

Avslutningsvis vil jeg takke familie og venner som har tatt seg tiden til å lese korrektur på oppgaven. I tillegg vil jeg takke mine klassekamerater for to morsomme, fine og lærerike år på Oslo Met. Det hadde ikke vært det samme uten dere!

Martine Brockstedt Berg  
21. mai 2021

## Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg utarbeidelse av en metode for å beregne nødvendig vindusareal eller formfaktor for rom for å oppnå ønsket gjennomsnittlig dagslysfaktor. Formålet er å finne en formel som kan benyttes i tidligfase ved prosjektering av bygg.

Mennesker som bor i vesten tilbringer mye tid inne. Undersøkelser har vist at opp til 90% av tiden tilbringes inne. Derfor er det viktig med god tilgang på naturlig dagslys inne. Forskning har vist at dagslys er viktig for å opprettholde den circadiske rytmen. Dagslys er en viktig del av å opprettholde en god døgnrytme, og når den circadiske rytmen er velkalibrert blir biologien vår tilpasset døgnets faser på en bedre måte. Dette vil påvirke matinntak, blodtrykk og kroppstemperatur, i tillegg til søvn.

TEK 17 stiller krav til at rom for varig opphold skal ha gjennomsnittlig dagslysfaktor større eller lik 2%. Dagslys kommer sent inn i prosjektering av bygg, og dette kan ha uheldige konsekvenser. Ved å kunne ta hensyn til dette kravet tidligere vil en øke effektiviseringen av arbeidet. Dette vil føre til sparte kostnader både med tanke på tid og ressurser.

Dagslys omfatter stråling mellom 380 og 740 nm. Strålingen kategoriseres i tre komponenter: himmel komponent, utereflektert komponent og innereflektert komponent. Sammen utgjør dette grunnlaget for det vi kan måle som dagslysfaktor. Dagslysfaktor er en form for statistisk analyse av dagslys, hvor klimadata er konstant ut fra lokasjon. Det finnes også dynamisk analyse for dagslys, da vil klimadata variere ut fra lokasjon og tid på døgnet.

I denne oppgaven er det funnet en sammenheng mellom dagslysfaktor inne i et rom og på fasade, ved både ytre og indre påvirkninger. Det er funnet en lineær sammenheng mellom intern dagslysfaktor, vindusareal, lystransmisjon, ekstern dagslysfaktor og formfaktor for rom. Denne sammenhengen er testet for forskjellige skjermingstilfeller i en sensitivitetsanalyse. Resultatet er en formel som kan benyttes for å finne nødvendig vindusareal eller nødvendig formfaktor for rommet, for å oppnå ønsket gjennomsnittlig intern dagslysfaktor.

Formlene brukes ved å simulere gjennomsnittlig dagslysfaktor på fasaden for sonen. Resultatet plottes deretter inn i formelen med verdier for ønsket gjennomsnittlig intern dagslysfaktor, lystransmisjon i glasset og vindusareal eller formfaktor for rommet. Ved vindusareal inkludert i formelen gir resultatet nødvendig formfaktor for rommet, og motsatt ved ønske om at formelen skal gi nødvendig vindusareal.

Formelene er laget på grunnlag av resultater fra et flertall simuleringer. For simuleringene varierer både formfaktor for soner, vindusareal, lystransmisjon i vindusglass og ytre påvirkninger. De ytre påvirkningene varierer fra et case som er helt uskjermet, til et case som skjerner for store deler av utsikt og lystilgang for sonene.

Formlene er testet opp mot soner med varierende formfaktor, vindusareal, lystransmisjon og skjerming. Det er funnet at avviket ved bruk av formelen er opp mot 24% for å finne nødvendig vindusareal og 5% for å finne nødvendig formfaktor. Bruk av formelene vil gi en indikasjon på nødvendig formfaktor og vindusareal i tidligfase, men krever videre arbeid for å gi mer pålitelige resultat.

## Abstract

This master assignment presents a method of calculating the required window area in order to achieve the desired average daylight in a room, with the purpose to find an equation for use in the early stages of building design.

TEK 17 requires an average daylight factor greater than, or equal to 2% for rooms with permanent residence. This is taken into account at a later stage than desired when engineering. Both time, costs and resources may be saved by taking these requirements into account earlier, leading to a more efficient project and process.

Research shows that population in the west spends a lot of time inside. Due to this and to keep the circadian rhythm, natural light inside is highly important. If the circadian rhythm is well calibrated, the human biology will adapt to the faces of the day, which will influence food intake, blood pressure and body temperature, as well as sleep habits.

Daylight includes 380 to 740 nm radiation. This is divided into three components; sky component, outside reflected component and inside reflected component. These factors complied is the basis of how we measure the daylight factor. Daylight factor is a way of statistically analyzing daylight where climate and location data is constant, whereas for dynamic analyze of daylight, the climate and location data will vary based on time of year.

In this thesis we have found a context between daylight factor inside a room and on a façade based on both outer and inner influences. There has been found a linear relationship between interior daylight factor, window area, light transmission, external daylight factor and form factor for rooms. This relationship is tested for several different screening solutions in a sensitivity analysis. The result is a formula to make use of to calculate the necessary window area or necessary form factor for a room to achieve the desired average internal daylight factor.

The formulas are used to simulate average daylight factor on the façade for a zone. Further the result is plotted into the formula for desired average internal daylight factor, light transmission in the glass and the window area or form factor for the room. With the window area included in the formula, a necessary form factor for the room will be given, whilst with the form factor for the room included in the formula, the necessary window area will be given.

The formula is made based on results from several simulations. When the simulations were done, both form factor for zones, window area, light transmission in the windows and outer influences varied. The outer influences varied from completely unshielded to a case where larger parts of access to view and light were shielded.

The formulas are tested for zones where form factor, window area, light transmission and screening varied. Discrepancies up to 24% for necessary window area and 5% for necessary form factor has been found when using the formula. By using the formulas one will find an indication of necessary form factor and window area in an earlier phase, however further work is crucial to secure good results.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn . . . . .	1
1.2	Mål . . . . .	1
1.3	Struktur . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>3</b>
2.1	Hva er dagslys? . . . . .	3
2.2	Hvorfor er det viktig? . . . . .	3
2.3	Krav og anbefalinger . . . . .	4
2.3.1	TEK17 . . . . .	4
2.3.2	NS-EN 17037 . . . . .	5
2.3.3	BREEAM . . . . .	6
2.4	Dagslysfaktor . . . . .	7
2.4.1	Intern dagslysfaktor . . . . .	7
2.4.2	Ekstern dagslysfaktor . . . . .	8
2.4.3	CIE himmel . . . . .	9
2.5	Lynes formel . . . . .	9
2.5.1	Vindu . . . . .	10
2.5.2	Uhindret himmelvinkel . . . . .	11
2.5.3	Refleksjon . . . . .	13
2.6	Alternative metoder for å beregne dagslys . . . . .	14
2.6.1	Klimabasert dagslyssimulering . . . . .	14
2.6.2	Sky View Factor . . . . .	14
2.7	Beregningskjerner . . . . .	15
2.7.1	Radiosity . . . . .	15
2.7.2	Raytracing . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>18</b>
3.1	IDA ICE . . . . .	18
3.2	Modell . . . . .	18
3.3	Forutsetninger . . . . .	20
3.4	Metode for analyse . . . . .	21
3.5	Simulering . . . . .	21
3.6	Sensitivitetsanalyse . . . . .	22
3.6.1	Vertikal skjerming fra en side . . . . .	24
3.6.2	Vertikal skjerming fra begge sider . . . . .	27
3.6.3	Skjerming fra parallelt bygg . . . . .	27
3.6.4	Skjerming fra overhengende balkonger . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Resultat og analyse</b>	<b>31</b>
4.1	Grunnlag . . . . .	31
4.2	Innledende simuleringer . . . . .	31
4.3	Uskjermet . . . . .	32
4.4	Vertikal skjerming fra en side . . . . .	34
4.4.1	Skjerming fra venstre side . . . . .	34
4.4.2	Skjerming fra høyre side . . . . .	36
4.5	Vertikal skjerming fra begge sider . . . . .	38

4.6	Skjerming fra parallelt bygg . . . . .	40
4.7	Skjerming fra overhengende balkonger . . . . .	43
4.8	Samlede resultater . . . . .	44
4.8.1	Analyse av hver enkelt sone . . . . .	45
4.9	Begrensning . . . . .	47
4.9.1	Skjerming fra parallelt bygg . . . . .	48
4.9.2	Formfaktor . . . . .	48
4.9.3	Sone 2 . . . . .	49
4.9.4	Sone 5 . . . . .	50
4.9.5	Annet skjermingsbilde, sone 2 og 10 . . . . .	51
4.9.6	Oppsummerte begrensninger . . . . .	52
4.10	Formel for tidligfase . . . . .	52
4.10.1	Bruk av formel . . . . .	54
4.10.2	Utprøving av formel . . . . .	54
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>56</b>
5.1	Metode . . . . .	56
5.2	Formel . . . . .	57
5.2.1	Begrensninger . . . . .	57
5.2.2	Bruk av formel . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Videre arbeid</b>	<b>59</b>
	<b>Referanser</b>	<b>60</b>
<b>A</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>i</b>
A.1	BREEAM . . . . .	i
A.2	Refleksjonsfaktor . . . . .	ii
<b>B</b>	<b>Metode</b>	<b>iii</b>
B.1	Presisjonsnivå . . . . .	iii
B.2	Klima- og lokasjonsdata . . . . .	iv
B.3	Vindusparametere . . . . .	vi
B.4	Størrelse soner og vinduer . . . . .	vii
<b>C</b>	<b>Resultat og analyse</b>	<b>viii</b>
C.1	Uskjermet . . . . .	viii
C.1.1	Resultat fra simulering . . . . .	viii
C.2	Vertikal skjerming fra venstre side . . . . .	x
C.2.1	Resultat fra simulering . . . . .	x
C.3	Vertikal skjerming fra høyre side . . . . .	xii
C.3.1	Resultat fra simulering . . . . .	xii
C.4	Vertikal skjerming fra begge sider . . . . .	xiv
C.4.1	Resultat fra simulering . . . . .	xiv
C.5	Skjerming fra parallelt bygg . . . . .	xvi
C.5.1	Resultat fra simulering . . . . .	xvii
C.5.2	Grafisk fremstilling for hvert nivå . . . . .	xxiii
C.6	Skjerming fra overhengende balkonger . . . . .	xxv

C.6.1	Resultat fra simulering . . . . .	xxv
C.7	Samlede resultater . . . . .	xxvi
C.7.1	Analyse av hver enkelt sone . . . . .	xxvi
C.8	Begrensninger . . . . .	xxvii
C.8.1	Skjerming fra parallelt bygg . . . . .	xxvii
C.8.2	Formfaktor . . . . .	xxviii
C.8.3	Sone 2 . . . . .	xxix
C.8.4	Sone 5 . . . . .	xxx
C.8.5	Annet skjermingsbilde, sone 2 og 10 . . . . .	xxxi
C.9	Formel for tidligfase . . . . .	xxxii
C.9.1	Resultat fra utprøving av formler . . . . .	xxxii
C.9.2	Oppsett formel . . . . .	xxxvi

## Figurer

1	Dagslys i rom etter metode 1 [5]. . . . .	5
2	Dagslys i rom etter metode 2 [5]. . . . .	5
3	Utklipp fra NS-EN 17037 [5]. . . . .	6
4	Metode for beregning av dagslys etter veiledning, sertifiseringsprogram og standard [5]. . . . .	7
5	Illustrasjon av CIE himmel [12]. . . . .	9
6	Sammenheng mellom vinduets form og plassering og dagslys inn i rommet [14]. . . . .	10
7	Påvirkning av refleksjon på himmelvinkel [14]. . . . .	11
8	Uhindret himmelvinkel [17]. . . . .	12
9	Uhindret himmelvinkel [18]. . . . .	12
10	Refleksjon [20]. . . . .	13
11	Dagslys inn i rom [14]. . . . .	14
12	Sky View Factor [23]. . . . .	15
13	Beregningskjernen ved radiosity [24]. . . . .	16
14	Beregningskjernen ved backward raytracing [24]. . . . .	17
15	Modell brukt i sensitivitetsanalyse . . . . .	19
16	Soner i IDA ICE . . . . .	20
17	Graf ved sammenstilling av resultater ved LT=70%. . . . .	22
18	Oversikt over alle casene referert til i tabell 3 . . . . .	24
19	Vertikal skjerming fra venstre side . . . . .	25
20	Vertikal skjerming fra venstre side . . . . .	25
21	Vertikal skjerming fra høyre side . . . . .	26
22	Vertikal skjerming fra høyre side . . . . .	26
23	Vertikal skjerming fra begge sider. . . . .	27
24	Vertikal skjerming fra begge sider. . . . .	27
25	Parallell skjerming. . . . .	28
26	Parallell skjerming på nivå 1. . . . .	28
27	Parallell skjerming på nivå 2. . . . .	29
28	Parallell skjerming på nivå 3. . . . .	29
29	Skjerming fra overhengende balkong. . . . .	30
30	Resultat fra innledende simuleringer . . . . .	32
31	Resultat ved uskjermede soner . . . . .	33
32	Ekstern dagslysfaktor over fasade . . . . .	33
33	Resultat ved vertikal skjerming fra venstre side . . . . .	34
34	Ekstern dagslysfaktor over hele fasaden ved 4 meter avstand . . . . .	35
35	Ekstern dagslysfaktor over hele fasaden ved 8 meter avstand . . . . .	36
36	Resultat ved vertikal skjerming fra høyre side . . . . .	37
37	Ekstern dagslysfaktor over hele fasaden ved 4 meter avstand . . . . .	37
38	Resultat ved vertikal skjerming fra begge sider . . . . .	38
39	Dagslysfaktor for hele fasaden . . . . .	39
40	Dagslysfaktor for hele fasaden uten refleksjon i skjerming . . . . .	39
41	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg . . . . .	40
42	Ekstern dagslysfaktor for hele fasaden ved nivå 1 . . . . .	41
43	Ekstern dagslysfaktor for hele fasaden ved nivå 2 . . . . .	42
44	Ekstern dagslysfaktor for hele fasaden ved nivå 3 . . . . .	42
45	Ekstern dagslysfaktor for vinduer i soner ved nivå 3 . . . . .	43



46	Resultat ved skjerming fra balkong . . . . .	44
47	Ulik skjerming for ytterste soner . . . . .	44
48	Resultat fra alle simuleringer samlet . . . . .	45
49	Analyse av resultat fra sone 2 . . . . .	46
50	Analyse av resultat fra sone 10 . . . . .	46
51	Analyse av resultat fra soner enkeltvis . . . . .	47
52	Parallell skjerming med begrensninger . . . . .	48
53	Utklipp fra vedlegg C.2.1, resultat for case vertikal skjerming fra venstre side	50
54	Utklipp fra vedlegg C.1.1, resultat for case uskjermet . . . . .	51
55	Utgangspunkt for formel . . . . .	53
56	Grafisk fremstilling av resultater for hvert nivå, LT=50% . . . . .	xxiii
57	Grafisk fremstilling av resultater for hvert nivå, LT=70% . . . . .	xxiv
58	Analyse av hver sone, enkeltvis . . . . .	xxvi
59	Formeler ved trigonometriberegning [17] . . . . .	xxvii
60	Sammenligning $R^2$ for soner med forskjellig formfaktor . . . . .	xxviii
61	Sammenligning $R^2$ med og uten sone 2 . . . . .	xxix
62	Sammenligning $R^2$ med og uten sone 5 . . . . .	xxx
63	Sammenligning $R^2$ med og uten soner med annet skjermingsbilde . . . . .	xxxi
64	Annen metode for bruk av formel . . . . .	xxxvi

## Tabeller

1	Resultat ved grad av uhindret himmelvinkel . . . . .	12
2	Refleksjonsfaktorer brukt i modell . . . . .	20
3	Oversikt over forskjellige simuleringer i hvert case . . . . .	23
4	Sammenligning av $R^2$ med og uten soner med høy formfaktor . . . . .	49
5	Sammenligning av $R^2$ med og uten sone 2 . . . . .	49
6	Sammenligning av $R^2$ med og uten sone 5 . . . . .	51
7	Sammenligning av $R^2$ med og uten sone 2 og 10 for satte case . . . . .	52
8	Resultat fra utprøving av formler ved simulering . . . . .	54
9	Dimensjon for soner . . . . .	vii
10	Dimensjon for vinduer . . . . .	vii
11	Resultat fra uskjermede soner, LT=50% . . . . .	viii
12	Resultat fra uskjermede soner, LT=70% . . . . .	ix
13	Resultat ved vertikal skjerm på venstre side, LT=50% . . . . .	x
14	Resultat ved vertikal skjerm på venstre side, LT=70% . . . . .	xi
15	Resultat ved vertikal skjerm på høyre side, LT=50% . . . . .	xii
16	Resultat ved vertikal skjerm på høyre side, LT=70% . . . . .	xiii
17	Resultat ved vertikal skjerm på begge sider, LT=50% . . . . .	xiv
18	Resultat ved vertikal skjerm på begge sider, LT=70% . . . . .	xv
19	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 6 meter mellom bygg, LT=50% .	xvii
20	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 8 meter mellom bygg, LT=50% .	xviii
21	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 10 meter mellom bygg, LT=50% .	xix
22	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 6 meter mellom bygg, LT=70% .	xx
23	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 8 meter mellom bygg, LT=70% .	xxi
24	Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 10 meter mellom bygg, LT=70% .	xxii
25	Resultat ved skjerming fra overhengende balkong, LT=50% . . . . .	xxv
26	Resultat ved skjerming fra overhengende balkong, LT=70% . . . . .	xxv
27	Input og resultat for beregning av uhindret himmelvinkel . . . . .	xxvii

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Dagslys blir ofte hensyntatt sent i en byggeprosess. Dette kommer av at regelverket er vagt og at det ikke er en enkel metode for å implementere dagslys i prosjektet når kun formen på bygget er prosjektert. Dette er ressurskrevende da fokus på dagslys kommer senere inn i prosjekteringsfasen enn ønsket. Å finne en metode for å implementere og inkludere dagslysberegninger tidligere i prosjekteringsfasen vil føre til effektivisering og sparte kostnader ved bruk av tid og ressurser. Denne oppgaven vil undersøke om det er en annen metode for å beregne dagslysfaktoren i et rom, som kan benyttes tidligere i prosjekteringsfasen.

## 1.2 Mål

Hovedmålet med oppgaven er å finne en metode for å beregne dagslys som kan benyttes i tidlig prosjekteringsfase. Hvordan kan denne metoden implementeres på et tidligere tidspunkt, slik at tidlige beslutninger ved prosjektering tar hensyn til dagslys? For å komme frem til dette er det satt delmål som kronologisk vil føre frem til hovedmålet:

- Undersøke metoder for å beregne dagslystilgang i rom og på fasade
- Identifisere programvare som er egnet til å arbeide med dagslys
- Undersøke sammenheng mellom innvendig dagslystilgang og utvendig dagslysforhold
  - Hva blir dagslysfaktoren påvirket av utvendig?
  - Er det en sammenheng mellom innvendig dagslysforhold og forskjellige utvendige faktorer?
  - Vil det være mulig å finne en fremgangsmåte som kan benyttes i flere skjermingstilfeller?
- På hvilken måte kan en eventuell metode bli benyttet tidligere i prosjekteringen? Vil det være nyttig?

## 1.3 Struktur

Opgaven er strukturert i 7 kapitler. Hvert kapittel tar for seg en del etter et typisk forskningsbasert format.

Kapittel 2 omhandler relevant teori for oppgaven. I dette kapittelet vil teori om dagslys og viktigheten av dagslys bli presentert. Videre blir relevant regelverk gjennomgått. I oppgaven er hovedfokuset beregninger ved bruk av dagslysfaktor, teorien bak dette blir forklart i detalj. Det er flere måter å beregne dagslys på, og noen av disse blir nevnt i mindre detalj. Kapittelet avsluttes med å forklare beregningskjerner i simuleringsprogrammer som brukes ved simulering for dagslys.

Oppgavens metodedel er presentert i kapittel 3. Her blir det benyttede simuleringsprogrammet, IDA ICE, present. I tillegg vil modellen og dens forutsetninger bli forklart. Videre vil kapittelet ta for seg hvilken metode som ligger til grunn for sensitivitetsanalysen.

I resultatdelen, kapittel 4, blir alle resultater presentert og analysert systematisk i samme rekkefølge som sensitivitetsanalysen fra kapittel 3. Analysen resulterer i en formel. Begrensninger for formelen blir presentert, i tillegg til at formelen blir prøvd ut ved ulike senarier.

Diskusjon er i kapittel 5. Her vil påliteligheten i resultatene bli diskutert. Flere av valgene som er tatt gjennom arbeidet med oppgaven vil også bli gjennomgått og diskutert. Hvordan vil valgene som er tatt påvirket den endelige resultatet i oppgaven?

Kapittel 6 inneholder konklusjonen i oppgaven. Det er flere forslag til videre arbeider som kan gjøres med oppgaven, disse er presentert i kapittel 7.

## 2 Teori

Dette kapittelet vil ta for seg relevant teori for oppgaven. Problemstillingen i oppgaven er å finne en metode for å beregne dagslys i tidligfase. Teorien som er lagt til grunn forklarer viktigheten av dagslys, i tillegg til hvordan en kan beregne dagslys og hvilke variablene som kan påvirke beregningene.

Det er forskjellige metoder for å beregne dagslys. I oppgaven er dagslysfaktor hovedfokus, men andre metoder for beregning av dagslys er også et tema. Beregningskjerner som er lagt til grunn for simuleringsverktøy er forklart i dette kapittelet.

### 2.1 Hva er dagslys?

Dagslys blir definert som den delen av solstråling som mennesker oppfatter som synlig lys, altså mellom 380 og 740 nm [1]. Dagslys er bredspektret sammenlignet med LED-lys og lysstoffrør. Det har kvaliteter i intensitet, spektrum, dynamikk og farge- og formgjengivelse, noe kunstig lys ikke har klart å erstatte i samme grad.

Kilden til dagslys i et punkt består av tre faktorer: refleksjon fra himmelen, refleksjon fra bygg og omliggende vegetasjon, samt refleksjoner inne i rommet. Dette er forklart nærmere i kapittel 2.5.3.

### 2.2 Hvorfor er det viktig?

I tillegg til å spare effektbruk til belysning er dagslys viktig for helse, trivsel og produktivitet og det har et arkitektonisk perspektiv. I Norge, som i mange andre vestlige land, tilbringes det mye tid inne. Da er det viktig å ha god tilgang på dagslys i bygg.

I 2017 vant Jeffery C. Hall, Michael Rosbash og Michael W. Young Nobelprisen innen fysikk og medisin for sine oppdagelser av molykylære mekanismer som styrer den circadiske rytmen. Gjennom forskning fant de hvordan dagslys er med å påvirke døgnrytmen til alle flercellede organismer, inkludert mennesker. Når den circadiske rytmen er velkalibrert blir biologien vår tilpasset døgnets faser og regulerer blant annet søvn, matinntak, blodtrykk og kroppstemperatur [2].

Lys påvirker også utskillelse av søvnhormonet melatonin i hjernen. Ved eksponering for lys innenfor 446 og 477 nm blir utskillelsen av melatonin redusert hos mennesker [3]. På denne måten kan lyseksponering bidra til døgnrytmeforstyrrelser. For å tilfredsstille døgnrytme-reguleringen er det anbefalt å bli eksponert for dagslys i minst 30 minutter før klokken 12 hver dag.

Med bakgrunn i dette er det viktig å etterstrebe arkitektur som er basert på dagslysgesign. Om man designer med dagslys som et perspektiv vil det være positivt for brukernes biologiske behov. Et samspill mellom naturlig lys og kunstig belysning vil sikre visuell komfort i bygg.

## 2.3 Krav og anbefalinger

Dette delkapittelet vil ta for seg regelverk og anbefalinger for dagslys. Idag er det kun krav fra TEK 17 som er lovbelagt i Norge. Dette delkapittelet vil også presentere fremgangsmåter og anbefalinger fra NS-EN 17037 “Dagslys i boligbygg” og BREEAM.

NS-EN 17037 og BREEAM er ikke lovpålagt å følge i Norge. NS-EN 17037 ble publisert i 2018 som den første standarden for dagslys. BREEAM er et miljøsertifiseringsverktøy som er blitt mer og mer vanlig å bruke.

### 2.3.1 TEK17

Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har gitt de gjeldende kravene til dagslys i TEK 17. § 13-7 gir kravene for dagslys. Den gir at “Rom for varig opphold skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys”. Etter § 1-3 i TEK regnes stue, kjøkken, soverom og tilsvarende rom som rom for varig opphold. Veiledning om tekniske krav til byggverk, VTEK, gir preaksepterte ytelser etter §13-7.

VTEK gir to metoder for å oppfylle krav til dagslys i boliger [4]:

1. Den gjennomsnittlige dagslysfaktoren i rommet skal være  $\geq 2\%$ . Dette skal dokumenteres med beregninger av det mest kritiske rommet med tanke på dagslysforhold. Dette gjøres ved bruk av simuleringsverktøy validert etter CIE 171:2006 og forutsetninger gitt i NS-EN 12464-1:2001 kapittel 4.4.
2. Forutsetter at det er fri horisont i en vinkel på mer enn  $45^\circ$  målt fra horisontalplanet. Om forutsetningen er oppfylt er det mulig å benytte formel 1 for vindusareal for å oppfylle kravet.

$$A_g \geq 0,07 * \frac{A_{BRA}}{LT} \quad (1)$$

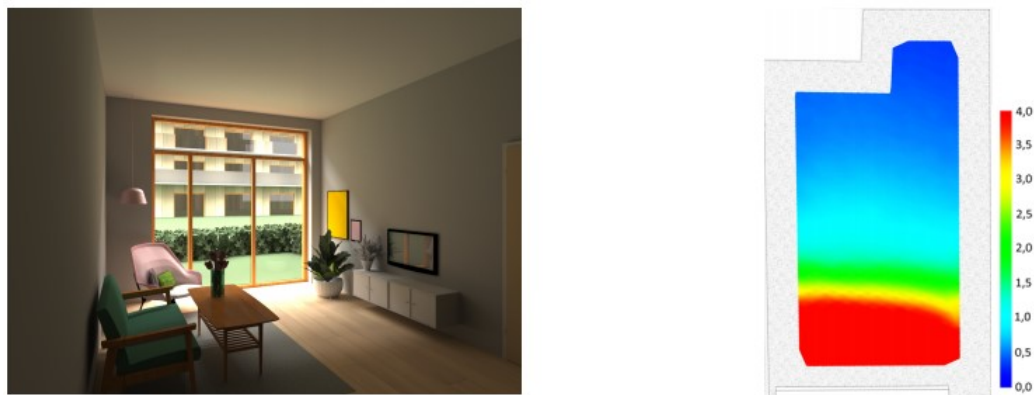
Hvor:

$A_g$	Glassareal mot det fri som er plassert minimum 0,8 m over rommets gulv og som ikke er i lysgrav
$A_{BRA}$	Rommets bruksareal inkludert areal under overliggende balkong eller andre lignende utkragede bygningsdeler i rommets bredde utenfor vindusfasaden
LT	Glassets lystransmisjon

Ved bruk av metode 1 er det nødvendig å benytte simuleringsverktøy for å undersøke om den preakseptable ytelsen er tilfredsstillt. Dette er fordelaktig for å få et godt bilde av realistisk dagslys i rommet. Det vil også være positivt for å se på skyggesituasjonene som oppstår ved nærtliggende bygninger, terreng og vegetasjon.

Det er mye diskusjon rundt metode 2 for å oppfylle ytelsene til dagslys i et rom. Bakgrunnen for diskusjonene er at forholdet mellom vindusareal og bruksareal i et rom ikke forteller noe om reelt dagslys i rommet. Dette er også vist ved simuleringer, som figur 1 og 2 viser. Figur 1 viser dagslys i et rom som følger metode 1 og oppfyller gjennomsnittlig

dagslysfaktor på 2%. Figur 2 viser dagslys i det samme rommet som følger metode 2 og oppfylder forutsetningene i formel 1. Figurene illustrerer en betydelig forskjell ved de to metodene i dette eksempelet.



Figur 1: Dagslys i rom etter metode 1 [5].

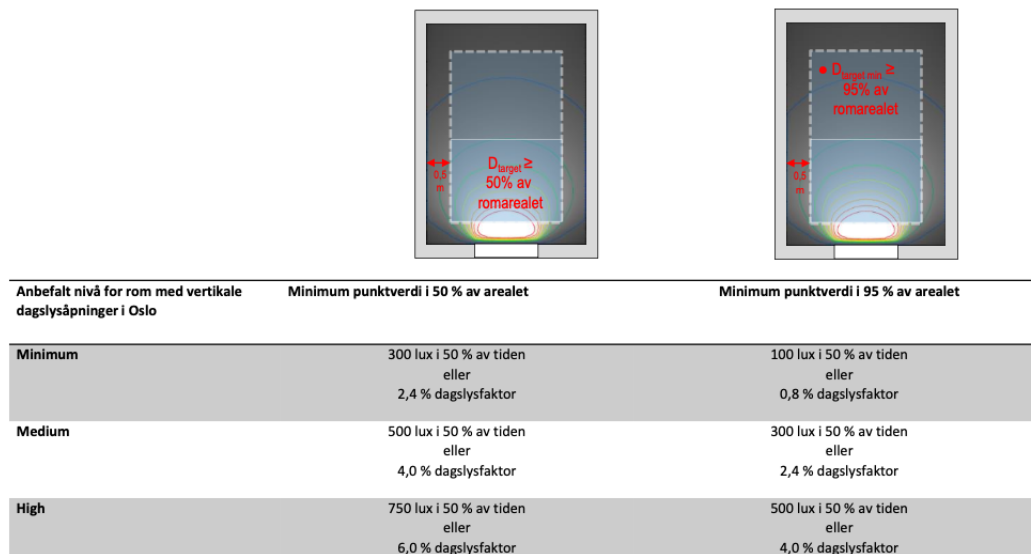


Figur 2: Dagslys i rom etter metode 2 [5].

Den alternative metoden for boliger ble, ifølge Norsk Lysteknisk Komite (NKL), laget for å kunne brukes på mindre rom, men i dag er det ingen restriksjoner med tanke på areal ved bruk av metoden. NLK uttaler at med dagens lave krav til U- og g-verdier vil rom som er beregnet etter denne metoden ikke oppfylle krav til dagslys [6].

### 2.3.2 NS-EN 17037

NS-EN 17037 ble utgitt i 2018 som en ny standard med tittelen “Dagslys i bygninger”. I standarden er det delt inn i tre nivåer for anbefalt mengde lys i rom: minimum, medium og høy. Mengden lys måles i lux eller som dagslysfaktor. Dette kan oppfylles i 50% eller 95% av rommet. Kravet for 50% av arealet er minimum 300 lux i 50% av tiden eller 2,4% dagslysfaktor. Ved 95% av arealet er anbefalingen 100 lux 50% av tiden eller 0,8% dagslysfaktor. Anbefalingen er høyere ved beregning av 50% av rommet enn for 95% av rommet. Anbefalingene for de forskjellige nivåene er vist i figur 3.



Figur 3: Utklipp fra NS-EN 17037 [5].

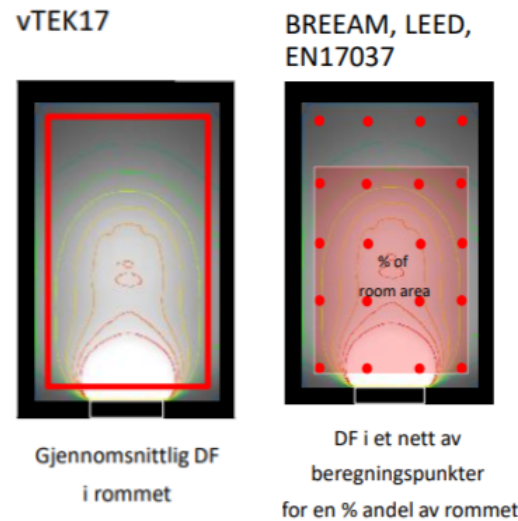
### 2.3.3 BREEAM

BREEAM er et sertifiseringsprogram innen bærekraft. Bygninger får poeng ut fra oppnåelse av kriterier i forskjellige kategorier. For å få BREEAM-poeng må prosjektet dokumentere at kriterier er innfridd. Sertifiseringen har fem nivåer; Pass, Good, Very Good, Excellent og Outstanding, hvor bærekraftsnivået øker med hvert nivå [7].

Sertifiseringsprogrammet benyttes i over 80 land, og er et stempel på hvor bærekraftig et bygg er [8]. I Norge forholder vi oss til BREEAM-NOR, som er den norske tilpasningen av sertifiseringen. BREEAM-NOR 2016 er den gjeldende norske veiledningen. Innenfor kategorien dagslys er det mulig å oppnå 4 poeng for boligbygg og 2 poeng for næringsbygg [9]. Kravene i BREEAM-NOR er gjengitt i vedlegg A.1.

I BREEAM måles dagslys i et nett av beregningspunkter for en prosent-andel av rommet, som vist på figur 4. Figuren viser hvilket prinsipp som blir brukt for beregning av dagslys etter TEK 17, med gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet og hvilket prinsipp som blir brukt i BREEAM, LEED (amerikansk sertifisering av bærekraftige bygg) og NS-EN 17037.





Figur 4: Metode for beregning av dagslys etter veiledning, sertifiseringsprogram og standard [5].

## 2.4 Dagslysfaktor

Dette kapittelet vil ta for seg teorien bak de viktigste variablene for å beregne dagslysfaktor.

Dagslysfaktor (DF) er satt sammen av tre komponenter: himmelkomponent (HK), utereflektert komponent (URK) og innereflektert komponent (IRK), som vist i formel 2. Formelen viser at beregningen av dagslysfaktor i et punkt kun avhenger av refleksjoner. Hver type refleksjon er nærmere forklart i kapittel 2.5.3 Refleksjon.

$$DF = HK + URK + IRK \quad (2)$$

TEK 17 sier, som forklart i kapittel 2.3 at minstekravet for dagslys i et rom for varig opphold er gjennomsnittlig dagslysfaktor lik 2%. Simuleringsverktøyet må være validert etter CIE 171:2006. Hva CIE 171:2006 betyr er forklart nærmere i delkapittel 2.4.3 under.

Dagslysfaktor kan benyttes til å beregne dagslys på flater både inne og ute. Det er mest vanlig å benytte denne faktoren til å beregne dagslys inne.

### 2.4.1 Intern dagslysfaktor

I denne oppgaven vil intern dagslysfaktor referere til dagslysfaktor inne i et rom.

Intern dagslysfaktor er forholdet mellom horisontal luminans inne og horisontal luminans ute [10]. Dette er en av de mest brukte metodene for å beregne innvendig luminans fra dagslys [11]. Metoden er definert som forholdet mellom innvendig luminans på et punkt av overflaten og en samtidig utvendig horisontal luminans ved en CIE generert overskyet himmel [6].

Faktoren kan beregnes ved bruk av formel 3 eller gjennom simuleringsprogram.

$$iDF = \left( \frac{E_{in}}{E_{ext}} \right) * 100[\%] \quad (3)$$

Hvor:

$iDF$  Intern dagslysfaktor  
 $E_{in}$  Innvendig belyningsstyrke  
 $E_{ext}$  Utvendig belyningsstyrke

Intern dagslysfaktor er gitt i prosent. Forholdet mellom innvendig og utvendig luminans er gyldig til enhver tid. Ved bruk av formelen må målingen av innvendig og utvendig belyningsstyrke gjøres likt. Dette kommer av at det regnes over en CIE overskyet himmel, der forholdene er like til enhver tid, som forklart nærmere i delkapittelet 2.4.3.

Intern dagslysfaktor avhenger av flere variabler, både utenfor og inne i rommet. Variablene utenfor rommet vil være elementer som kan skjerme for eller reflektere stråling. Er det bygninger som skjermer for lysinnslipp? Hvordan er vegetasjonen i området? Er det noen trær som skjermer foran vindu? Har nabobygg fasade som reflekterer stråler inn i rommet? Innad i rommet vil den interne dagslysfaktoren avhenge av vinduets størrelse, hvilke egenskaper glasset har, hvilke farger og materialer som er valgt i rommet og hvilke refleksjonsegenskaper disse har. I kapittel 2.5 vil påvirkningene til dagslysfaktoren forklares nærmere.

#### 2.4.2 Ekstern dagslysfaktor

Ekstern dagslysfaktor refererer til dagslysfaktor på fasade. Det kan også bli kalt vertikal dagslysfaktor, men i denne oppgaven vil det blir referert til som ekstern dagslysfaktor.

I motsetning til intern dagslysfaktor vil den kun avhenge av variabler ute. Dette vil være skjermende elementer som bygg og vegetasjon. Hvilken reflektansverdi overflaten på skjermingen har vil påvirke grad av stråling for utereflektert komponent.

$$eDF = \left( \frac{HK * URK}{E_{ext}} \right) * 100[\%] \quad (4)$$

Hvor:

$eDF$  Ekstern dagslysfaktor  
 $HK$  Himmel komponent  
 $URK$  Utereflektert komponent  
 $E_{ext}$  Utvendig belyningsstyrke

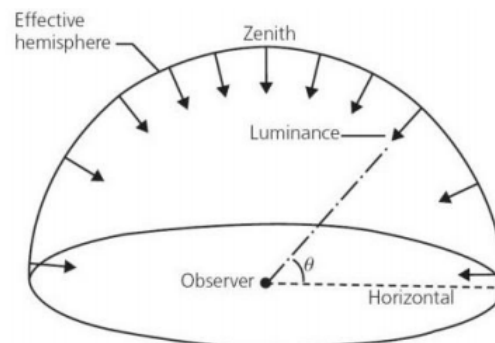
Formel 4 viser hvordan en kan beregne ekstern dagslysfaktor. En kan også benytte simuleringsprogram for å beregne faktoren. Himmelkomponent og utereflektert komponent viser til refleksjoner ute som treffer fasaden. Forholdet mellom disse refleksjonene og utvendig luminans gir ekstern dagslysfaktor.

### 2.4.3 CIE himmel

Simuleringer for dagslysfaktor gjøres ved statistisk analyse. Ved statistiske analyser er klima- og værforholdene like til enhver tid. Kravet for simulering av dagslysfaktor er at det simuleres med en CIE overskyet himmel, som nevnt i kapittel 2.3.1. En CIE overskyet himmel er overskyet i alle retninger [11].

Det finnes 15 forskjellige typer "CIE Standard General Sky". De har forskjellig luminans basert på lokasjon. Lysfordelingen er avhengig av høydevinkelen på solen, men uavhengig av solen sin posisjon. Med bakgrunn i dette er det viktig å bruke riktig geografisk lokasjon av et bygg ved simuleringer [11].

Ved denne himmelmodellen er det ikke forskjell i mengde sol i de forskjellige himmelretningene, altså vil en fasade i retning øst ha like stor tilgang på dagslys som en fasade i retning vest. Luminansen er til enhver tid tre ganger høyere i senit enn i horisont. Dette betyr at sterk stråling i horisont, som er reelt når solen er på vei opp og ned, ikke vil bli tatt hensyn til [5]. Ved simulering gir en "CIE Standard General Sky" en minimal mengde dagslys. Dette er basert på sammenligningen av en overskyet himmel med en klar himmel.



Figur 5: Illustrasjon av CIE himmel [12].

### 2.5 Lynes formel

J. Lynes utviklet en formel for å beregne gjennomsnittlig dagslysfaktor. Tidligere var gjennomsnittlig dagslysfaktor beregnet som et gjennomsnittet av dagslysmålinger på flere punkter i et plan [13]. Idag brukes Lynes formel, formel 5, til å kontrollere validiteten av simuleringer gjort i program.

$$\overline{DF} = \frac{A_{glass} T_{vis} \Theta}{A_{total} 2(1 - R_{gjennomsnitt})} \quad (5)$$

Hvor:

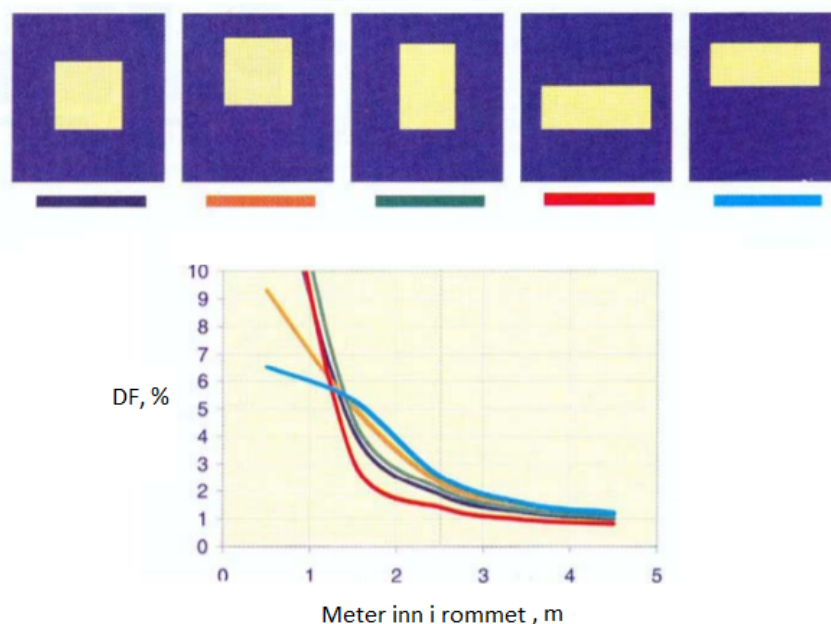
$\overline{DF}$	Gjennomsnittlig dagslysfaktor
$A_{glass}$	Glassareal, $m^2$
$T_{vis}$	Lystransmisjon for glasset
$\Theta$	Uhindret himmelvinkling, $^\circ$
$A_{total}$	Totalt areal, $m^2$
$R_{gjennomsnitt}$	Arealvektet gjennomsnittlig overflaterreflektans for alle innvendige flater

Lynes formel har flere variable påvirkninger. De neste delkapitlene går nærmere inn på noen av variablene i formelen.

### 2.5.1 Vindu

Plassering av vindu og glassets egenskaper regulerer hvor mye lys som slippes inn i et rom. Plassering av vinduet på veggen vil påvirke hvor langt inn i rommet lys vil stråle, mens glasset kan ha forskjellige egenskaper som kan regulere hvor mye lys som reflekterer gjennom det. Egenskapene er blant annet lystransmisjon og g-verdi.

Plassering av et vindu avgjør hvordan virkning det har på rommet. Ved plassering av vindu høyt på veggen er målet å få mest mulig lys lengst mulig inn i rommet. Et vindu som er plassert midt på veggen vil ha til hensikt å gi utsyn og slippe inn dagslys. Hvor langt inn i rommet lyset vil nå avhenger av form og plassering av vindu, i tillegg til refleksjonsfaktor på flatene inne i rommet. Dette er illustrert i figur 6.



Figur 6: Sammenheng mellom vinduets form og plassering og dagslys inn i rommet [14]

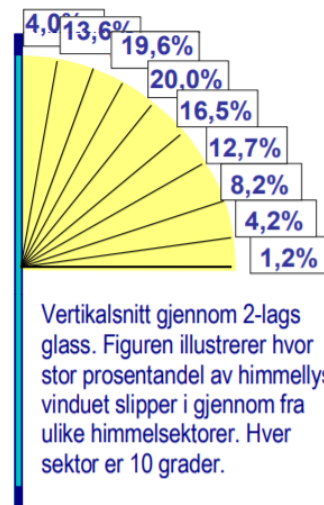
Figuren illustrerer sammenhengen mellom dagslysfaktor inne i rommet og form og plassering av vindu [14]. Grafen i figuren viser tydelig påvirkningen av vinduets form og plassering. Dette vises spesielt for vinduene som er markert med rød og turkis, hvor det er benyttet det samme vinduet, men plasseringen er forskjellig. Her vises det at et høyt plassert vindu vil bringe lys lengre inn i rommet enn et lavere plassert vindu. Ved et lavt

plassert vindu vil det derimot være lysere nærmere vindusveggen. Hvor mye stråling som transmitteres gjennom vinduet avhenger av blant annet lystransmisjon i glasset.

Lystransmisjon beskriver hvor stor prosentandel av strålingen som passerer gjennom et vindu [15]. Glass med lav lystransmisjon kan ha soldempende egenskaper og kan være et godt alternativ ved tilfeller som er sensitive for blinding. Glass med høy lystransmisjon oppleves ofte som klare, gir godt utsyn og godt lysinnslipp. Men det finnes også glass som er frostet med høy lystransmisjon [16].

Hvor mye lys som reflekteres av glassflaten vil kunne si noe om glassets lystransmisjon. Høy lysrefleksjon gir lav lystransmisjon, og motsatt. I tilfeller der en vil ha mest mulig lys inn i rommet er det lav lysrefleksjon og høy lystransmisjon som er ønsket. I tilfeller der en vil ha minst mulig lys inn i rommet er høy lysrefleksjon og lav lystransmisjon ønsket.

Det er mulig å velge glass i forskjellige farger, dette gjøres ved å endre g-verdi i glasset. G-verdien vil gjøre glasset selektivt for hvilke bølgelengder som reflekterer gjennom. Lys som transmitteres gjennom et farget glass vil få en fargeforvrenging og påvirke hvordan fargene i rommet oppfattes [16].



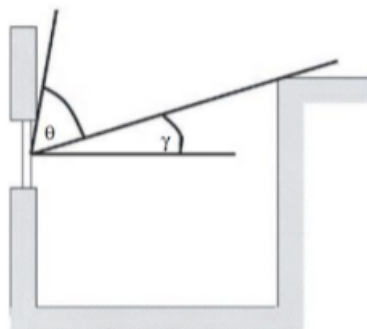
Figur 7: Påvirkning av refleksjon på himmelvinkel [14]

Stålingens innfallsvinkel på vinduet vil påvirke den faktiske transmisjonsverdien. Lystransmisjonen er sterkest ved ca.  $40^\circ$  ved vertikale vinduer [14]. Dette er illustrert på figur 7. Med bakgrunn i dette vil plassering av skjermende bygg og elementer ha stor innvirkning på hvor mye naturlig dagslys som slipper inn i et rom. Om store deler av området utenfor vinduet skjermer for stråling, kan dette hindre strålingen i å treffe vinduet i den vinkelen hvor det transmitteres i størst grad.

### 2.5.2 Uhindret himmelvinkel

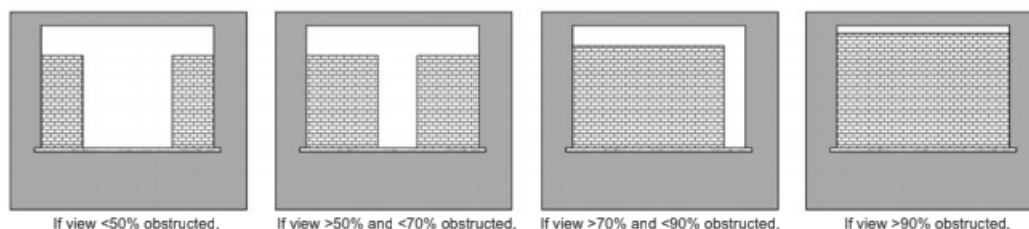
Uhindret himmelvinkel,  $\theta$  er den vertikale vinkelen mellom det laveste og høyeste punktet på himmelen som er synlig fra midten av vinduet. For et vertikalt vindu kan denne vinkelen

være mellom  $90^\circ$  og  $0^\circ$ . Vinkelen vil være lik  $90^\circ$  når det ikke er noe som skjermer for himmelen, mens den vil være lik  $0^\circ$  når en ikke kan se noe av himmelen. Figur 8 illustrerer uhindret himmelvinkel med symbolet  $\theta$ .



Figur 8: Uhindret himmelvinkel [17]

Figur 9 viser forskjellig grad av uhindret himmelvinkel. De forskjellige skjermingstilfellene vil ha stor innvirkning på den uhindrede himmelvinkelen. I praksis vil det påvirke hvor mye stråling som treffer vinduet i rommet.



Figur 9: Uhindret himmelvinkel [18]

Britiske BRE (Building Research Establishmen) har en generell veiledning for grad av hindret himmelvinkel. Denne er gjengitt i tabell 27 under [19]:

Tabell 1: Resultat ved grad av uhindret himmelvinkel

$65^\circ \leq \theta$	Tilfredsstillende daglys i rom
$45^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$	Behov for spesielle tiltak for å oppnå tilfredsstillende daglys i rom
$25^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	Vanskelig å oppnå tilfredsstillende daglys i rom, selv med spesielle tiltak
$0^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$	Ansees som umulig å oppnå tilfredsstillende daglys i rom

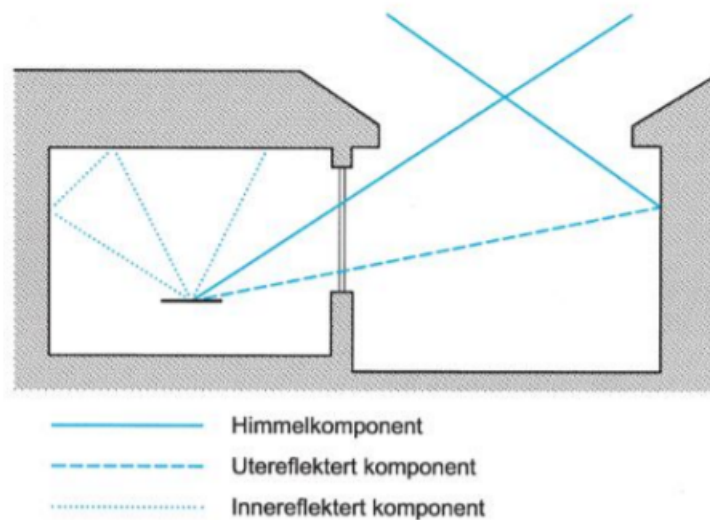
Det er funnet at ved uhindret himmelvinkel større enn  $65^\circ$  vil en kunne få tilfredsstillende daglys ved bruk av tradisjonelt vindusdesign. Ved vinkel mindre enn  $65^\circ$  må en utføre tiltak. Tiltak kan være større vinduer eller størrelse og formfaktor på rommet. Ved vinkel mindre enn  $25^\circ$  ansees det som umulig å oppnå gode dagslysforhold i rommet.

### 2.5.3 Refleksjon

Refleksjon er i fysikken hvordan et legeme eller en bølge blir kastet tilbake når det treffer en flate. Innenfor temaet daglys er det tre typer refleksjon som er relevant:

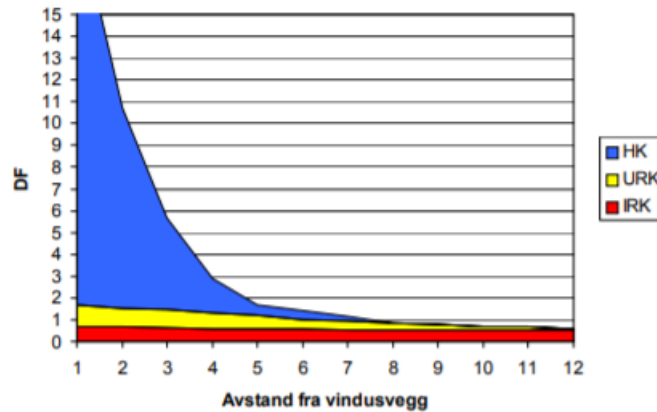
- Himmelkomponent
- Utereflektert komponent
- Innereflektert komponent

Himmelkomponent er stråler direkte fra himmel til objekt. Disse strålene treffer ingenting annet før det treffer objektet. Utereflektert komponent er direkte stråler som treffer et punkt i omgivelsene ute. Dette kan være blant annet bygninger eller vegetasjon. Derfra reflekteres strålene videre. Dette er utereflektert komponent. Innereflektert komponent er stråler som reflekterer fra en overflate inne. Figur 10 illustrerer de forskjellige refleksjonene.



Figur 10: Refleksjon [20]

De tre komponentene påvirker både intern og ekstern dagslysfaktor. Figur 11 illustrerer komponenten sin påvirkningen på dagslysfaktor ved forskjellig avstand fra vindusveggen. Himmelkomponent er den type stråling som er sterkest og påvirker dagslysfaktoren i størst grad, dette kan sees av figuren. Utereflektert og innereflektert komponent har svakere stråling og påvirker dagslysfaktoren i mindre grad. Påvirkningen av hver stråle reduseres for hver gang den blir reflektert. I dype rom vil det være innereflekterte komponenter som påvirker lengst inn i rommet, da himmelkomponent og utereflektert komponent ikke vil rekke langt inn i et rom uten å reflektere i noe annet.



Figur 11: Dagslys inn i rom [14]

Hvor mye lys som blir reflektert avhenger av refleksjonsverdien til overflaten det reflekteres fra. Standard refleksjonsverdier er gitt i A.2. Et generelt utgangspunkt er at lyse flater reflekterer mye, mens mørke farger reflekterer lite.

Intern dagslysfaktor vil avhenge av de tre komponentene, i tillegg til egenskapene til vindusglasset, vinduets størrelse og form og hvordan omgivelsene rundt er. Ekstern dagslysfaktor vil hovedsaklig avhenge av himmelkomponent og utereflektert komponent. I tillegg vil omgivelsene og skjermingen rundt flaten som beregnes påvirke ekstern dagslysfaktor.

## 2.6 Alternative metoder for å beregne dagslys

Den foregående metoden for å beregne dagslys er en statisk analyse. En kan også beregne dagslys i et rom ved dynamisk analyse. Ved en dynamisk analyse tar en hensyn til lokasjon og geografiske klimadata. Innenfor daglys kalles disse simuleringene klimabaserte dagslyssimuleringer (CBDM).

### 2.6.1 Klimabasert dagslyssimulering

CBDM ble utarbeidet i 2006 av Mardaljevic og har fortsatt ikke en formell definisjon [21]. Ved bruk av lokasjons spesifikke klimadata vil CBDM gi et god bilde av faktisk dagslys i et bygg. Ved denne typen simuleringer vil også byggets orientering bli hensyntatt.

Ved CBDM er det mest vanlig å bruke daylight autonomy (DA) og useful daylight illuminance (UDI) som dagslys indikatorer [21]. Sammenlignet med vurderingsmetodene i TEK 17 er forskjellen at DA og UDI tar hensyn til variasjon i dagslys og hva som oppfattes som tilfredsstillende dagslys for brukerne.

### 2.6.2 Sky View Factor

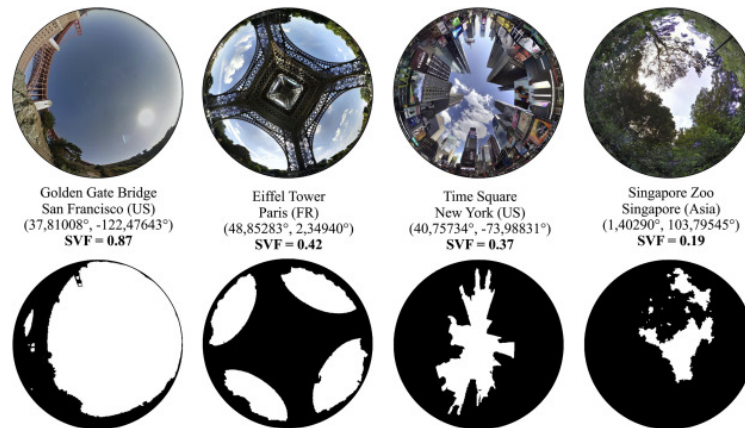
Sky View Factor (SVF) kan sammenlignes med uhindret himmelvinkel, som er forklart i kapittel 2.5.2. Det blir ofte brukt til urban planlegging, men kan også bli brukt til å se på tilgangen til dagslys fra et punkt. SVF representerer forholdet på et punkt i rommet mellom den synlige himmelen og hemisfæren sentrert over analyselokasjonen. Faktoren er gitt i prosent eller som en vinkel. Ved prosent betyr  $SVF = 0 \%$  at en ikke ser noe av



himmelen fra punktet, når SVF er et tall mellom 0 og 100 % er himmelen delvis blokkert og  $SVF = 100\%$  betyr at det ikke er noe som blokkerer for himmelen [22]. Ved SVF blir ikke reflektert lys hensyntatt.

Det er forskjellige metoder for å beregne SVF. Tidligere ble geometriske egenskaper brukt, som vinkler og forholdet mellom høyde og bredde. Nå er det mer normalt å bruke vektorbaserte simuleringer i programvare. Dette er mer effektivt da SVF vil være forskjellig for forskjellige punkt på fasaden. Denne typen programvare kan ta inn data om bygningene rundt og beregne hvor mye av himmelen som er synlig fra et flertalls punkter på bygningskroppen [23].

Punktene befinner seg normalt på fasaden. En vertikal vegg kan maksimalt ha 50% SVF da det alltid vil være skjerming fra høyere opp på veggen. Et tak kan derimot ha opp til 100% SVF [16].



Figur 12: Sky View Factor [23].

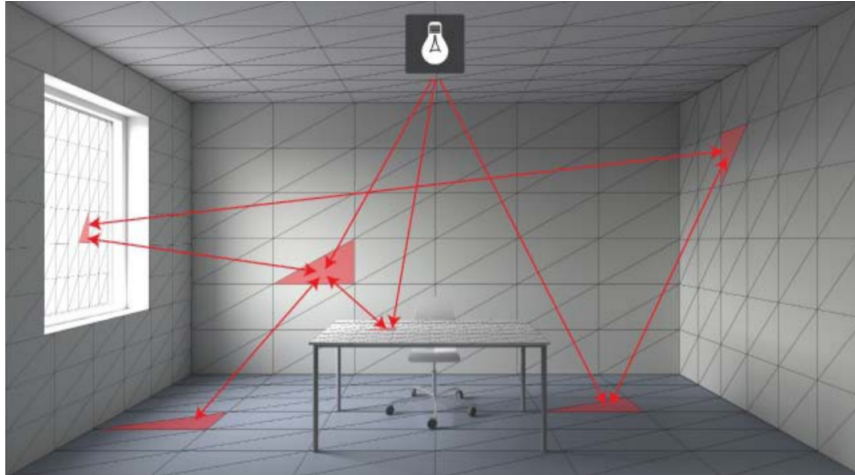
Figur 12 viser teorien bak SVF. Bildene er tatt med bredvinklet linse fra et punkt og viser hvor mye av himmelen som blir skygget for av konstruksjoner og vegetasjon. Ved å dele antall pixler i området som ikke er skravert (hvitt) på de nederste bildene på totalt antall pixler vil dette gi en prosentverdi som representerer SVF. På samme måte fungerer dataprogrammene som simulerer verdien for SVF i hvert punkt.

## 2.7 Beregningskjerner

Simuleringsprogrammer bruker forskjellige beregningsalgoritmer. De to som er mest brukt er presentert i dette kapittelet. Ved å se på hvordan de forskjellige beregningsalgoritmene fungerer kan en også se hvilke fordeler og begrensninger programmet har.

### 2.7.1 Radiosity

Ved beregningskjernen radiosity følger en lyset fra kilde til flate, hvor det reflekteres videre fra en flate til den neste. Prinsippet er vist i figur 13. Alle flater i et rom reflekterer energien videre, men grad av refleksjon avhenger av overflaten sin reflektansfaktor [16].



Figur 13: Beregningskjernen ved radiosity [24].

Ved bruk av denne beregningskjernen kan flater deles inn i mindre delflater, kalt mesh, eller de kan være i sin opprinnelige størrelse. Å beregne en større flate uten mesh vil gi unøyaktige resultater. Dette kommer av at alt lys som treffer denne flaten vil bli reflektert ut fra senter av flaten. Ved å bruke mindre delflater, og lage et mesh bestående av mindre elementer, vil resultatene bli mer nøyaktige da lyset vil bli reflektert fra samme område på som det treffer [24].

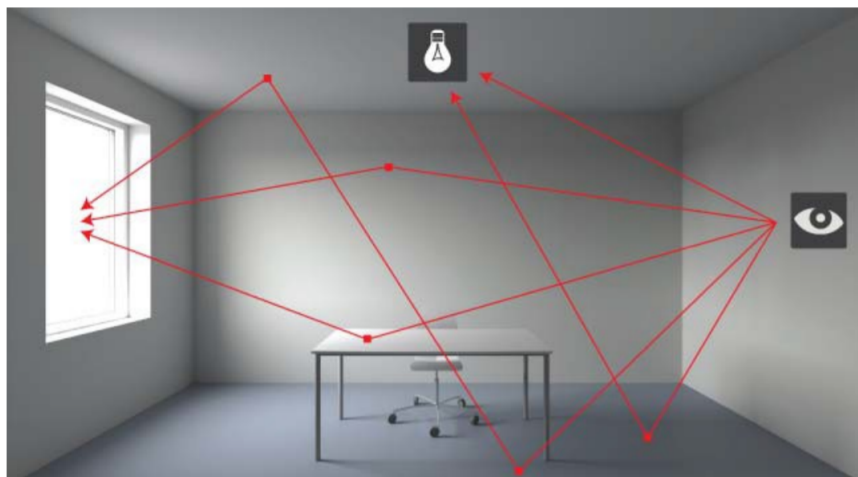
Radiosity bør kun bli brukt til å vurdere enkle rom [16]. Dette kan begrunnes med at mange av strålene som kilden sender ut ikke vil treffe det aktuelle måleplanet.

### 2.7.2 Raytracing

Med beregningskjerner som benytter raytracing kan en ta hensyn til speilende refleksjoner. Dette gjør at denne typen beregningskjerner er mer egnet for avanserte rom, da den gir en bedre gjengivelse av komplekse overflater [16].

Det er to måter å bruke raytracing, forward raytracing og backward raytracing. Ved forward ray tracing følger en alle lyspartiklene fra lyskilden til objektet. Dette sees på som en ueffektiv metode, da mange av lyspartiklene ikke vil treffe det aktuelle objektet. Mange av strålene vil derfor være unødvendige for å danne det endelige bildet [25].

Backward raytracing er mer effektivt enn forward raytracing. Det kan forklares ved at en følger strålen fra objekt til lyskilden, som vist i figur 14. Ulempen med denne metoden er at den ikke er like egnet der lyskilden er vanskelig å finne. Eksempler på dette kan være bruk av lyspiper eller konkave og konvekse flater som vil spre lyset på en annerledes måte enn for eksempel vindusglass [16] [25].



Figur 14: Beregningskjernen ved backward raytracing [24].

## 3 Metode

Dette kapitlet vil ta for seg metoden som er brukt i arbeidet med oppgaven. Først vil simuleringsprogrammet som er tatt i bruk bli presentert og valget av dette programmet bli begrunnet. Deretter vil modellen som er tatt i bruk bli forklart. Det er tatt en rekke forutsetninger for å kunne utføre simuleringene. Disse er forklart i et eget delkapittel. Det er et eget kapittel som forklarer hvordan arbeidet kom i gang, hvilke sammenhenger som er funnet og hvordan disse ble funnet. Siste delkapittel tar for seg oppbygningen av de forskjellige casene som er brukt i en sensitivitetsanalyse.

I simuleringsprogram kan en finne dagslysfaktor i et punkt og som et gjennomsnitt mellom flere punkt. En kan simulere for å finne dagslysfaktor på ønsket flate både innvendig og utvendig. For å skille de to faktorene fra hverandre er dagslysfaktor inne i et rom referert til som intern dagslysfaktor, mens dagslysfaktor på fasade er referert til som ekstern dagslysfaktor. Når det referes til intern og ekstern dagslysfaktor er det alltid snakk om gjennomsnittlig dagslysfaktor, ikke dagslysfaktor i et punkt.

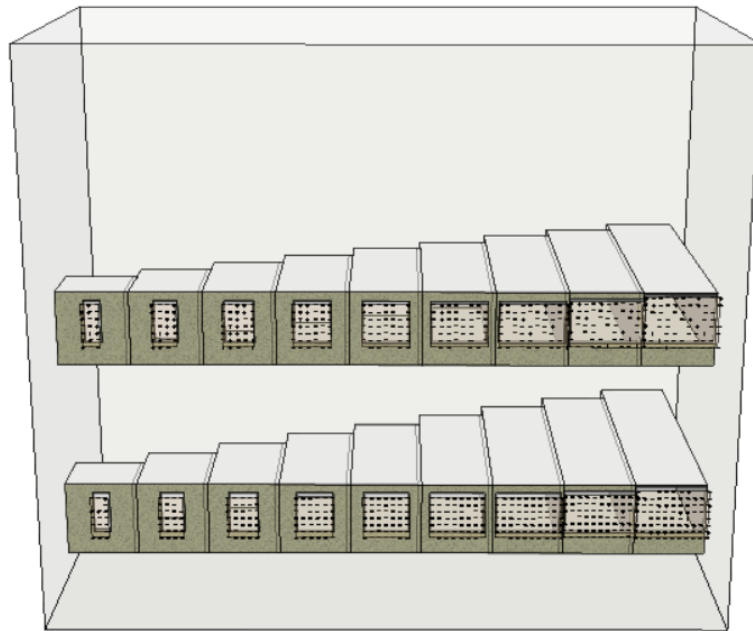
### 3.1 IDA ICE

For å se resultater ved bruk av dagslysfaktor vil simuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy simulation software (IDA ICE) bli brukt. IDA ICE er et simuleringsverktøy utviklet av EQUA Simulation AB. I denne oppgaven er versjon 5.0 benyttet, dette er en betaversjon av programmet. IDA ICE er utviklet for å studere termisk inneklimate og energibruk i bygg [26]. Programmet har også en egen modul for beregning av dagslys. Beregningene i denne modulen er basert på backward raytracing som er forklart nærmere i kapittel 2.7.2 [27]. Programmet kan beregne flere dagslysindikatorer, men i denne oppgaven er kun dagslysfaktor benyttet.

Flere simuleringsprogrammer ble vurdert til masteroppgaven. Etter å ha prøvd andre programmer ble det konkludert med at IDA ICE passet best. Dette er fordi IDA ICE kan benyttes til å se på de ønskede parameterne som er aktuelle for denne oppgaven, samtidig som programmet har et enkelt brukersnitt. I tillegg er det mye informasjon tilgjengelig på EQUA sine forum og utviklerne av programmet har vært svært hjelpvillige ved problemer eller bugs ved programvaren.

### 3.2 Modell

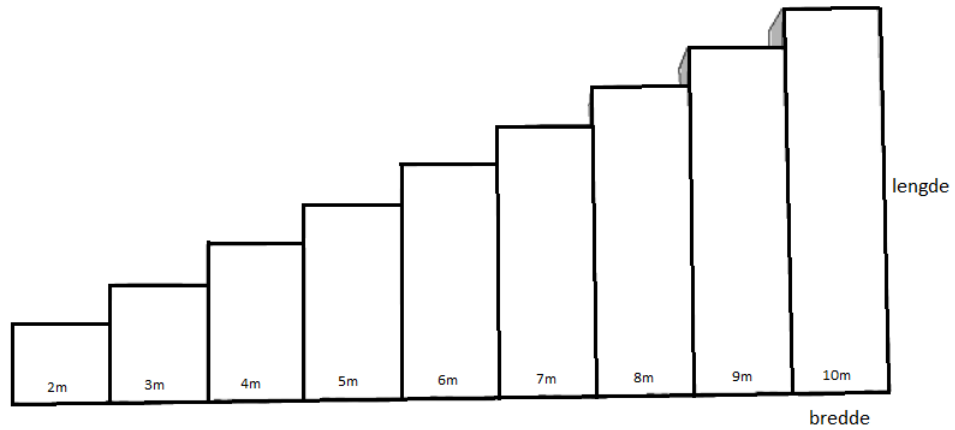
Det er jobbet med en metode som skal kunne forutsi intern dagslysfaktor tidlig i prosjekteringsfase. For å kunne forutsi om dette vil være reelt i flere tilfeller er det jobbet med en basismodell som blir utsatt for en rekke utvendige påvirkninger.



Figur 15: Modell brukt i sensitivitetsanalyse

Modellen er vist i figur 15. Den består av totalt 18 soner, 9 soner fordelt på to etasjer. Den nederste rekken med soner vil videre bli referert til som 1. etasje, mens den øverste vil bli referert til som 2. etasje. Med unntak av plassering i bygningskroppen er sonene i de to etasjene identiske.

Sonene har forskjellig dybde, som vist i figur 16. Utgangspunktet for å finne en metode var å lage soner som oppfyller minimumskravet til intern dagslysfaktor på minimum 2%. For å oppnå dette ved forskjellig romdybde har vinduene i sonene forskjellig størrelse. Vindusarealet forutsetter et utgangspunkt med fastsatt høyde lik 1,5 meter, men med varierende bredde. Bredden vil variere frem til maksimal bredde er nådd, som er lik rommets bredde. Når maksimal bredde er nådd vil høyden på vinduet bli påvirket. Formfaktor for soner er gitt ved lengde delt på bredde, som vist i formel 6. Bredden av rommet er veggvinduet er plassert på. Lengde og bredde for vindu er vist i vedlegg B.4. Sonene er vist grafisk i figur 16 under.



Figur 16: Soner i IDA ICE

$$ff_g = \frac{l}{b} \quad (6)$$

Alle sonene har lik høyde og bredde, men dybden varierer. Den minste sonen er 2 meter lang, mens det største er 10 meter lang. Lengden øker med en meter per sone. Alle sonene er 2,5 meter brede. Vindusstørrelsen øker med dybden for å oppfylle minimumskravet til dagslys. Tabell i vedlegg B.4 viser størrelser på soner og vinduer. Sonene vil bli referert til ut fra hvilken dybde de har. Når det refereres til sone 4, er dette sone med dybde 4 meter. Sone 2 og sone 10 er de to ytterste sonene i hver sin ende.

### 3.3 Forutsetninger

For å kunne utføre simuleringene er det satt forutsetninger til modellen og beregningene.

Refleksjonsfaktor for flater er hentet fra RIF sin dagslysveileder. Disse er gjengitt i vedlegg A.2. Refleksjonsfaktorene til materialene som er brukt i denne oppgaven er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Refleksjonsfaktorer brukt i modell

Bygningsdel	Farge	Refleksjonsfaktor [%]
Yttervegg	Patinert treverk	40
Innervegg	Lys grå	40
Innertak	Hvitt	70
Gulv	Lys hvitpigmentert eikeparkett	35
Vinduskarm	Hvit	70

Alle yttervegger er 420 mm tykke. I modellen er det kun en vegg per sone som regnes som yttervegg, dette er veggen med vindu. Øvrige vegger er 146 mm tykke. Dette er valgt da det er standard innvendig vegg i IDA ICE.

Intern dagslysfaktor er simulert i hver sone. Måleplanet er plassert 0,8 meter over gulvet, 0,5 meter fra vegger og med et beregningsnett med avstand 0,25 meter mellom punktene. For eksterne dagslysindikatorer er det også benyttet et nett med beregningspunkter med avstand 0,25 meter mellom punktene. Nettet ligger over vinduene, som vist i figur 15. Standardavstanden for beregningsnettet i IDA ICE er 0,5 meter i soner og 1 meter på fasade. Et tettere beregningsnett gir mer detaljerte resultater. Grunnen til å benytte mindre avstand mellom punktene kommer av at fler av vinduene og sonene er små. Et beregningsnett i standard størrelse vil gi få målepunkter, som igjen fører til unøyaktige svar for mindre arealer.

I IDA ICE kan en velge grad av presisjon for simuleringene. Denne oppgaven viser kun resultater som er gjort med presisjonsnivået “high precision”. Presisjonsnivået styrer nøyaktigheten til simuleringene. Spesifikasjonene for dette presisjonsnivået er vist i vedlegg B.1. Alle simuleringene er gjort med CIE Overcast sky. Hva denne himmelmodellen innebærer er forklart nærmere i kapittel 2.4.3.

Klima- og lokasjonsdata for oppgaven er satt til Oslo og Blindern. Inndata i disse filene er vist i vedlegg B.2.

### 3.4 Metode for analyse

Alle resultatene som blir presentert i kapittel 4 er satt opp i grafer i Excel. Det er laget en trendlinje i hver graf. En trendlinje gir et funksjonsuttrykk som passer best mulig med punktene i grafen. En kan velge mellom seks ulike regresjonstyper. I denne oppgaven er det kun benyttet lineære funksjoner da de passer best til dataene i hver graf.

R-kvadrert,  $R^2$ , er et statistisk mål på hvor pålitelig trendlinjen er. Trendlinjen er mest pålitelig ved en verdi på eller nær 1. Sammen med en analyse av resultatene er det  $R^2$  som blir lagt til grunn for å vise om det er en god sammenheng mellom resultatene i hver graf.

$R^2$  måles ut fra punktene i grafen. Ved mange resultater presentert i en graf vil det på generelt grunnlag være vanskeligere å oppnå en god verdi for  $R^2$  sammenlignet med hvis det er færre resultater. Dette med bakgrunn i at det kun trengs to punkter for å lage en lineær funksjon.

Det er gjort like mange simuleringer for hvert case med tanke på lystransmisjon og soner. Dette gir et likt utgangspunkt for  $R^2$  ved hvert case presentert i kapittel 4.

### 3.5 Simulering

De innledende simuleringene ble gjort med modell med like vindusareal for alle soner. Deretter ble vindustørrelsen endret gradvis til hver sone fikk intern dagslysfaktor lik 2%. Dette ble videre gjort med to tilsvarende modeller, men her var målet å få et vindusareal som ga intern dagslysfaktor lik 3% og 4%. Lystransmisjonen for vinduene var lik 70% ved alle simuleringene. Resultater og inndata ble hentet inn for alle soner.

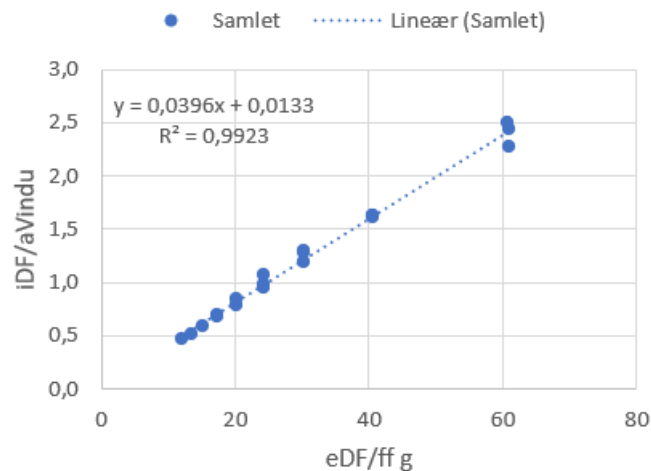
Gjennom utprøving ved sammensetning av resultatene ble det funnet en sammenheng. Det ble funnet at intern dagslysfaktor, vindusareal, ekstern dagslysfaktor og formfaktor

for rommet ga en lineær formel. For å teste denne sammenhengen videre ble det funnet at disse variablene er en del av Lynes formel, presentert som 5 i kapittel 2.4. De øvrige variablene i Lynes formel var bakgrunn for de utvendige faktorene det er testet opp mot i en sensitivitetsanalyse. Faktorene på X- og Y-aksen er presentert under, i tillegg vist på figur 17 under.

$$y = \frac{iDF}{A_{vindu}} \quad (7)$$

$$x = \frac{eDF}{ff_g} \quad (8)$$

Sammenhengen ble testet opp mot resultatene for hver modell, før de ble plottet på samme graf. Denne grafen er vist i figur 17. Resultatene er kun fra soner som oppnådde ønsket intern dagslysfaktor, øvrige resultater ble sett bort fra. Grafen har  $R^2 = 0,9923$ , som betyr at resultatene følger regresjonslinjen i stor grad.



Figur 17: Graf ved sammenstilling av resultater ved LT=70%

### 3.6 Sensitivitetsanalyse

Etter å ha funnet en metode som fungerer ved forskjellige verdier for lystransmisjon er det viktig å se om metoden også virker ved utvendige påvirkninger. Oppgaven har hensyntatt vertikal skjerming fra en side, vertikal skjerming fra begge sider, skjerming fra parallelt bygg og ved overhengende balkonger for å vurdere gyldigheten til metoden ved utvendig påvirkning. Hvert case er illustrert og forklart nærmere i egne underkapitler.

Hver case er simulert for lystransmisjon lik 50% og 70%, men den samme modellen er benyttet. Dette er for å ha like vindusareal i alle simuleringene. Ved simuleringer med lystransmisjon lik 50% med endrede vinduer, endte vindusarealene i noen av sonene med å dekke hele bredden av sonen, uten å gi ønsket intern dagslysfaktor. Dette gir urealistisk stor vinduer, og resultatene vil muligens ikke være sammenlignbare. Med bakgrunn i dette ble det besluttet å bruke modellen som var bakgrunn for de første simuleringene. Dette er modellen om ble laget for å oppnå intern dagslysfaktor lik 2% ved lystransmisjon lik 70%.

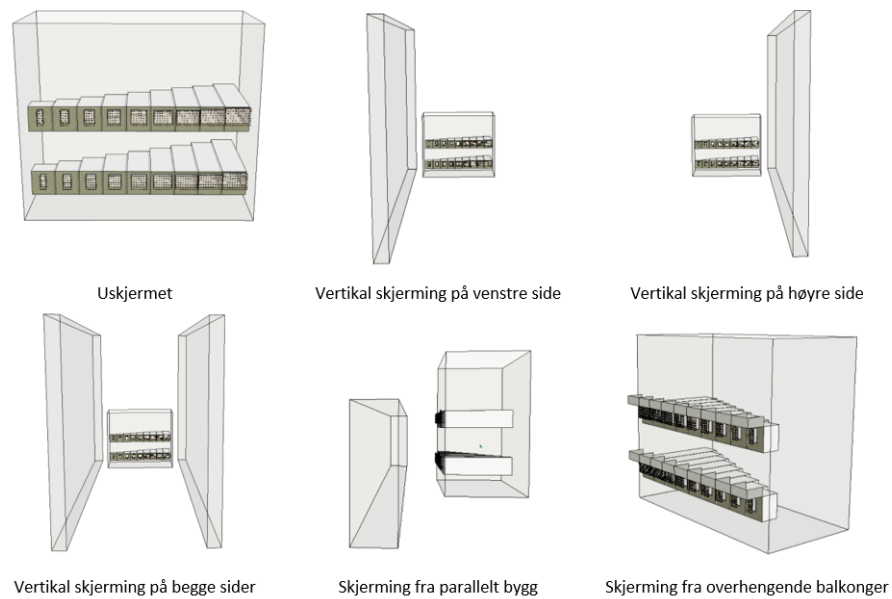


I de forskjellige casene er det sett på hvordan en ekstern dagslysfaktor endrer seg sammenlignet med hvordan den interne dagslysfaktoren endrer seg. Ved bruk av denne sammenhengen kan en tidligere i byggeprosesser se hvilke intern dagslysfaktor en vil få på bakgrunn av ekstern dagslysfaktor. Dette vil gjøre at valg av vinduer og dybde på rommet bli gjort på bakgrunn av hvilken intern dagslysfaktor en ønsker i rommet.

Casene er satt opp som realistiske nabobygg som vil føre til skjerming. Det er sett på forskjellige avstander og høyder mellom skyggende element og modell. Tabell 3 og figur 18 gir en oversikt over hvilke simuleringer som er gjennomført for hver case.

Tabell 3: Oversikt over forskjellige simuleringer i hvert case

Case	Antall simuleringer	Variasjoner	
		Avstand	Høyde
Vertikal skjerming fra venstre side	3		
		6 m	-
		8 m	-
		10 m	-
Vertikal skjerming fra høyre side	3		
		6 m	-
		8 m	-
		10 m	-
Vertikal skjerming fra begge sider	3		
		6 m	-
		8 m	-
		10 m	-
Skjerming fra parallelt bygg	9		
		6 m	5,6 m
		8 m	12,6 m
		10 m	17,6 m
Skjerming fra overhengende balkonger	1		

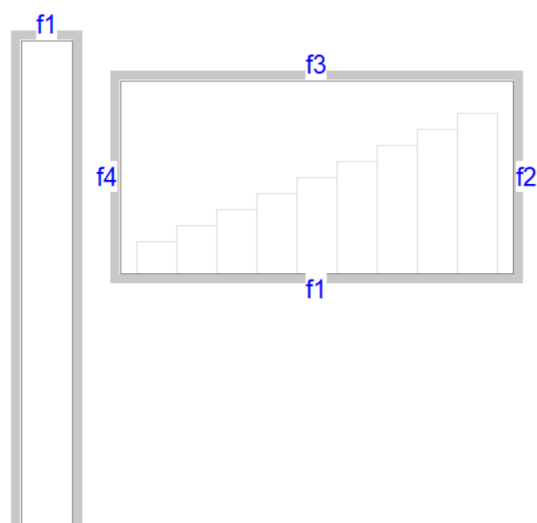


Figur 18: Oversikt over alle casene referert til i tabell 3

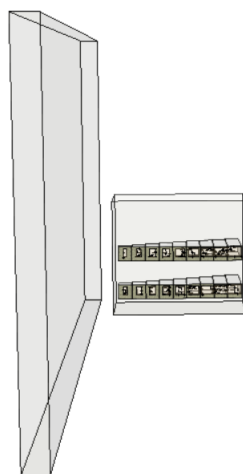
### 3.6.1 Vertikal skjerming fra en side

Ved vertikal skjerming fra en side er det modellert et bygg som er 50 meter høyt og 100 meter langt. Det skal fremstå som “uendelig” høyt og langt sammenlignet med bygget sonene er plassert i. Det skjermer stråling fra sola på en side av modellen og skygger over sonene. Simuleringene vil gi et bilde av et stort og høyt bygg som står tett inntil et mindre bygg.

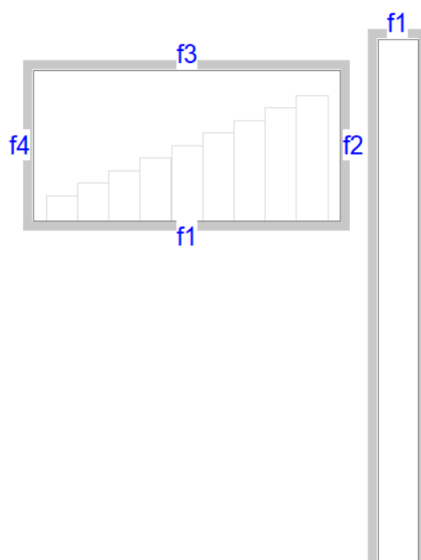
Det er laget to caser av dette tilfellet. Den ene casen har det skjermende bygget plassert på venstre side, slik figur 19 og 20 viser. Det andre tilfellet har det skjermende bygget plassert på høyre side, slik figur 21 og 22 viser.



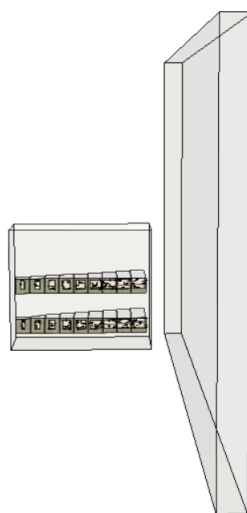
Figur 19: Vertikal skjerming fra venstre side



Figur 20: Vertikal skjerming fra venstre side



Figur 21: Vertikal skjerming fra høyre side



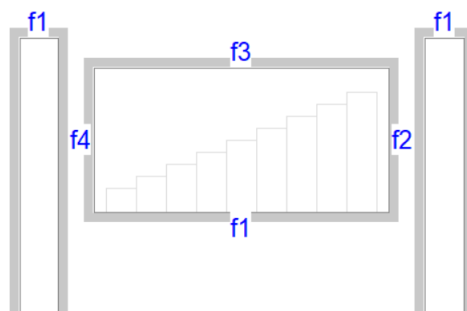
Figur 22: Vertikal skjerming fra høyre side

Det er gjort flere simuleringer ved dette skjermingstilfellet. Variasjonen er avstanden mellom byggene. Det er simulert med en avstand på 4 meter, 6 meter og 8 meter fra første sone. Dette er sone 2 ved skjerming fra venstre og sone 10 ved skjerming fra høyre.

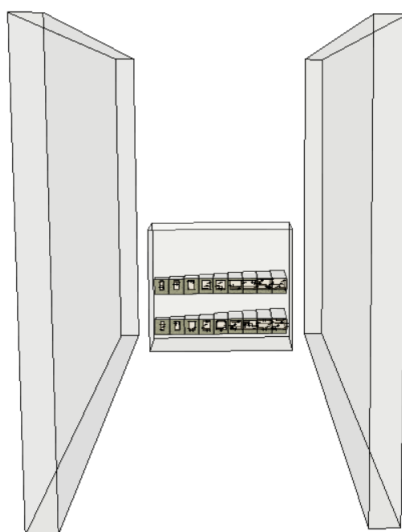
Det er utført enkeltvis skjerming fra hver side for å få et likeverdig bilde av påvirkning av skjerming fra en side. Ved plassering av skjerm på venstre side blir de små sonene påvirket i størst grad. Ved plassering av skjerm på høyre side vil de store sonene bli påvirket i størst grad. For de midterste sonene vil skjermingstilfellene være tilnærmet like ved begge tilfeller.

### 3.6.2 Vertikal skjerming fra begge sider

Dette skjermingstilfellet bygger videre på forrige case, forklart i kapittel over. Her er det modellert et “uendelig” høyt og langt bygg på hver side av modellen. Sonene vil kun bli utsatt for stråling fra himmel komponent rett forfra ellers vil stråling gjennom refleksjoner fra veggene i nabobyggene påvirke dagslysfaktorene for sonene.



Figur 23: Vertikal skjerming fra begge sider.

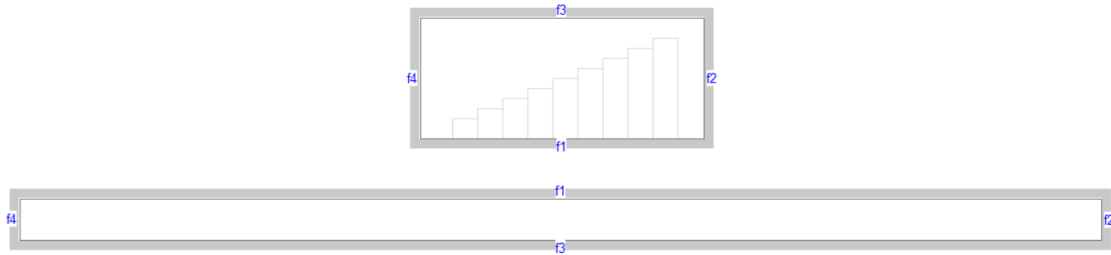


Figur 24: Vertikal skjerming fra begge sider.

På samme måte som ved vertikal skjerming fra en side, er dette tilfellet simulert med forskjellig avstand mellom byggene. Det er simulert med 4, 6 og 8 meter mellom de ytterste sonene og skjermende bygg.

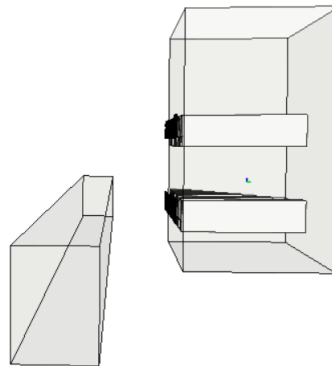
### 3.6.3 Skjerming fra parallelt bygg

Ved skjerming fra parallelt bygg er det modellert et bygg som ligger parallelt med sonene. Det skjermende bygget er 100 meter langt. Lengden på bygget skal fremstå som “uendelig” langt. Høyden på skjermen varierer i tre nivåer. I tillegg til variasjon i høyde, er det simulert med variasjon i avstand mellom byggene. Det er simulert med avstand på 6, 8 og 10 meter.



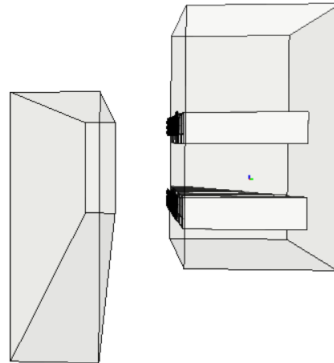
Figur 25: Parallell skjerming.

Bygget ved nivå 1 er 5,6 meter høyt. Det er like høyt som taket av sonene i 1. etasje, dette er vist på figur 26. Her vil sonene i 2. etasje være uskjermet og få ekstra refleksjon fra det parallelle bygget. Sonene i 1. etasje vil bli få skygge deler av dagen, og den uhindrede himmelvinkelen vil være påvirket i stor grad. Sonene i 2. etasje vil bli påvirket av refleksjon fra tak av nabobygget.



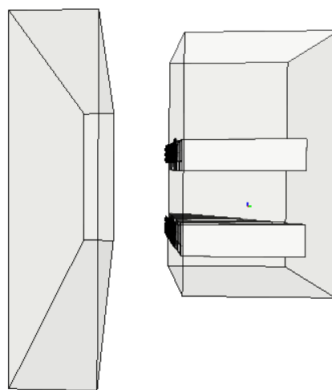
Figur 26: Parallell skjerming på nivå 1.

Ved nivå 2 er det skjermende bygget 12,6 meter høyt. Det er like høyt som taket av sonene i 2. etasje, som vist på figur 27. Simuleringene ved nivå 2 skjerner mye for sonene i 1. etasje. Sonene i 2. etasje vil bli delvis skjernet. Ved denne simuleringen vil den uhindrede himmelvinkelen for sonene i 1. etasje være enda mer påvirket, sonene i 2. etasje vil også bli påvirket. Dagslyset for sonene i 1. etasje vil i hovedsak være påvirket av refleksjoner.



Figur 27: Parallell skjerming på nivå 2.

Nivå 3 skjermer sonene mest. Her er det skjermende bygget 17,6 meter høyt, 5 meter høyere enn taket til sonene i 2. etasje. Dette vil gi lite tilgang på dagslys for soner i 1. og 2. etasje. Dette er illustrert i figur 28 under. Her vil sonene i begge etasjer være avhengig av refleksjon for å få mest mulig tilgang på stråling.

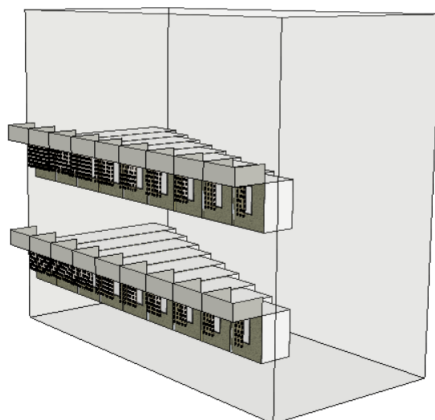


Figur 28: Parallell skjerming på nivå 3.

Skjerming fra et parallelt bygg gir et annet skjermingsbilde enn skjerming fra siden. Den parallelle skjermingen hindrer alt direkte sollys inn i sonene. Lyset som kommer inn i sonene vil i hovedsak komme fra refleksjon. Refleksjoner gir svakere stråling, sammenlignet med direkte stråling.

#### 3.6.4 Skjerming fra overhengende balkonger

Skjerming fra overhengende balkonger gir et annet skjermingsbilde enn de øvrige tilfellene. Balkonger skjermer ovenfra og vil bli påvirket av lys på andre tider av dagen enn de andre tilfellene. Det er satt en balkong over hver sone, som vist i figur 46. Hver balkong er 2 meter dyp og 2,5 meter bred.



Figur 29: Skjerming fra overhengende balkong.



## 4 Resultat og analyse

I dette kapitlet vil resultatene fra simuleringene bli presentert og analysert. Først vil resultatene fra hver case bli presentert og analysert enkeltvis, deretter vil resultatene fra alle casene bli vurdert samlet. Ved å samle alle casene vil en kunne se om det er sammenheng på tvers av ulike ytre påvirkninger.

Det er funnet begrensninger for den endelige formelen. Begrensninger er analysert og drøftet i delkapittel 4.9.

Tallgrunnlaget for grafene som er presentert i dette kapitlet er å finne i vedlegg C. De er sortert etter case og lystransmisjon. Det er referert direkte til aktuelt vedlegg i teksten.

### 4.1 Grunnlag

Detaljene for hver simulering er forklart i kapittel 3. Gjennom utførte dagslys simuleringer og ved å ta utgangspunkt i variablene, ble det funnet en lineær sammenheng mellom intern dagslysfaktor, vindusareal, ekstern dagslysfaktor og formfaktor for rom. Grunnlaget for modellene var simuleringer som ble utført for å finne riktig vindusareal for at hver sone skulle oppnå en spesifisert intern dagslysfaktor, som forklart i kapittel 3.2. Å klare dette på desimaltall-nivå for alle soner er ikke mulig, da tallet på hundredelsplassen endres for hver simulering i IDA ICE. Dette kommer av måten programmet er bygd opp på. Ved å inkludere vindusareal og formfaktor for rom i formelene vil en kunne negligjere differansen for intern dagslysfaktor mellom sonene i stor grad. Dette vil gi et bedre sammenligningsgrunnlag av resultater på tross av forskjellig vindu- og romstørrelse.

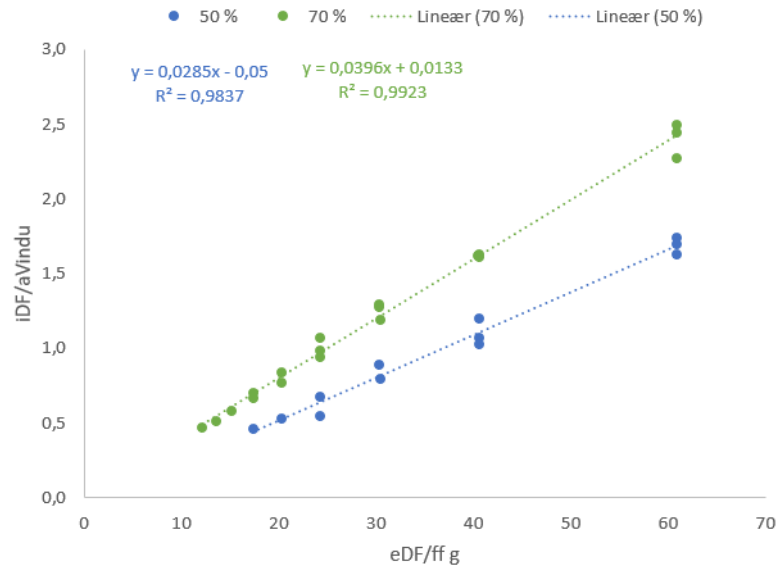
Det ble funnet at faktorene som er tatt i bruk i formlene er en del av Lynes formel, presentert i kapittel 2.5. Det er sett på de resterende faktorene i formelen for å se hva som påvirker sammenhengen. De resterende faktorene er lystransmisjon for vindusglasset, grad av uhindret himmelvinkel og overflaterrefleksjon.

Uhindret himmelvinkel er sett på gjennom å skjerme for sonene ved bruk av nabobygg og balkonger. Det er også sett på hvilken påvirkningen refleksjoner fra omgivelsene gir. Bakgrunnen for temaene er forklart i kapittel 2.5.2 og 2.5.3. Hvilken påvirkning dette har er forklart i kapittel for hvert enkelt case under.

Hver case har forskjellig ytre påvirkning. Den ytre påvirkningen vil være ved endring av uhindret himmelvinkel som vil skjerme for bygget. Dette vil påvirke den eksterne dagslysfaktoren. Endring av ekstern dagslysfaktor vil videre føre til endring av intern dagslysfaktor. Den interne dagslysfaktoren vil endres ved endring av ytre påvirkning og ved endring av lystransmisjon. Hvor mye lys som reflekteres gjennom glasset er også avhengig av hvilken vinkel strålingen treffer vinduet i.

### 4.2 Innledende simuleringer

De innledende simuleringene ble gjort for å finne riktig vindusareal for å oppnå intern dagslysfaktor lik 2%, 3% og 4%. Simuleringene ble gjort med lystransmisjon lik 50% og 70% ved en uskjermet fasade. Soner som ikke oppnådde ønsket intern dagslysfaktor ved maksimal vindusstørrelse er ikke inkludert i grafen i figur 30.



Figur 30: Resultat fra innledende simuleringer

Forskjellig lystransmisjon fører til forskjell i andel stråling som reflekteres gjennom vinduet. Dette resulterer i to linjer for resultatene. I denne figuren vises resultater fra lystransmisjon lik 50% i blått og lystransmisjon lik 70% i grønt. Resultatene inkluderer intern dagslysfaktor lik 2%, 3% og 4%. Trendlinjen har en svært god sammenheng med  $R^2 = 0,9837$  for lystransmisjon lik 50% og  $R^2 = 0,9923$  for lystransmisjon lik 70%.

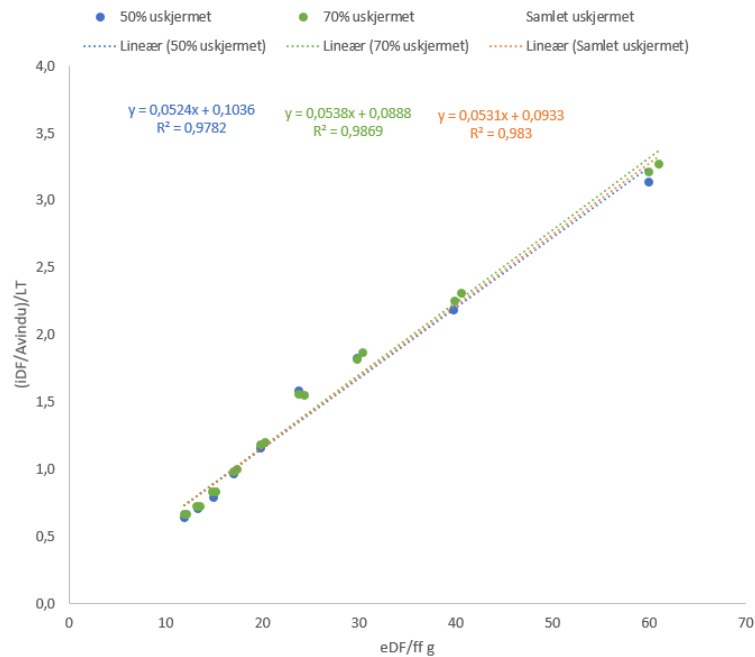
Alle casene som er presentert i de neste kapitlene er utført med lystransmisjon lik 50% og 70%. Dette er for å se at sammenhengen gjelder ved ulike lystransmisjoner. Lystransmisjon påvirker hvor mye lys vindusglasset slipper inn i rommet, som forklart i kapittel 2.5.1. For å kunne sammenligne resultatene er sammenhengen slik den er forklart i kapittel 3.5 endret. Dette er for å inkludere lystransmisjon. Lystransmisjon er inkludert på y-aksen. Dette gjør at y-aksen er som presentert i formel 9. X-aksen forblir den samme, som presentert i formel 10. Dette vil gjelde for alle grafer presentert i kapitlene under.

$$y = \frac{iDF}{\frac{A_{vindu}}{LT}} \quad (9)$$

$$x = \frac{eDF}{ff_g} \quad (10)$$

### 4.3 Uskjermet

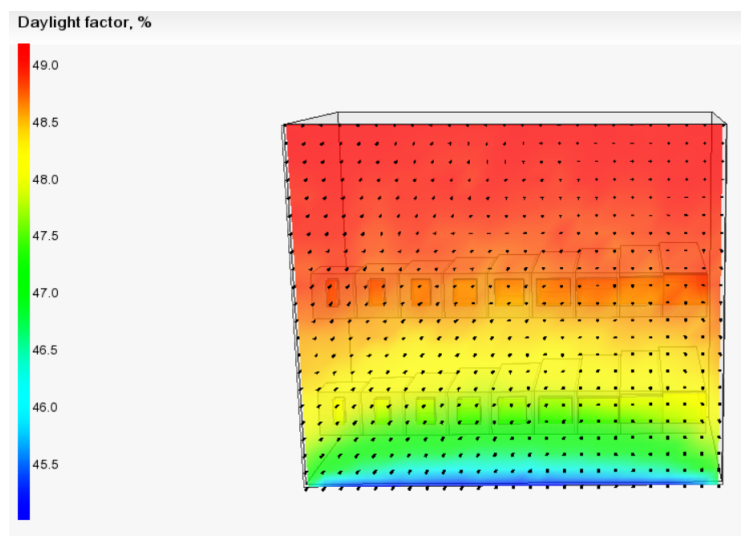
Resultatene fra simuleringen med uskjermede soner er vist i figur 31. Figuren viser to trendlinjer med tilhørende punkter. De blå punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=50\%$ . Disse resultatene gir en  $R^2 = 0,9782$ . De grønne punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=70\%$ . Disse resultatene gir  $R^2 = 0,9869$ . Ved å samle disse resultatene til en funksjon blir  $R^2 = 0,983$ , funksjonen er vist i oransje. Tallresultatene som er grunnlaget for grafen er vist i vedlegg C.1.



Figur 31: Resultat ved uskjermede soner

Fra figuren ser en at det er god lineær sammenheng mellom punktene ved hver lystransmisjon. Punktene på grafen er plassert parvis. Hvert par representerer en sone. Punktene fra sone 2 er øverst til høyre, mens punktene fra sone 10 er nederst til venstre. Dette vil gå igjen for alle resultatene som presenteres.

Sone 5 avviker mest fra trendlinjen. Da grunnen til dette er felles for alle casene er den presentert i kapittel 4.9.4.



Figur 32: Ekstern dagslysfaktor over fasade

Figur 32 viser ekstern dagslysfaktor over hele fasaden når den er uskjermet. Fra skalaen på venstre side ser en at det er små forskjeller i dagslysfaktor over fasaden. Forskjellen kan forklares med at en CIE overskyet himmel har tre ganger høyere illuminans i senit enn i horisont, som forklart i kapittel 2.4.3. Området nederst på fasaden vil ikke bli påvirket av stråling fra senit i like stor grad som området øverst på fasaden, men vil derimot bli påvirket av refleksjon fra bakken i større grad enn området øverst på fasaden.

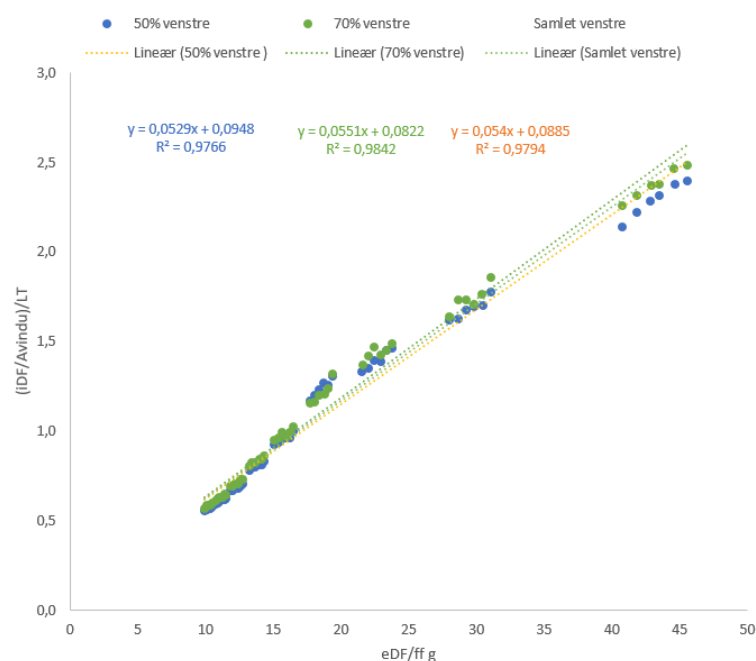
#### 4.4 Vertikal skjerming fra en side

Det er laget en case hvor skjermen er plassert på venstre side av sonene og en hvor skjermen er plassert på høyre side. Sonene nærmest skjermen vil bli påvirket i størst grad, mens sonene lengst fra vil være tilnærmet upåvirket.

For å få et likeverdig bilde av påvirkning av skjerming fra en side er det utført simuleringer med vertikal skjerm på begge sider. Ved plassering av skjerm på venstre side blir de små sonene påvirket i størst grad. Ved plassering av skjerm på høyre side vil de store sonene bli påvirket i størst grad. For de midterste sonene vil skjermingstilfellene være tilnærmet like.

##### 4.4.1 Skjerming fra venstre side

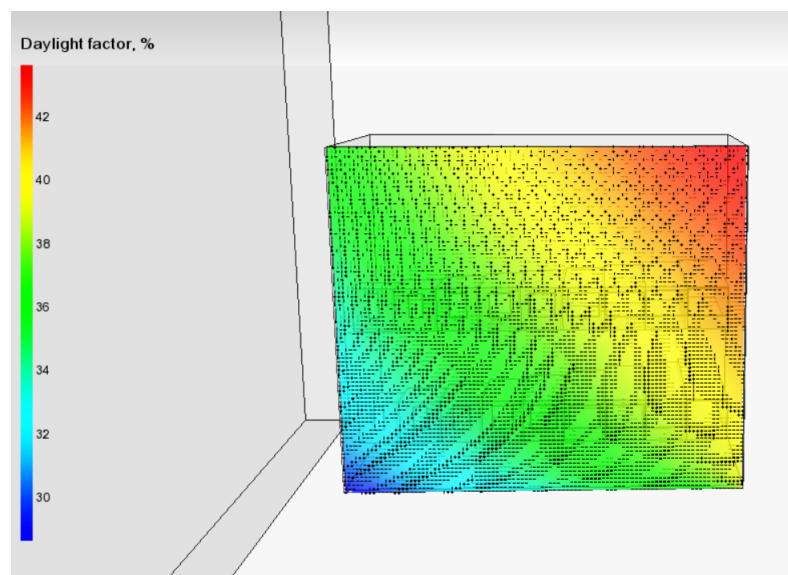
Kapittel 3.6.1 viser oppsettet av simuleringen ved vertikal skjerm fra venstre side. Resultatene fra simuleringen er vist i figur 33. Figuren viser to trendlinjer med tilhørende punkter. De blå punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=50\%$ . Disse resultatene gir en  $R^2 = 0,9766$ . De grønne punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=70\%$ . Disse resultatene gir  $R^2 = 0,9842$ . Ved å samle disse resultatene til en funksjon blir  $R^2 = 0,9794$ , funksjonen er vist i oransje. Tallverdiene som er grunnlaget for grafen er vist i vedlegg C.2.



Figur 33: Resultat ved vertikal skjerming fra venstre side

I disse simuleringene er det flere variabler enn i forrige case, men det er fortsatt en god sammenheng mellom resultatene. Variablene i dette tilfellet er lystransmisjon og grad av skjerming. Intern dagslysfaktor varierer med lystransmisjon i glasset og grad av skjerming. Ekstern dagslysfaktor vil variere ved grad av skjerming.

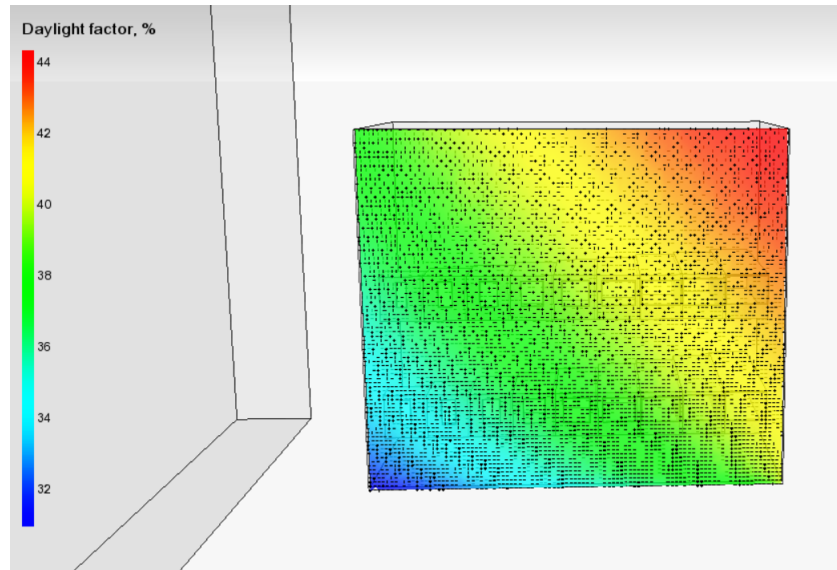
Det er utført tre simuleringer for hver lystransmisjon. Lystransmisjon er lik 50% eller 70% i resultatene. Avstanden mellom den skjermende veggen og sone 2 som varierer i hver simulering. Veggene er simulert med 4, 6 og 8 meters avstand. Skjermingen over sonene er størst ved 4 meters avstand, ekstern dagslysfaktor ved dette tilfellet er vist over fasaden i figur 34.



Figur 34: Ekstern dagslysfaktor over hele fasaden ved 4 meter avstand

Av figuren ser en at skjermingen er størst i nedre, venstre hjørne og minst øverst i høyre hjørne. Dette kommer av at skjermen skygger for mye av strålingen fra himmelkomponent på venstre side. Det er ikke skjermet for stråling i senit, men påvirkningen fra skjerming i horisont vises på resultatene for alle sonene i dette caset.

Det er gjort tilsvarende simulering, som vist i figur 34, ved de andre avstandene. Avstand på 8 meter er vist i figur 35. På denne figuren ser en tydeligst at det blå, grønne og gule området blir større, i tillegg endres skalaen på venstre side. Disse simuleringene viser at med større avstand vil mer stråling treffe sonene. Dette resulterer i en høyere ekstern dagslysfaktor for hver sone, noe som bekreftes i resultatene vist i vedlegg C.2.

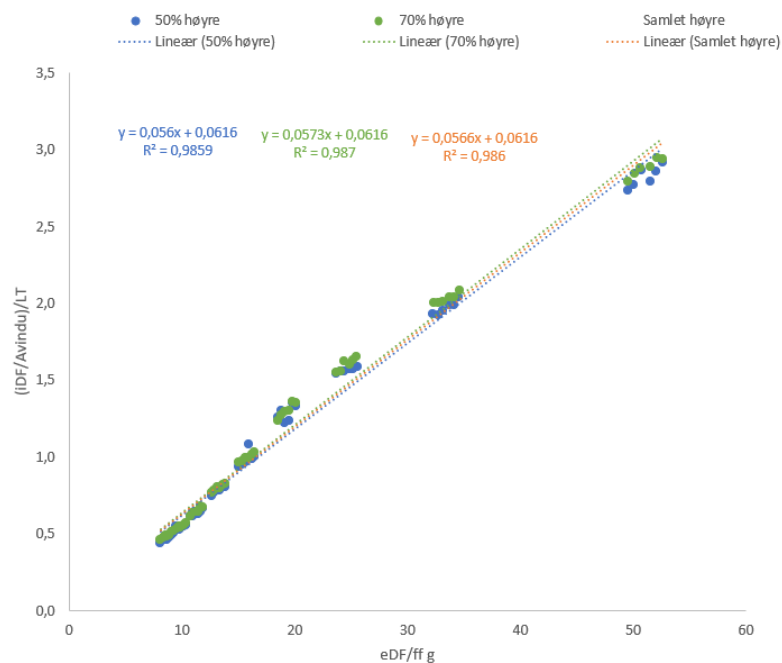


Figur 35: Ekstern dagslysfaktor over hele fasaden ved 8 meter avstand

#### 4.4.2 Skjerming fra høyre side

I dette kapitlet presenteres resultatene for skjerming fra høyre side. I motsetning til kapittel 4.4.1 over som presenterer resultatet ved skjerming fra venstre side, er det de større sonene som vil bli mest påvirket av skjermingen.

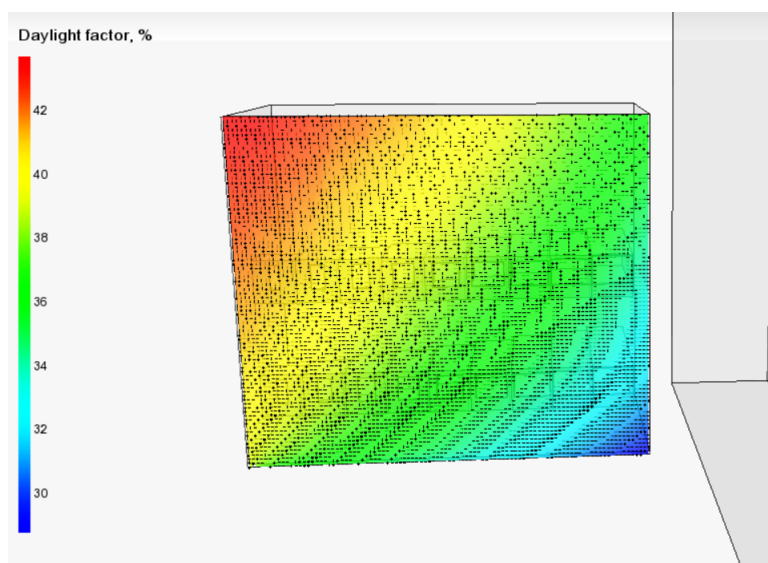
Resultatene fra simuleringen med skjerming fra høyre side er vist i figur 36. Figuren viser to trendlinjer med tilhørende punkter. De blå punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=50\%$ . Disse resultatene gir en  $R^2 = 0,9859$ . De grønne punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=70\%$ . Disse resultatene gir  $R^2 = 0,987$ . Ved å samle disse resultatene til en funksjon blir  $R^2 = 0,986$ , funksjonen er vist i oransje. Tallresultatene som er grunnlaget for grafen er vist i vedlegg C.3.



Figur 36: Resultat ved vertikal skjerming fra høyre side

Denne casen har de samme variablene som forklart i forrige case, kapittel 4.4.1. Det er også de samme simuleringene som er gjennomført.

Figur 37 viser ekstern dagslysfaktor over fasaden ved 4 meters avstand mellom sone 10 og den skjermende veggen. At veggen er på motsatt side enn i kapittel 4.4.1 gjør at skjermingen over fasaden blir speilvendt. En ser at nedre, høyre hjørne har lavest ekstern dagslysfaktor, mens øvre, venstre hjørne har høyest ekstern dagslysfaktor. Disse simuleringene gir like resultater som forklart i kapittel 4.4.1, men speilvendt.



Figur 37: Ekstern dagslysfaktor over hele fasaden ved 4 meter avstand

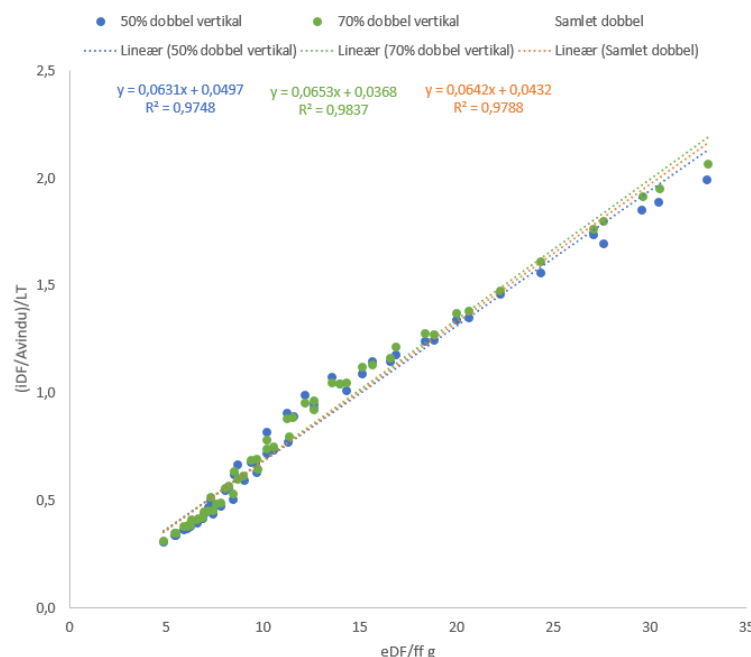
Om en sammenligner resultatene i vedlegg C.2 og C.3 vil en se at ekstern dagslysfaktor i for sone 2 ved skjerming fra venstre side er omtrent lik sone 10 ved skjerming fra høyre side. Dette er som forventet, og bekrefter igjen at simuleringene er speilvendte av hverandre. Intern dagslysfaktor vil derimot bli påvirket ved at vindusflaten i sone 2 er betydelig mindre enn i sone 10. Ved å sammenligne de endelige resultatene fra simuleringene ved skjerming fra hver sin side med hverandre ser en at skjerming fra venstre side vil gi lavere verdier for ekstern dagslysfaktor for de minste sonene og høyere for de største, sammenlignet med skjerming fra høyre side.

#### 4.5 Vertikal skjerming fra begge sider

Simuleringene for caset med vertikal skjerming på begge sider er utført på samme måte som vertikal skjerming fra en side, fra kapittel 4.4. Her er det vertikale skjermere på hver side av sonene, med en avstand fra ytterste sone på 4, 6 og 8 meter.

Vertikal skjerming fra begge sider vil være en sammenslåing av de to casene over. Det vil gi et skjermingsbilde som kun tillater stråling rett forfra. De minste og største sonene vil bli skjermet i større grad enn sonene i midten.

Resultatene fra simuleringen med skjerming fra begge sider er vist i figur 38. Figuren viser to trendlinjer med tilhørende punkter. De blå punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=50\%$ . Disse resultatene gir en  $R^2 = 0,9748$ . De grønne punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=70\%$ . Disse resultatene gir  $R^2 = 0,9837$ . Ved å samle disse resultatene til en funksjon blir  $R^2 = 0,9788$ , funksjonen er vist i oransje. Tallresultatene som er grunnlaget for grafen er vist i vedlegg C.4.



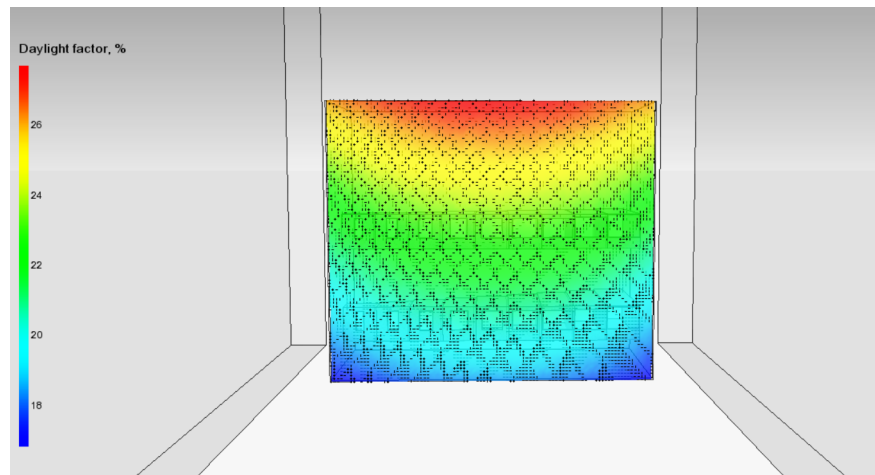
Figur 38: Resultat ved vertikal skjerming fra begge sider

Sonene i midten vil ikke bli skjermet for i like stor grad som de ytterste sonene. Figur 39



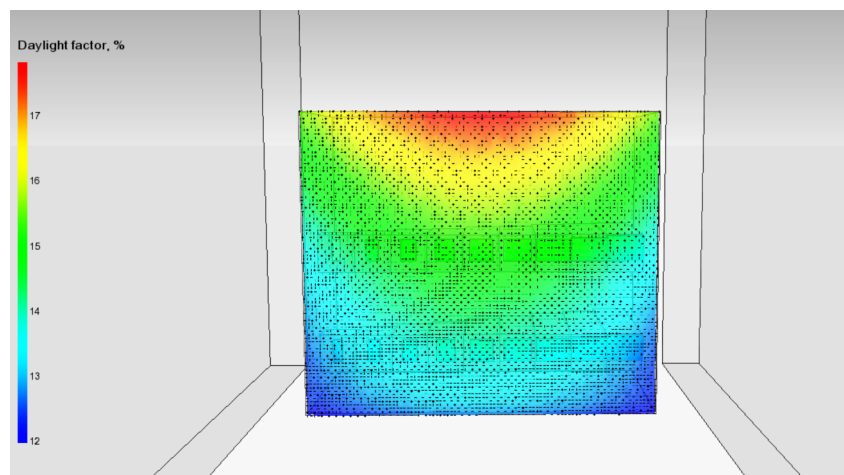
viser ekstern dagslysfaktor over hele fasaden. Fasaden blir eksponert for betydelig mindre lys enn ved de tidligere casene. Dette kan en se ved å se på skalaen på venstre side i figuren. Grunnen til at fasaden blir eksponert for mindre lys er at den skjermet fra begge sider. Da byggene som skjermer er 100 meter lange, påvirker dette vertikal himmelkomponent.

Figur 39 viser dagslysfaktor over hele fasaden. Øverste del av fasaden har høyest dagslysfaktor, den blir eksponert for mest lys. Eksponeringen for lys minker jo lenger ned på fasaden en ser. Figuren viser hvordan de skjermende byggene på siden påvirker lyseksponeringen. En ser at eksponeringen er buet i en konveks form, hvor sterke lys når lengre ned i midten av bygget enn på sidene. Dette kommer av at skyggen fra byggene på siden vil skjerme mer langs siden enn midt i bygget.



Figur 39: Dagslysfaktor for hele fasaden

Overflatene på de skjermende byggene har refleksjonsfaktor lik 0,5. Utereflekterte stråler vil påvirke dagslysfaktoren på bygget i positiv retning. For å se hvor stor grad dette påvirker den eksterne dagslysfaktoren er det simulert for fasaden med en refleksjonsfaktor lik 0,01. Resultatet av dette er vist i figur 40.



Figur 40: Dagslysfaktor for hele fasaden uten refleksjon i skjerming

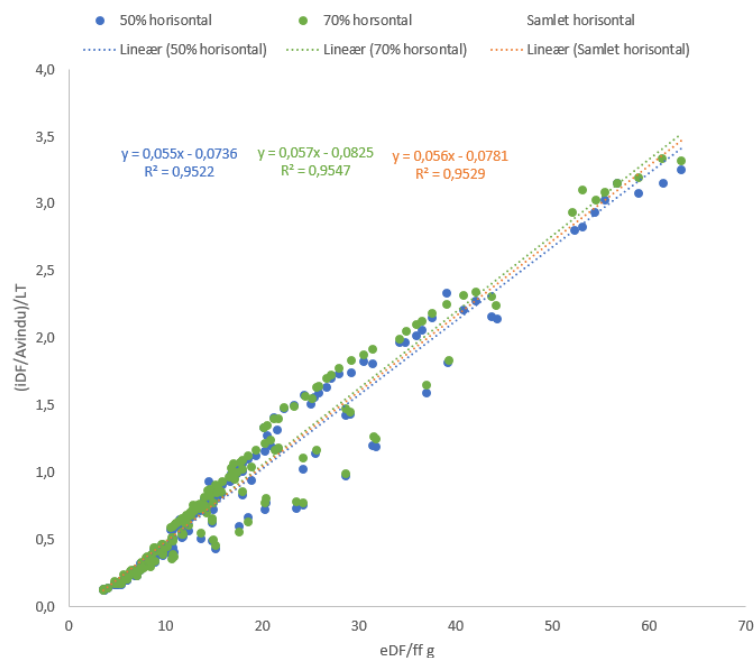
Gjennomsnittet for fasaden i simulering med refleksjon gir et gjennomsnitt på 22,37% over fasaden. Ved simulering uten refleksjon blir resultatet 14,57%. Dette viser hvor stor del av strålingen på sonene som kommer fra utvendig refleksjon fra nabobygg.

#### 4.6 Skjerming fra parallelt bygg

Simuleringene for dette caset er forklart i kapittel 3.6.3. At skjermingen varierer i både avstand og høyde gir variabler for både intern og ekstern dagslysfaktor ved hver simulering.

I disse simuleringene påvirkes den uhindrede himmelvinkelen i stor grad, sammenlignet med de øvrige simuleringene. Dette kommer av at skjermingen rett foran sonene blokkerer stråling fra himmelen i stor grad. Grad av stråling fra himmel vil i flere av simuleringene være svært nær eller lik null.

Resultatene fra simuleringen med skjermende parallelt bygg er vist i figur 41. Figuren viser to trendlinjer med tilhørende punkter. De blå punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=50\%$ . Disse resultatene gir en  $R^2 = 0,9522$ . De grønne punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=70\%$ . Disse resultatene gir  $R^2 = 0,9547$ . Ved å samle disse resultatene til en funksjon blir  $R^2 = 0,9529$ , funksjonen er vist i oransje. Tallresultatene som er grunnlaget for grafen er vist i vedlegg C.5.

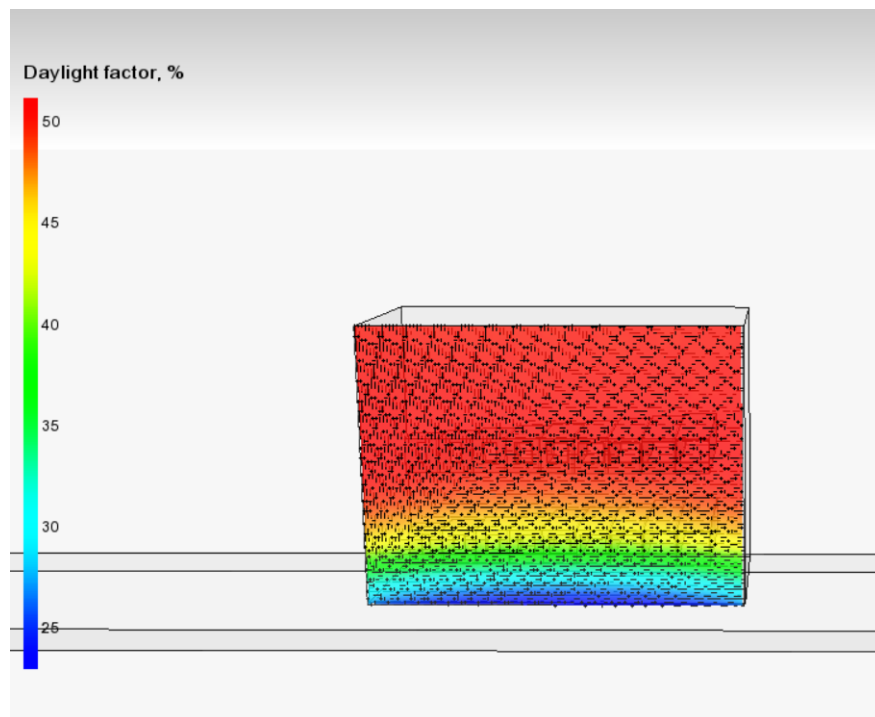


Figur 41: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg

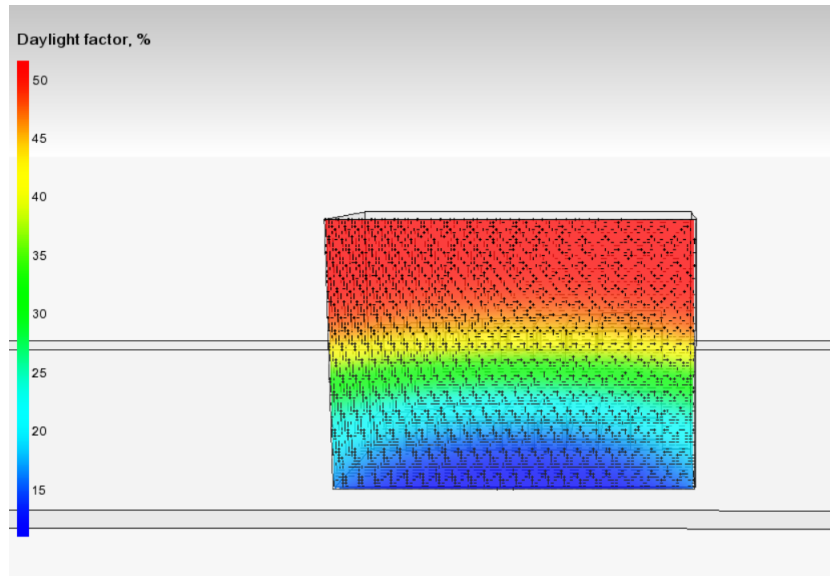
Resultatene på figur 41 viser at det er flere, større forskjelle enn vist i de øvrige casene. En ser av figuren at et flertall av punktene havner under trendlinjen. Disse punktene har det største avviket i grafen. Ved å analysere tallene som ligger til grunn for grafen er det funnet at disse punktene kommer fra simuleringer gjort med alle de tre avstandene mellom byggene. Som forklart tidligere vil flere av sonene i simuleringer på nivå 2 og 3 ha en svært liten uhindret himmelkomponent. Dette er bakgrunn for avvikene. Resultatene som avviker

er fra soner i 1. etasje ved simulering på nivå 2 og soner i 1. og 2. etasje ved simulering på nivå 3. Dette vil føre til en begrensning av den endelige formelen for beregning. Dette er forklart nærmere i kapittel 4.9.1.

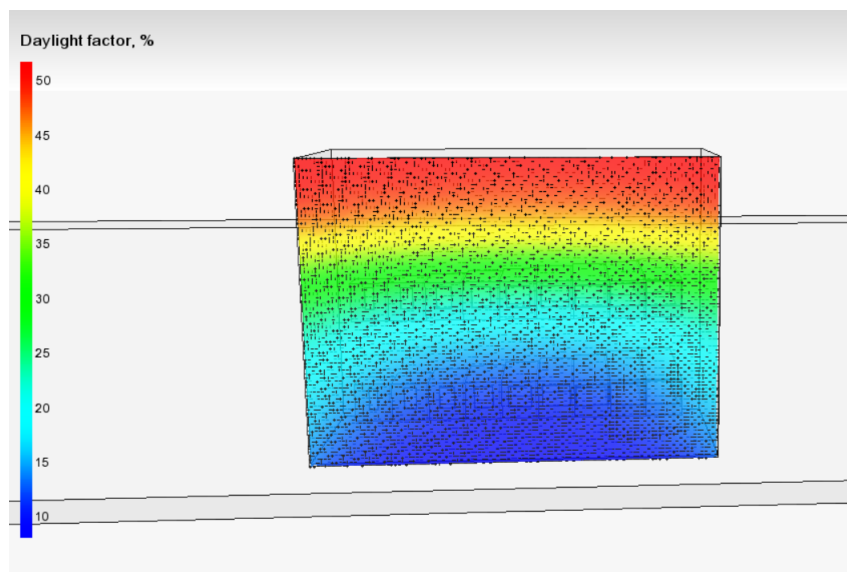
Ved å se på ekstern dagslysfaktor for hele fasaden i figur 42, 43 og 44 ser en påvirkningen av den horisontale skjermen. Alle utklippene er tatt fra simuleringer med avstand mellom bygg på 6 meter. Det er ved denne avstanden skjermingen gir størst påvirkning på fasaden. I motsetning til tilsvarende figurer for vertikal skjerming fra begge sider, vist i kapittel 4.5, er formen i disse figurene konkav. Ved å sammenligne figurene kan en se at påvirkningen på den nederste delen av fasaden øker betraktelig for hvert nivå. Ved simulering på nivå 1 er den 23,00 %, ved nivå 2 er den 11,03 % og ved nivå 3 er den 8,09 %. Det er denne delen av fasaden skjermingen påvirker i størst grad.



Figur 42: Ekstern dagslysfaktor for hele fasaden ved nivå 1



Figur 43: Ekstern dagslysfaktor for hele fasaden ved nivå 2

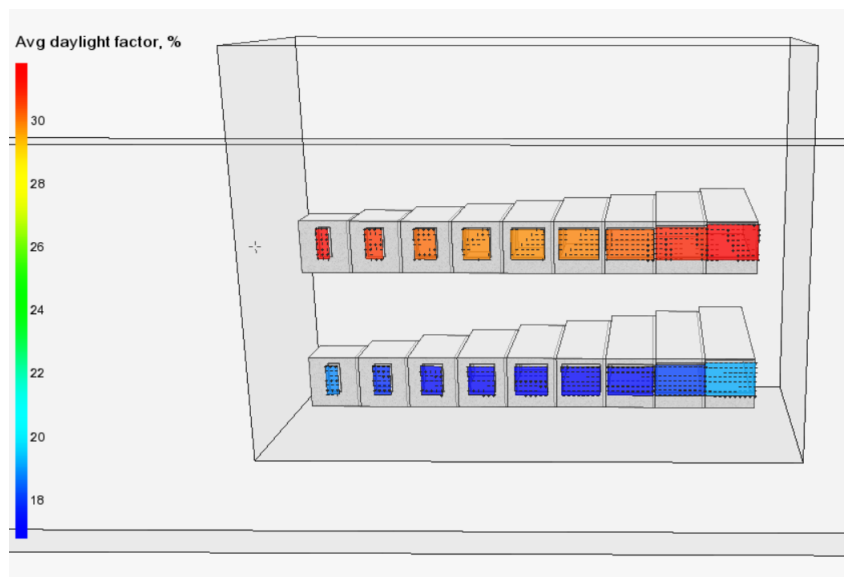


Figur 44: Ekstern dagslysfaktor for hele fasaden ved nivå 3

Grunnen til at formen er konkav er utereflekterte stråler fra sidene av bygget som treffer det skjermende bygget og reflekteres tilbake på fasaden. En ser at den konkave formen er mer markant i nedre del av fasaden, enn øvre del. Dette kommer av at området nederst på fasaden i større grad blir utsatt for den reflekterte strålingen, mens øvre deler av fasaden også blir utsatt for direkte stråling fra himmelen.

Den utereflekterte strålingen på fasaden fører til høyere ekstern dagslysfaktor på flere av vinduene i 2. etasje enn hva som er oppnådd i case med uskjermede soner. Ved uskjermede soner er den høyest oppnådde eksterne gjennomsnittlige dagslysfaktoren 48,77 %. I simulering for nivå 1, med skjermende bygg 6 meter fra, oppnår sone 10 en ekstern gjennomsnittlig dagslysfaktor lik 50,71%. Denne sonen er utsatt for direkte stråling og utereflektert strå-

ling. Det er ute refleksjon som gjør at verdien blir høyere enn i case med uskjermet sone. Det antas at refleksjonen kommer fra takflaten på det skjermende bygget.



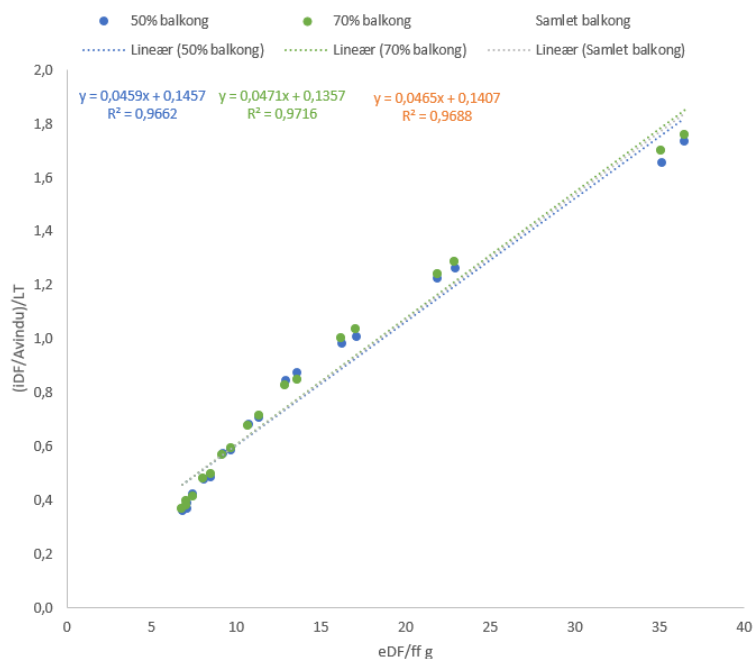
Figur 45: Ekstern dagslysfaktor for vinduer i soner ved nivå 3

Sone 2 og 10 får et annet strålingsbilde enn øvrige soner på grunn av dette, noe som også vises på figur 45. Dette vises spesielt godt for sone 2 ved å se på en grafisk fremstilling av hvert enkelt nivå alene, som vist i vedlegg C.5.2. Det må vurderes om dette er bakgrunn for begrensning av endelig formel for bruk av denne metoden. Dette gjøres i kapittel 5.

At sonene får en skjerm plasser i front av hvert vindu vil påvirke hvilken vinkel stråler treffer vinduet med. Vinkelen på stråler inn til vindu påvirker hvor mye dagslys som slippes inn, som forklart i kapittel 2.5.1.

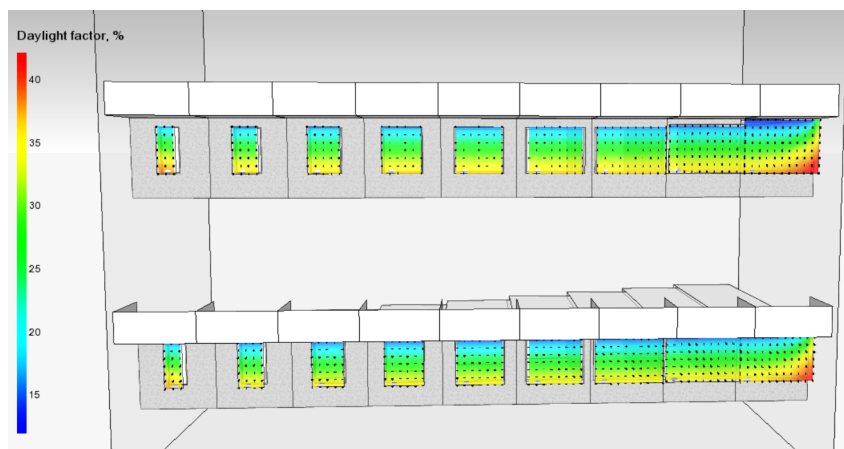
#### 4.7 Skjerming fra overhengende balkonger

Resultatene fra simuleringen fra overhengende balkonger er vist i figur 46. Figuren viser to trendlinjer med tilhørende punkter. De blå punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=50\%$ . Disse resultatene gir en  $R^2 = 0,9662$ . De grønne punktene representerer resultatene fra simuleringer gjort med  $LT=70\%$ . Disse resultatene gir  $R^2 = 0,9716$ . Ved å samle disse resultatene til en funksjon blir  $R^2 = 0,9688$ , funksjonen er vist i oransje. Tallresultatene som er grunnlaget for grafen er vist i vedlegg C.6.



Figur 46: Resultat ved skjerming fra balkong

I denne casen er skjermingstilfellet forskjellig for sone 2 og 10. Sone 2 er skjermet med balkong over egen sone og over sonen til høyre. Sone 10 er skjermet med balkong over egen sone og over sone til venstre. Begge sonene har en sone mindre som skjermer, sammenlignet med øvrige soner. Dette vises også på figur 47 og gjelder i etasje 1 og 2. Hvordan disse sonene blir påvirket er diskutert videre i kapittel 4.9.5.

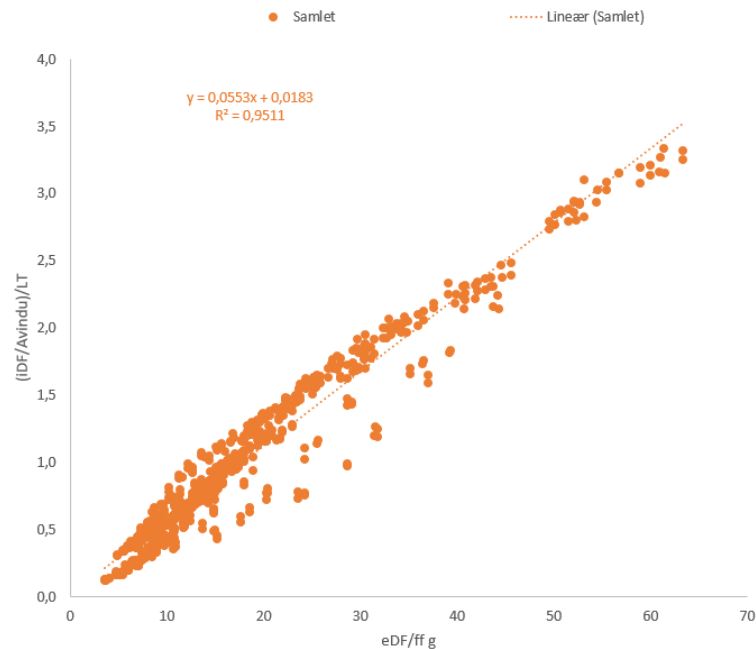


Figur 47: Ulik skjerming for ytterste soner

#### 4.8 Samlede resultater

Resultatene har blitt sammenstilt for å se om sammenhengen mellom inter dagslysfaktor, vindusareal, ekstern dagslysfaktor og formfaktor for sone vil bli beholdt. X-aksen og y-aksen forblir like som vist i formel 9 og 10 i kapittel 4.1.

Figur 48 viser alle resultatene samlet på en graf.  $R^2 = 0,9511$  som tyder på en god statistisk sammenheng, men en ser at det fortsatt er en del punkter som avviker fra trendlinjen. Det er undersøkt om det er en fellesnevner for de punktene som avviker i mest.



Figur 48: Resultat fra alle simuleringer samlet

Som en ser av figur 48 er det mange punkter. Hvert punkt på grafen representerer et resultat. For å kunne se sammenhenger og begrensninger for den endelige formelen og forstå hvor begrensningene kommer fra, er sonene analysert samlet og enkeltvis. Dette er forklart videre i kapitler under.

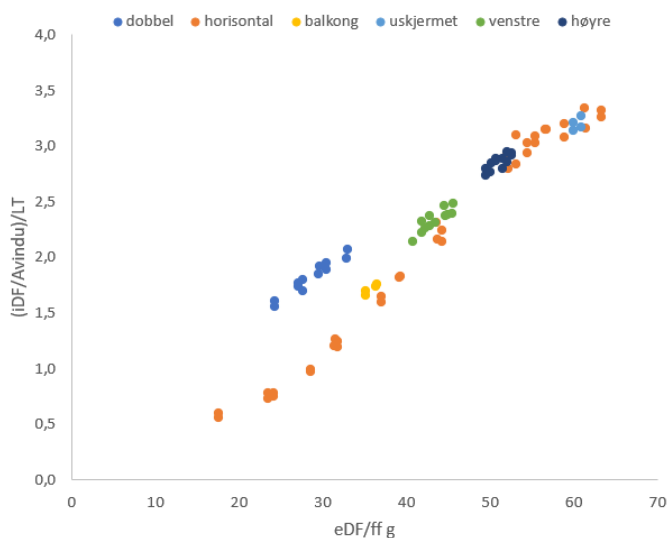
#### 4.8.1 Analyse av hver enkelt sone

Resultatene fra de forskjellige casene er sammenstilt. De er delt opp for å se resultatene for hver sone for seg selv. Dette er for å se hvordan hver case påvirker hver sone. En fordel med dette er at det ikke er like mange punkter fra hvert case. En vil derfor lettere kunne gjenkjenne hvor resultatene kommer fra. I tillegg vil det være mulig å se hvilke soner som har en god sammenheng, og hvilke som ikke har det.

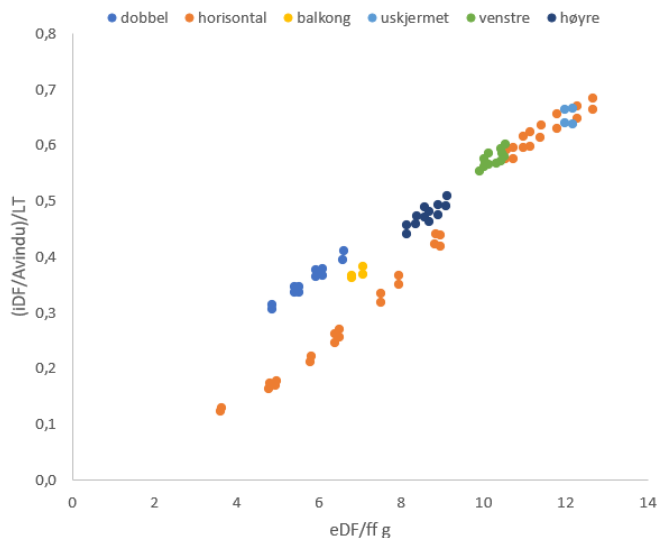
Det er flere gjengangere for resultatene når de blir analysert på denne måten. Ved å se på figur 49 og 50 som viser resultatene enkeltvis for sone 2 og sone 10 kan en se flere likheter. I begge figurene har hvert case samme farge på punktene. Likhetene er for case med uskjermede soner (turkis), vertikal skjerming fra begge sider (blå), parallell skjerming (oransje) og balkong (gul). Disse casene gir relativt lik form og plassering i forhold til hverandre i hver graf som er satt opp. Grafene for de øvrige sonene er vist i figur 58 i vedlegg C.7.1. Disse viser de samme formene som sone 2 og 10 viser her.

En ser på figur 49 og 50 at horisontal skjerming (oransje) buer seg ved lave verdier på x-aksen, mens de stabiliserer seg ved høyere verdier på y-aksen. Når de stabiliserer seg ser

det ut til å være lineært med resultater fra andre caser. Punktene fra dette caset buer seg ved økende grad av skjerming for himmelen. Dette vil være en begrensning for den endelige formelen. Dette er diskutert nærmere i kapittel 4.9.1.



Figur 49: Analyse av resultat fra sone 2



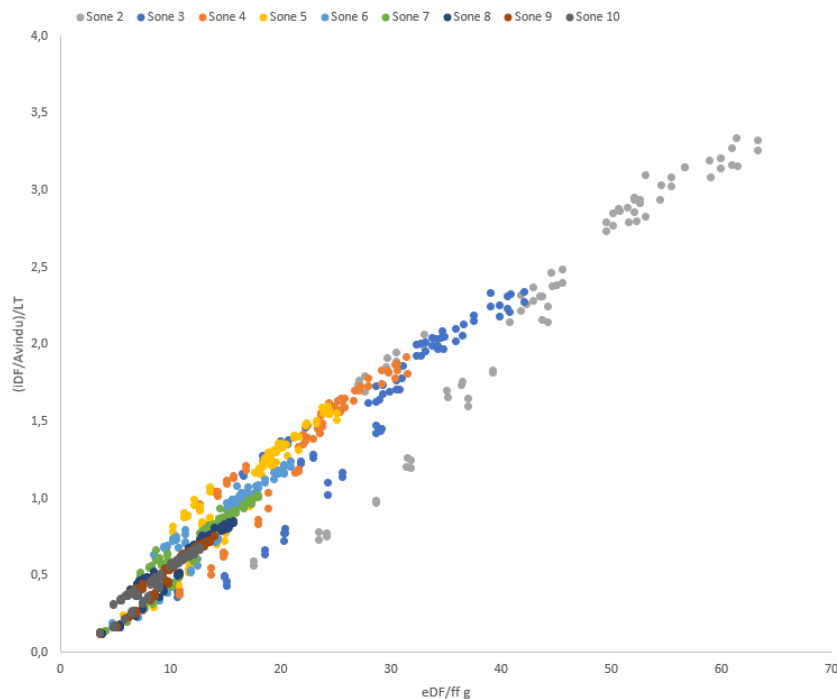
Figur 50: Analyse av resultat fra sone 10

Den største forskjellen mellom figur 49 og 50 er for case med vertikal skjerming fra venstre (grønn) og fra høyre (mørk blå). Prinsippet bak vertikal skjerming fra en side er forklart i kapittel 3.6.1. Ved skjerming fra venstre side, hvor resultat og analyse er lagt frem i kapittel 4.4.1, blir de minste sonene påvirket i størst grad. Dette fører til at interne og eksterne dagslysfaktorer øker fra de minste til de største rommene. Ved skjerming fra høyre side,



som er forklart i kapittel 4.4.2, er dette motsatt. Da øker dagslysfaktorene fra de største til de minste sonene. En ser av figurene at disse resultatene bytter plassering i forhold til hverandre fra sone 2 til sone 10. Dette skjer gradvis gjennom de 9 sonene, som en kan se på figur 58 i vedlegg C.7.1. Bakgrunnen for at dette skjer er forandringen i skygge på hver sone.

Ved å se på x- og y-aksen ser en at det er stor variasjon mellom sone 2 og sone 10. Ved å sammenstille alle sonene i en graf, med forskjellig farge for hver sone vil dette bli som vist i figur 51. Sonene er plassert i rekkefølge etter størrelse på formfaktor. Rommene med minst formfaktor er til høyre på grafen, mens rommene med størst formfaktor er til venstre på grafen. Sone 2 (lys grå) strekker seg lengst mot høyre, mens sone 10 (mørk grå) er lengst mot venstre. At sonene får forskjellig plassering i grafen kommer av at hver sone har forskjellig formfaktor, som er en av variablene på Y-aksen. Begrensninger for formfaktor er diskutert i kapittel 4.9.2.



Figur 51: Analyse av resultat fra soner enkeltvis

## 4.9 Begrensning

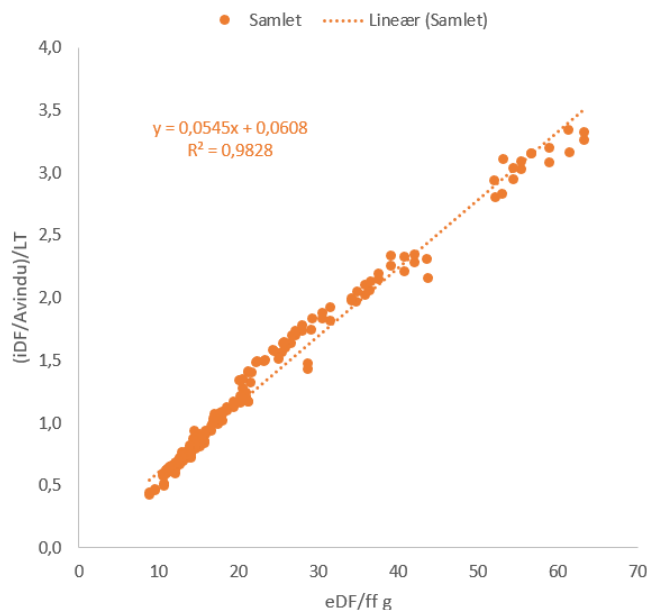
Teorien om at det vil være mulig å bruke en ligning til å forutsi intern dagslysfaktor, vindusareal, formfaktor for rommet, ekstern dagslysfaktor eller glassets lystransmisjon stemmer, men formelen må ha noen begrensninger. Gjennom de tidligere delkapitlene i kapittel 4 ser en at det er avvik ved presentasjonen av noen av resultatene. Svakheterne som er kommentert tidligere vil bli analysert i større detalj i dette kapittelet.

Svakheterne kommer av hvordan simuleringsmodellen er bygd opp, grad av skjerming for direkte stråling til soner og hvordan sonene er bygd opp. De begrensningene det blir konkludert med i dette kapittelet er bakgrunn for videre arbeid med ligningen. Forslag for videre arbeid kan en se i kapittel 7.

#### 4.9.1 Skjerming fra parallelt bygg

Caset med skjerming fra parallelt bygg skiller seg fra de andre casene som er sett på i denne oppgaven. Den uhindrede himmelvinkelen blir hindret i stor grad for hvert nivå nabobygget øker. Fra figur 51 ser en at mange punkter er i underkant av linjekonturen de øvrige punktene lager. Punktene som avviker kommer fra resultater med skjerming fra parallelt bygg.

Ved figur 52 er punkter fra 1. etasje ved simulering for nivå 2 og 1. og 2. etasje ved nivå 3 fjernet for alle sonene. Her kan en se at avviket fra trendlinjen i stor grad er fjernet og at de resterende resultatene lager konturene av en linje.



Figur 52: Parallell skjerming med begrensninger

Kapittel 2.5.2 forklarer hvordan en kan regne på grad av uhindret himmelvinkel. Ved å gjøre dette for punktene som er fjernet får en et utgangspunkt for begrensningen av uhindret himmelvinkel. Beregningen er vist i vedlegg C.8.1. Begrensningen som er satt er at det kreves en uhindret himmelvinkel på minimum  $80^\circ$ .

Dette gir kun utgangspunktet for en begrensning av formelen, for å sette en korrekt begrensning må det gjøres simuleringer med flere nivåer for skjerming enn de som er gjort i denne oppgaven. Dette er en del av de videre arbeidene som er nevnt i kapittel 7.

#### 4.9.2 Formfaktor

I arbeidet med å lage modellen som har vært utgangspunkt for alle simuleringene til denne oppgaven var det viktig at hver sone hadde forskjellig dybde. Dette var for å kunne se påvirkningen av dagslys i svært dype rom. I ettertid er det sett at dette resulterte i flere rom med uvanlig formfaktor. Formfaktoren er gitt ved lengde dividert på bredde, som forklart i kapittel 3.3.

Utgangspunktet for videre analyse er at rom med formfaktor opp til og lik 2 har en vanlig form. For å se på påvirkningen av dette på den lineære formelen er  $R^2$  tatt i bruk. Det er sett på sammenhengen ved tre sonesammensetninger: sone 2 til 5, sone 2 til 6 og sone 2 til 10. Resultatet for  $R^2$  er presentert i tabell 4 og den grafiske fremstillingen er i vedlegg C.8.2.

Tabell 4: Sammenligning av  $R^2$  med og uten soner med høy formfaktor

Sone	$R^2$
Sone 2-5	0,9791
Sone 2-6	0,9789
Sone 2-10	0,9771

Forskjellene som vises i tabellen er marginale. Ved å inkludere soner med formfaktor opp til 4 (sone 10) vil ikke ligningen bli begrenset i synlig grad, men bruksområdet vil ved behov bli større. På bakgrunn av dette vil begrensningen være satt slik at alle formfaktorer brukt i denne oppgaven vil bli inkludert.

#### 4.9.3 Sone 2

Sone 2 er den minste sonen. Det er 2,5 meter bredt og 2 meter langt. Den største andelen av strålingen inn i denne sonen vil antagelig være direkte fra himmel til måleplanet. Dette vil være en forskjell fra dypere soner som en kan anta vil få en større andel intern refleksjon på måleplanet. Plasseringen av måleplanet er forklart i kapittel 3.3.

Da sone 2 får et annet strålingsbilde intern i sonen er det undersøkt om dette påvirker resultatene. Dette er gjort ved å se hvordan  $R^2$  blir påvirket ved å inkludere og ekskludere denne sonen. Ved å se på flere kombinasjoner av hvilke soner som blir inkludert er resultatet at når sone 2 blir inkludert får en det høyeste tallet for  $R^2$ , og også da den beste statistiske sammenheng mellom resultater og lineær formel. Hvilke sammenhenger som ble testet ut er vist i tabell 5 under og grafisk i vedlegg C.8.3.

Tabell 5: Sammenligning av  $R^2$  med og uten sone 2

Sone	$R^2$
Sone 2-6	0,9789
Sone 3-6	0,963
sone 2-10	0,9771
sone 3-10	0,9679

Ut fra resultater vist i tabell 5 for sone 2 antas det at soner med liten lengde og stor andel direkte stråling fra himmel inn på måleplanet påvirker ikke formel. Dette er ikke satt som en begrensning for formelen.

#### 4.9.4 Sone 5

Ved å se på grafer som er presentert for hvert enkelt case ser det ut til at sone 5 avviker fra øvrige soner i alle resultater. Ved å se på resultatene i vedlegg for hvert enkelt case kan en se endring i intern dagslysfaktor ved sone 5.

Case med vertikal skjerming fra venstre side er tatt som eksempel for å forklare videre. Figur 53 viser et utklipp fra resultatene som er lagt ved i vedlegg C.2.1. Fra figuren kan en se at intern dagslysfaktor (inter DF) øker for hver sone til og med sone 5, deretter synker den ved sone 6, og øker derfra frem til sone 10. Det er undersøkt om avviket er grunnet en av de andre nærliggende sonene, men det er konkludert med at det er sone 5 som er avviket. Dette er fordi økningen ved sone 5 skiller seg ut fra den gradvise økningen for hver sone.

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu
etg 1	2 m	0,96	32,59	0,80	0,90	40,74	1,07
	3 m	1,02	33,61	1,20	1,26	28,01	0,81
	4 m	1,04	34,53	1,60	1,56	21,58	0,67
	5 m	1,14	35,42	2,00	1,95	17,71	0,59
	6 m	1,12	36,27	2,40	2,43	15,11	0,46
	7 m	1,14	37,08	2,80	2,91	13,24	0,39
	8 m	1,15	37,94	3,20	3,45	11,86	0,33
	9 m	1,18	38,77	3,60	4,00	10,77	0,30
	10 m	1,21	39,61	4,00	4,38	9,90	0,28
	etg 2	2 m	1,04	34,78	0,80	0,90	43,48
3 m		1,07	35,84	1,20	1,26	29,87	0,85
4 m		1,08	36,72	1,60	1,56	22,95	0,69
5 m		1,24	37,53	2,00	1,95	18,77	0,64
6 m		1,17	38,36	2,40	2,43	15,98	0,48
7 m		1,18	39,10	2,80	2,91	13,96	0,41
8 m		1,18	39,86	3,20	3,45	12,46	0,34
9 m		1,24	40,58	3,60	4,00	11,27	0,31
10 m		1,24	41,27	4,00	4,38	10,32	0,28

Figur 53: Utklipp fra vedlegg C.2.1, resultat for case vertikal skjerming fra venstre side

For å finne vindusstørrelsen som er benyttet i simuleringene var utgangspunktet å oppnå intern dagslysfaktor lik 2% ved uskjermet fasade og lystransmisjon lik 70%. I figur 54 er det 2. etasje som var utgangspunkt for å velge størrelse på vinduet. Intern dagslysfaktor for sone 5 i 2. etasje er markert i gult. Grunnen til at denne er høyere enn øvrige resultater for intern dagslysfaktor i etasjen er hvordan resultatene i IDA ICE forandrer seg for hver simulering, som forklart i kapittel 4.1. Det ble forsøkt å senke dette resultatet ved å gjøre vinduet for denne sonene mindre, men ved hver simulering endret også øvrige resultater seg. Det ble besluttet at avviket fra de øvrige fortsatt var lite, og det ble stilt spørsmål om dette ville gjøre utslag ved andre simuleringer.

	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	ff v	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu
ctg 1	2 m	2,022	47,98	0,80	2,50	0,90	59,98	2,25
	3 m	1,985	47,82	1,20	1,79	1,26	39,85	1,58
	4 m	1,981	47,66	1,60	1,44	1,56	29,79	1,27
	5 m	2,124	47,65	2,00	1,15	1,95	23,83	1,09
	6 m	2,017	47,62	2,40	0,93	2,43	19,84	0,83
	7 m	2,01	47,66	2,80	0,77	2,91	17,02	0,69
	8 m	2,005	47,69	3,20	0,65	3,45	14,90	0,58
	9 m	2,022	47,79	3,60	0,64	4,00	13,28	0,51
	10 m	2,031	47,99	4,00	0,70	4,38	12,00	0,46
	ctg 2	2 m	2,061	48,77	0,80	2,50	0,90	60,96
3 m		2,039	48,68	1,20	1,79	1,26	40,57	1,62
4 m		2,043	48,69	1,60	1,44	1,56	30,43	1,31
5 m		2,111	48,66	2,00	1,15	1,95	24,33	1,08
6 m		2,045	48,65	2,40	0,93	2,43	20,27	0,84
7 m		2,044	48,62	2,80	0,77	2,91	17,36	0,70
8 m		2,005	48,64	3,20	0,65	3,45	15,20	0,58
9 m		2,024	48,71	3,60	0,64	4,00	13,53	0,51
10 m		2,038	48,76	4,00	0,70	4,38	12,19	0,47

Figur 54: Utklipp fra vedlegg C.1.1, resultat for case uskjermet

Da det ble funnet at det var en sammenheng mellom flere faktorer i simuleringen hvor en dividerer intern dagslysfaktor på vindusareal, var tanken at dette ville jevne ut forskjellen. Fra utklippet i figur 54 ser en at sone 5 ikke skiller seg ut i kolonnen med intern dagslysfaktor dividert på vindusareal (iDF/Avindu).

Da det ble sett på resultater for hver enkelt sone for seg, i kapittel 4.8.1, kom det frem at formen på resultatene i sone 5 ikke skiller seg fra de øvrige sonene. Dette er vist i vedlegg C.7.1. Det ble videre sett på om hvordan sone 5 påvirker sammenhengen mellom resultatene som er inkludert i en endelige ligningen, på samme måte som for sone 2 i kapittel 4.9.3.

Tabell 6: Sammenligning av  $R^2$  med og uten sone 5

Sone	$R^2$
Sone 2-6	0,9789
Sone 2-4+6	0,9796
sone 2-10	0,9771
sone 2-4+6-10	0,9823

Resultatene presentert i tabell 6 viser at  $R^2$  får en høyere verdi når sone 5 er utelatt. Den grafiske fremstillingen av resultatene er vist i vedlegg C.8.4. Det er svært små forskjeller mellom resultatene. Da forskjellene er marginale vil det ikke bli satt en begrensning på bakgrunn av dette.

#### 4.9.5 Annet skjermingsbilde, sone 2 og 10

Som forklart i kapittel 4.6 og 4.7 har de ytterste sonene, sone 2 og 10, et annet skjermingsbilde ved case med skjerming fra parallelt bygg og skjerming fra balkong. For å se hvor mye dette påvirker den statistiske sammenhengen mellom de endelige resultatene er det sett på hvordan dette påvirker  $R^2$ .

Tabell 7: Sammenligning av  $R^2$  med og uten sone 2 og 10 for satte case

Sone	$R^2$
Sone 2-10 m/ soner	0,9771
Sone 2-10 u/ soner	0,975

Fra tabell 7 og grafisk fremtilling i vedlegg C.8.5 kan en se at nøyaktigheten er best ved inkludering av simuleringene for sone 2 og 10 ved case med skjerming fra parallelt bygg og skjerming fra balkong. Dette betyr at selv om disse sonene har et annet skjermingsbilde enn øvrige soner, påvirker ikke dette resultatene i like stor grad som tidligere antatt.

Ut fra resultatene som vist over er det ingen begrensning ved plassering av balkong over en sone.

#### 4.9.6 Oppsummerte begrensninger

Ut fra analysene gjort i kapittel 4.9.1 til 4.9.5 er det satt begrensninger til ligningen.

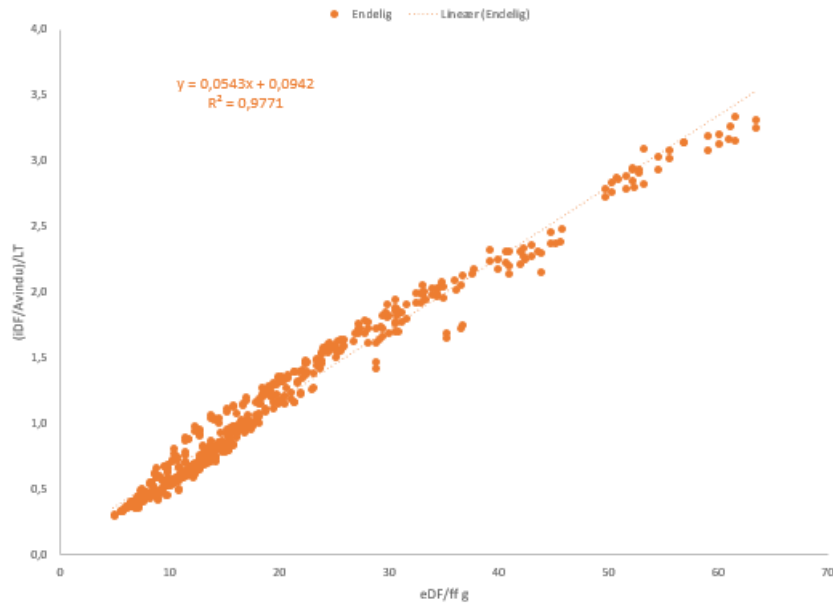
De endelige begrensninger for formelen er:

- Uhindret himmelvinkel  $\geq 80^\circ$
- Formfaktor mellom 0,8 og 4
  - Lengde dividert på bredde
  - Vegg med vindu regnes som bredde
- Lystransmisjon:  $50\% \leq LT \leq 70\%$
- Følger forutsetninger satt i kapittel 3.3 som blant annet inneholder:
  - Refleksjonsfaktor med verdi fra tabell 2
  - Tykkelse på yttervegg lik 420 mm
  - Kun et vindu per sone
  - Simuleringer gjøres med presisjonsnivået “high precision”
  - Kilma- og lokasjonsdata satt til Oslo og Blindern som vist i vedlegg B.3

#### 4.10 Formel for tidligfase

Målet med oppgaven er å finne en formel som kan benyttes i tidligfase ved dagslysberegninger. Dette gjøres på bakgrunn av en lineær sammenheng mellom intern dagslysfaktor, ekstern dagslysfaktor, vindusareal, formfaktor for sonen og lystransmisjon. I arbeidet med oppgaven har alle faktorer vært kjent fra resultater etter simulering i IDA ICE. Formålet med formelen er å kunne bruke den som grunnlag tidlig i prosjekteringsfasen for å kunne forutsi hva de forskjellige faktorene i formelen må være for å oppnå ønsket intern dagslysfaktor. På dette stadiet i prosjekteringen vil en kunne kjøre simuleringer for å finne ekstern dagslysfaktor på fasaden. Ut fra dette vil en kunne avgrense områder for plassering av vindu og bestemme vindusareal eller formfaktor for rommet ved bruk av formelen. For å kunne gjøre dette må valg av lystransmisjon i glasset og ønsket intern dagslysfaktor være bestemt.

Utgangspunktet for den endelige formelen er den lineære formelen for trendlinjen med alle aktuelle resultater inkludert. Denne er vist i figur 55. Begrensningene for formelen er satt og begrunnet i kapittel 4.9.



Figur 55: Utgangspunkt for formel

Formelen til trendlinjen er vist i formel 11. Her er x og y erstattet med variablene aksene består av.

$$\frac{iDF}{\frac{Avindu}{LT}} = 0,0543 * \frac{eDF}{ff_g} + 0,0942 \quad (11)$$

Variablene i formelen er byttet for at den skal være mest mulig brukervennlig. Dette er gjort for å kunne ha vindusareal eller formfaktor for rommet som ukjente verdier. Formel 12 viser formelen når vindusareal er ukjent. Ved å bruke denne formelen vil det være mulig å finne nødvendig vindusareal ved å ha kjente verdier for de øvrige faktorene i funksjonen. Formel 13 viser formelen når formfaktor for sonen er ukjent. Når denne formelen skal benyttes må de øvrige faktorene være kjent.

$$Avindu = \frac{iDF * ff_g}{0,0942 * LT * ff_g + 0,0543 * LT * eDF} \quad (12)$$

$$ff_g = \frac{0,0543 * Avindu * LT * eDF}{iDF - 0,0942 * Avindu * LT} \quad (13)$$

#### 4.10.1 Bruk av formel

Formlene benyttes ved å måle gjennomsnittlig dagslysfaktor på fasadeveggen. I IDA ICE blir dette gjort ved å opprette et “measuring plane” på fasadeveggen av sonen. Deretter simuleres for gjennomsnittlig dagslysfaktor i “measuring plane”. Resultatet gir ekstern dagslysfaktor som benyttes i formelen. Ønsket intern dagslysfaktor og lystransmisjon for glass må defineres før en kan utføre beregningen. Hvilken formel en skal benytte avhenger av om en ønsker å finne nødvendig vindusareal eller formfaktor. Om en ønsker å beregne vindusareal må en ha fastsatt ønsket formfaktor for rommet, om en derimot ønsker å finne formfaktor for rommet må en ha fastsatt ønsket vindusareal.

#### 4.10.2 Utprøving av formel

For å teste funksjonaliteten til formel 12 og 13 er de prøvd ut på forskjellige soner.

For å se hvordan formelene fungerer er det simulert soner i IDA ICE som ikke har lik formfaktor som sonene i modellen brukt i oppgaven. Målet på hvor nøyaktig formelene er vil gis ved å se på differansen mellom ønsket intern dagslysfaktor og simulert intern dagslysfaktor. Det er en differanse mellom disse verdiene, det betyr resultatene ved simulering vil avvike fra ønsket resultat som er input i formelen. Spesifikt avvik må utarbeides ved videre utprøving av formel.

Formelene er prøvd ut for hver case med lystransmisjon lik 50% og 70%. Utprøvingen ble gjort ved å simulere ekstern dagslysfaktor for fasaden til sonen. Deretter ble formel 12 benyttet for å finne nødvendig vindusareal. For å finne avviket ved denne formelen er det sett på differansen for intern dagslysfaktor. Videre ble formel 13 benyttet med beregnet verdi for vindusareal. Differansen mellom benyttet formfaktor og beregnet formfaktor gir differansen for formfaktor. Utregninger er vist i vedlegg C.9.1.

Differansen for intern dagslysfaktor er maksimalt 0,48, mens differanse mellom benyttet og beregnet formfaktor på samme sone er 0,03. Minste differanse mellom ønsker og beregnet intern dagslysfaktor er 0,08, på samme soner er differansen for formfaktor 0,11. Dette viser at det er avvik mellom formel og simulering. Resultatene fra utprøvingen er vist i tabell 8 under.

Tabell 8: Resultat fra utprøving av formler ved simulering

Test nr.	Case	eDF	Ønsket iDF	Beregnet iDF	Brukt ff	Beregnet ff	Diff. iDF	Diff. ff
1	Uskjermet	47,24	2	2,28	1,40	1,42	0,28	0,02
2	Uskjermet	47,24	2	1,90	1,80	1,85	0,10	0,05
3	Balkong	27,68	2	1,52	1,33	1,36	0,48	0,03
4	Balkong	27,68	2	1,88	1,00	1,00	0,12	0,00
5	Høyre	40,40	2	2,16	1,60	1,64	0,16	0,04
6	Høyre	40,40	2	2,24	1,40	1,42	0,24	0,02
7	Venstre	37,81	2	1,61	1,33	1,35	0,40	0,02
8	Venstre	37,81	2	2,25	1,40	1,43	0,25	0,03
9	Dobbel vertikal	22,99	2	2,14	1,00	1,00	0,14	0,00
10	Dobbel vertikal	22,99	2	1,69	0,83	0,82	0,31	0,01
11	Parallell	43,56	2	1,92	2,20	2,31	0,08	0,11
12	Parallell	43,56	2	1,54	1,00	1,00	0,46	0,00



Ved kvadratiske rom, da formfaktoren bli lik 1, er det ingen differanse mellom beregnet og benyttet formfaktor. I disse tilfellene er det fortsatt en differanse mellom ønsket og simulert intern dagslysfaktor.

Resultatetene avviker i både positiv og negativ retning. For intern dagslysfaktor er det største avviket på 24%, mens det minste avviket er på 4%. For formfaktor er de største og minste avvikene på henholdsvis 5% og 0%, i tabellen er avvikene kun vist som differanse. Avvikene oppstår både ved lystransmisjon lik 50% og 70%. Om disse avvikene er for store til at formelen er nyttig diskuteres videre i kapittel 5.

Ved arbeid med formelene er det funnet at den har flere nytteområder. Formelen kan brukes for å finne begrensninger for formfaktor eller vindusareal på bakgrunn av intern dagslysfaktor, ekstern dagslysfaktor og lystransmisjon. Dette ved å sette opp formelen som vist i vedlegg C.9.2. Om verdien “ $v$ ”, som viser avstand mellom ytterkant vegg og vindu, er negativ vil ikke formfaktor på rommet og vindusstørrelse kunne gi ønsket intern dagslysfaktor.

## 5 Diskusjon

Før arbeidet med denne masteroppgaven startet var inntrykket at et skjermende bygg kun var negativt. Det vil føre til skjerming for dagslys, i tillegg til at utsikt vil bli hindret. Gjennom analyser av resultatene fra de forskjellige casene fikk jeg sett den positive siden av skjermende bygg. Høy refleksjonsfaktor på nabobygg vil bidra positivt ved refleksjon av stråler. I tettbygde områder er dette et positivt virkemiddel som kan brukes i større grad enn det brukes idag. Dette vil føre til at lavere bygg og de nederste etasjene i større bygg vil kunne utnytte dagslys som belysningskilde i større grad enn om byggene har lav refleksjonsfaktor.

Dagslys i et rom påvirker ikke bare luminansen i rommet. Mye direkte sollys inn i et rom vil være med å varme opp rommet. Blending er også et problem som kan komme av dagslys inn i rom. Det påvirker innemiljøet på flere måter, noe som ikke er tatt opp i denne oppgaven. Ved noen tilfeller er solskjerming et godt tiltak, mens ved andre tilfeller må glassegenskapene endres for å hindre at det skal påvirke inneklimaet i negativ retning.

### 5.1 Metode

Metoden som er brukt i oppgaven bygger på en modell som er simulert i IDA ICE. Gjennom utarbeidelsen av modellen ble det tatt mange valg. I ettertid er det funnet at en annen beslutning enn den som ble tatt kunne vært fordelaktig. Dette er diskutert i dette kapitlet.

En uskjermet modell var utgangspunktet for sensitivitetsanalysen. Sensitivitetsanalysen består av 6 forskjellige tilfeller, hvor hvert tilfelle har forskjellig utvendig påvirkning. Målet med sensitivitetsanalysen var å simulere for skjermingstilfeller som er reelle for boligbygg. Casene som er brukt i denne oppgaven gir et godt utgangspunkt for skjermingstilfeller som er reelle for boliger.

Det er simulert for soner som har en forskjell i dybde på 1 meter. Den minste sonen er 2 meter dyp, mens den største er 10 meter dyp. I ettertid er det funnet at alle sonene som er laget som grunnlag for formelen ikke er like nødvendige. Om oppgaven skulle utføres på nytt ville fokuset vært på soner fra 2-6 meters dybde. Det ville vært mer nyttig å simulere for disse sonene, og heller ha mindre forskjell på lengden mellom hver sone. Med en differanse på 0,5 meter mellom hver sone ville det blitt simulert for flere realistiske soner enn det ble gjort med en differanse på 1 meter på soner med 2-10 meters dybde.

Vindusareal for hver sone ble bestemt ut fra de innledende simuleringene hvor målet var å oppnå intern dagslysfaktor lik 2%. I disse simuleringene var sonene uskjermet og hadde lystransmisjon lik 70%. I ettertid ser jeg at dette er et dårlig utgangspunkt for videre simuleringer hvor sonene vil bli skjermet. Dette gjør at den interne dagslysfaktoren vil bli redusert. Lystransmisjon lik 70% transmitterer mye lys. Ved uskjermede simuleringer med lystransmisjon lik 50% er allerede den interne dagslysfaktoren tydelig redusert. Med dette som grunnlag vil det være relevant å kontrollere at forholdet mellom intern dagslysfaktor, vindusareal, lystransmisjon, ekstern dagslysfaktor og formfaktor for rommet opprettholdes ved høyere intern dagslysfaktor. Ekstern dagslysfaktor vil ikke bli påvirket av disse endringene. Om oppgaven skulle blitt utarbeidet på nytt ville den hatt et mer konservativt utgangspunkt.

Veggykkelsen på veggen med vindu er satt til 420 mm. En yttervegg på 420 mm antas å være tykkere enn gjennomsnittet. Tallet ble hentet fra et boligprosjekt som ble vurdert som

utgangspunkt for denne oppgaven. Ved videre arbeid ble det funnet at boligprosjektet ikke var relevant, derfor er dette ikke nevnt tidligere i oppgaven. I ettertid ser jeg at det ville vært mer realistisk å benytte fasadevegger med tykkelse lik for eksempel 300 mm. Ved ny utførelse av simuleringene ville ytterveggen vært tynnere. Fordelen med at det er simulert med en relativt tykk vegg er at ved bruk av en tynnere vegg vil mer dagslys slippe inn i rommet, da karmer ikke vil være skjermende. Med bakgrunn i dette vil resultatet i denne oppgaven være konservativt ved valg av mindre veggtykkelse.

## 5.2 Formel

### 5.2.1 Begrensninger

Begrensningene som er satt for formlene er blant annet at de skal følge forutsetningene som er satt for oppgaven. Dette er konservativt, men gir en sikkerhet ved at formlene ikke er prøvd ut på andre tilfeller. Dette er en del av de videre arbeidene som kan gjøres med oppgaven. Ved videre arbeid med dette vil begrensningene som er satt til bruk av formlene forhåpentligvis kunne modereres.

En av begrensningene til formel 12 og 13 er vinkelen til  $\theta$ , uhindret himmelvinkel. I begrensninger er det konstatert  $\theta \geq 80^\circ$ . Denne beslutningen ble tatt på bakgrunn av resultatene gjort for skjerming på nivå 1, 2 og 3 ved skjerming fra parallelt bygg. Resultatene som ble fjernet med begrensningen er fra 1. etasje ved nivå 2 og 3 og fra 2. etasje ved nivå 3. Simuleringene som ble inkludert i videre beregninger har alle uhindret himmelvinkel større enn  $80^\circ$ . Av sonene som ikke ble inkludert er største uhindrede himmelvinkel lik  $58,8^\circ$ . At begrensningen er satt for  $\theta \geq 80^\circ$  er konservativt. Britiske BRE har på generelt grunnlag satt at  $\theta \geq 65^\circ$  vil gi tilfredsstillende dagslys i et rom, som forklart i kapittel 2.5.2. Det bør undersøkes videre om begrensningen for uhindret himmelvinkel bør modereres, derfor er dette et av punktene som er nevnt i kapittel 7, Videre arbeid.

### 5.2.2 Bruk av formel

Oppgaven resulterer i to formler som kan benyttes for å oppnå ønsket intern dagslysfaktor. Formelene kan brukes i tidlig fase ved prosjektering.

Utarbeidelsen av hovedformelen, formel 11 i kapittel 4.10, har vært grundig. Resultatene viser at den endelige formelen har  $R^2 = 0,9771$ . Dette er basert på resultatene ved simulering for flere hundre soner.

Formel 12 og 13, som er utarbeidet fra formel 11, er testet i liten grad. De er testet på to soner for hvert skjermingstilfelle, hvor sonene har lystransmisjon lik 50% og 70%. Dette resulterer i totalt 12 soner. For å kunne konkludere om formlene vil kunne brukes med stor grad av sikkerhet må de testes i flere tilfeller.

Det er funnet større og mindre avvik ut ved tilfellene formel 12 og 13 er testet på. Er avviket for stort til at formlene kan benyttes? Vil formlene gi nytte til prosjekterende med erfaring innenfor beregning av dagslys i reelle boligprosjekter? Formlene vil kunne gi en indikator på vindusstørrelse eller formfaktor på rom, men ikke en fasit. De vil være et verktøy som kan brukes i tidligfase. I tidligfase vil de kunne være nyttige til å sammenligne påvirkningen av lystransmisjon i glass, vindusareal og formfaktorer. Det vektlegges at ved bruk av formelen må en forvente et avvik fra simulert resultat. Formlene må prøves ut i større grad for å kunne si noe med større sikkerhet.

## 6 Konklusjon

I denne masteroppgaven er det jobbet med å finne en ny metode for å beregne dagslysfaktor. Hensikten med denne metoden er at den skal kunne benyttes tidlig i prosjekteringsfasen.

Resultatene viser at det er en lineær sammenheng mellom intern dagslysfaktor, vindusareal, lystransmisjon, ekstern dagslysfaktor og formfaktor for rommet. Den lineære sammenhengen blir opprettholdt ved flere reelle tilfeller for uskjermet og skjermet bygg. Ved uskjermet bygg er gjennomsnittlig ekstern dagslysfaktor cirka 48%. Ved tilfeller av skjerming fra nabobygg vil den bli høyere grunnet utereflekterte stråler fra nabobygget og lavere grunnet skjerming for direkte stråling fra himmelkomponent.

Det er funnet tilfeller gjennom sensitivitetsanalyser som påvirker rommene i den grad at de avviker fra den lineære sammenhengen. Her er det satt begrensninger for tilfeller hvor sammenhengen gjelder. Dette er gjort for å få størst mulig nøyaktighet i og ved bruk av den endelige formelen som er utarbeidet.

Analysen i kapittel 4 resulterer i to formler. Formlene er gjengitt fra kapittel 4.10 Formel 14 kan brukes for å finne nødvendig vindusareal, mens formel 15 kan brukes for å finne nødvendig formfaktor for rommet. Ut fra forsøk med formel 14 er det funnet et signifikant avvik på opptil 24%. Ved bruk av formel 15 som er utarbeidet på samme grunnlag er det største avviket 5%. Formlene er testet i liten skala. Dette gir at det er liten sikkerhet rundt resultatene, som diskutert i kapittel 5. Usikkerheten ved bruk av formlene er relativt stor. Formlene kan gi en indikasjon på omtrentlig størrelse av vindu eller formfaktor av rom som sannsynligvis må justeres senere i prosjekteringsfasen. Justeringen som eventuelt må gjøres kan også være av andre påvirkninger på dagslys, for eksempel lystransmisjon i vindusglasset, fjerne eller endre størrelse på overhengende balkong og endring av farger og materialer som vil gi en høyere refleksjonsverdi.

$$A_{vindu} = \frac{iDF * ff_g}{0,0942 * LT * ff_g + 0,0543 * LT * eDF} \quad (14)$$

$$ff_g = \frac{0,0543 * A_{vindu} * LT * eDF}{iDF - 0,0942 * A_{vindu} * LT} \quad (15)$$

Formlene kan brukes for å få et bilde av nødvendig størrelse på vindu eller sone. Det vil være en indikator som kan være nyttig tidlig i prosjekteringsfasen. Om en ser at den gjennomsnittlige dagslysfaktoren på deler av fasaden blir lav kan en ta utgangspunkt i at mindre rom med større vindusflate må plasseres på dette området for å oppnå krav for intern dagslysfaktor. Om deler av fasaden får en høy gjennomsnittlig dagslysfaktor kan en ha mindre vinduer eller større rom på disse områdene. Det vil også være nyttig å bruke formlene til å se hvilken forskjell lystransmisjon i vindusglassene gir.

Ved å arbeide videre med formelene og deres begrensninger vil avviket forhåpentligvis senkes. Med et lavere avvik vil formelene være en større ressurs ved prosjektering. Forslag til videre arbeid er presentert i neste kapittel, kapittel 7.

## 7 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med masteroppgaven er det funnet flere ting som vil være interessant å se nærmere på. Videre arbeid som foreslås og settes i sammenheng med resultatene beskrevet i denne oppgaven vil være et godt grunnlag for å sette flere forutsetninger til formel 14 og 15. Ved videre utprøving av disse formlene vil grunnlaget og sikkerheten for når de kan og ikke kan brukes bli sterkere. Det vil gi grunnlag for å sette en toleranse for avvik ved bruk av formlene. Videre arbeid er foreslått i listen under:

- Se på flere variasjoner for sonene.
  - I denne oppgaven er refleksjonsfaktoren lik i alle simuleringer, hvor mye vil endringer av dette påvirke dagslys?
  - Variere med formfaktorer for rom og for vinduer. Utformingen av dette har vært standardisert i denne oppgaven, hvordan vil større variasjoner påvirke dagslys i rommet?
  - Hvordan påvirkning gir flere vinduer på samme vegg? Hvordan påvirker vinduer på flere vegger? Vil sammenhengen som er funnet i denne oppgaven fortsatt bli beholdt?
  - I denne oppgaven er det sett på skjerming fra overhengende balkong. Man kan også se på tilfeller med overhengende balkong og balkong for sonen. Dette vil gi et bilde av skjerming ovenfra, gelender vil skjerme forfra og balkong vil skjerme for refleksjoner fra bakken.
  - Simuleringene er gjort med samme veggtykkelse. Ved tynnere fasadevegg vil mer dagslys slippe inn i rommet. Hvor mye vil dette påvirke den interne dagslysfaktoren? Vil forholdet som er funnet i formel 14 og 15 bli påvirket i så stor grad at den gjelder per veggtykkelse?
- Gjøre tilsvarende simuleringer som i denne oppgaven for soner som oppnår høyere intern dagslysfaktor. Vil sammenhengen være lineær ved høyere intern dagslysfaktor?
- En av begrensningene som er satt for formelen er uhindret himmelvinkel  $\geq 80^\circ$ . Denne begrensningen er satt på bakgrunn av simuleringene som er gjort i denne oppgaven. Her bør det undersøkes om begrensningen kan bli satt lavere.
- Gjøre tilsvarende simuleringer i et annet simuleringsprogram og sammenligne resultatene.

## Referanser

- [1] K. Johnsen og J. Christoffersen, «Dagslys i rum og bygninger,» 2008.
- [2] Nobel Prize in Physiology or Medicine. (2017). «The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017,» adresse: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/7411-7411-2017/>. (accessed: 12.01.2021).
- [3] K. E. West, M. R. Jablonski, B. Warfield, K. S. Cecil, M. James, M. A. Ayers, J. Maida, C. Bowen, D. H. Sliney, M. D. Rollag, J. P. Hanifin og G. C. Brainard, «Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans,» *Journal of Applied Physiology*, årg. 110, nr. 3, s. 619–626, 2011. DOI: 10.1152/jappphysiol.01413.2009.
- [4] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning,» 2017.
- [5] L. Karlsen. (2019). «Hvordan sikre gode dagslysforhold,» adresse: [https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/04/07\\_LineKarlsen\\_Hvordan\\_02.04.19-1.pdf](https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/04/07_LineKarlsen_Hvordan_02.04.19-1.pdf). (accessed: 08.01.2021).
- [6] Norsk lysteknisk komite. (2014). «Faktaark F03 - Dagslysfaktor,» adresse: [https://img2.custompublish.com/getfile.php/3059152.2372.eqsydxupbw/Faktaark+03\\_Dagslysfaktor\\_3-2014+kopi.pdf?return=lyskultur.custompublish.com](https://img2.custompublish.com/getfile.php/3059152.2372.eqsydxupbw/Faktaark+03_Dagslysfaktor_3-2014+kopi.pdf?return=lyskultur.custompublish.com).
- [7] Grønn Byggallianse. (-). «Nysgjerrig på BREEAM-NOR?» Adresse: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/>. (accessed: 29.01.2021).
- [8] Building Research Establishment. (2021). «BREEAM - Helping create sustainable real estate around the world,» adresse: <https://www.bregroup.com/products/breeam/>. (accessed: 29.01.2021).
- [9] Grønn Byggallianse, *BREEAM-NOR 2016 for nybygg*, 2019. adresse: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/12/KOPI-SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>, (accessed: 29.01.2021).
- [10] Lavenergiprogrammet Tekna. (2019). «Slik sikrer du godt dagslys i passivhus,» adresse: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/slik-sikrer-du-godt-dagslys-i-passivhus/>. (accessed: 08.01.2021).
- [11] K. Alshaibani, «Average daylight factor for the ISO/CIE Standard General Sky,» 6. ser., årg. 48, 2015.
- [12] Y. Michaud. (2014). «Natural lighting,» adresse: <https://www.slideserve.com/yves/8-natural-lighting>. (accessed: 04.02.2021).
- [13] «Estimation of Point Daylight Factor (PDF) Average Daylight Factor (ADF) and Vertical Daylight Factor (VDF) under various obstructed CIE Standard Skies,» 2019. adresse: [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019\\_210943.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019_210943.pdf), (accessed: 07.05.2021).
- [14] B. Matusiak. (2011). «Dagslys, finnes det et optimalt nivå?» Adresse: [http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2011/05\\_Matusiak.pdf](http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2011/05_Matusiak.pdf). (accessed: 06.05.2021).
- [15] J. Nersveen, *421.621 Metoder for distribusjon av dagslys i bygninger*. SINTEF, 2001.
- [16] «Dagslys i bygninger, beste praksis i byggeprosjekter og forslag til utvikling av regelverket,» 2020. adresse: <https://www.rif.no/wp-content/uploads/2020/02/Dagslys-februar-2020.pdf>, (accessed: 12.01.2021).

- [17] L. Karlsen, «Forelesning u42 - Dagslys,» Upublisert.
- [18] C. Reinhart og V. LoVerso, «A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight,» 42. ser., årg. 1, 2019. DOI: 10.1177/1477153509104765.
- [19] «Daylight and sunlight in housing,» 2017. adresse: <https://goodhomes.org.uk/wp-content/uploads/2017/07/New-Homes-and-Our-Health-Stephanie-King-BRE.pdf>, (accessed: 07.05.2021).
- [20] J. Nersveen, *421.626 Beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor og glassareal*. SINTEF, 2004.
- [21] Daylight Experts Ltd. (2017). «Climate-Based Daylight Modelling,» adresse: <http://climate-based-daylighting.com/doku.php?id=academic:climate-based-daylight-modelling>. (accessed: 31.01.2021).
- [22] P. Khartwell. (2017). «Understanding the Sky View Factor,» adresse: <https://mau.hypotheses.org/271>. (accessed: 08.01.2021).
- [23] e. a. A. Middel, «Sky View Factor footprints for urban climate modeling,» årg. 25, 2018.
- [24] «Daylight calculations in practice, An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms,» 2013. adresse: <https://sbi.dk/Assets/Daylight-calculations-in-practice/daylight-calculations-in-practice.pdf>, (accessed: 22.02.2021).
- [25] A. S. Charity Lu Alex Roetter. (1998). «Types of Ray Tracing,» adresse: <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/1997-98/ray-tracing/types.html>. (accessed: 25.02.2021).
- [26] E. S. AB. (2020). «IDA Indoor Climate and Energy,» adresse: <https://www.equa.se/en/ida-ice>. (accessed: 01.03.2021).
- [27] «BIM i energi- og inneklimaberegninger,» 2015. adresse: <https://www.erichsenhorgen.no/media/1131/bim-i-energi-og-inneklimaberegninger-del-4.pdf>, (accessed: 22.02.2021).

## Vedlegg

### A Introduksjon

#### A.1 BREEAM

Utklipp fra BREEAM-NOR 2016 [9].

##### Dagslys

Opptil to poeng for næringsbygg og opptil fire poeng for boligbygg

##### 2 ENTEN

2.a Ett poeng for næringsbygg og to poeng for boligbygg:  
Tilgangen på dagslys prosjekteres i samsvar med følgende gjennomsnittlige dagslysfaktorer:

Tabell 9: Minsteverdier for nødvendig gjennomsnittlig dagslysfaktor

	Bredegrad (°)	
	55–60	≥ 60
Alle bygningskategorier	2,1 %	2,2 %

##### ELLER

2.b To poeng for næringsbygg og fire poeng for boligbygg:  
Tilgangen på dagslys prosjekteres i samsvar med gjennomsnittlig dagslysfaktor i 2.a OG jevnhet (uniformity) i Tabell 11

##### ELLER

2.c Relevante områder av bygget oppfyller de klimabaserte dagslysmålene gitt i tabell 12.

Gjennomsnittlig dagslysfaktor, -jevnhet (uniformity) og de klimabaserte dagslysmålene (avhengig av hva som er relevant) kreves i minst 80 % (etter areal) av relevante områder i både nærings- og boligbygg. For handelsbygg gjelder kravet minst 35 % (etter areal) av salgsområdet.













Tabell 11: Jevnhetskriterier for dagslys

Områdetype	Relevante kriterier
Næringsbygg: rom for varig opphold (dersom annet ikke angis nedenfor)	ENTEN a) ELLER ((b) og c)) nedenfor
Boligbygg: kjøkken	ENTEN a) ELLER c) nedenfor
Boligbygg: stuer, spisestuer (inkludert hjemmekontor)	
Handelsbygg: salgsområder	Ingen tilleggskriterier
<p>a. Jevnhet på minst 0,3 eller en minste dagslysfaktor i et punkt på minst 0,3 ganger kravet til gjennomsnittlig dagslysfaktor i kriterium 2a. Områder med glasstak, f.eks. atrier, må oppnå en jevnhet på minst 0,7 eller en minste dagslysfaktor i et punkt på minst 0,7 ganger kravet til gjennomsnittlig dagslysfaktor i kriterium 2a.</p> <p>b. Minst 80 % av rommet har direkte himmellys fra arbeidsplassens høyde (0,8 m i rom for varig opphold og i boligbygg).</p> <p>c. Kriteriet for romdybde <math>d/w + d/H_w &lt; 2/(1-R_b)</math> er oppfylt. Der <math>d</math> = romdybde, <math>w</math> = rombredde, <math>H_w</math> = høyden fra vinduets overkarm til gulvnivå, <math>R_b</math> = gjennomsnittlig refleksjonsfaktor for overflater i bakre halvdel av rommet.</p> <p>Merk: Tabell 13 angir maksimal romdybde i meter for forskjellige rombredder og ulike høyder for vinduets overkarm i sidebelyste rom.</p>	



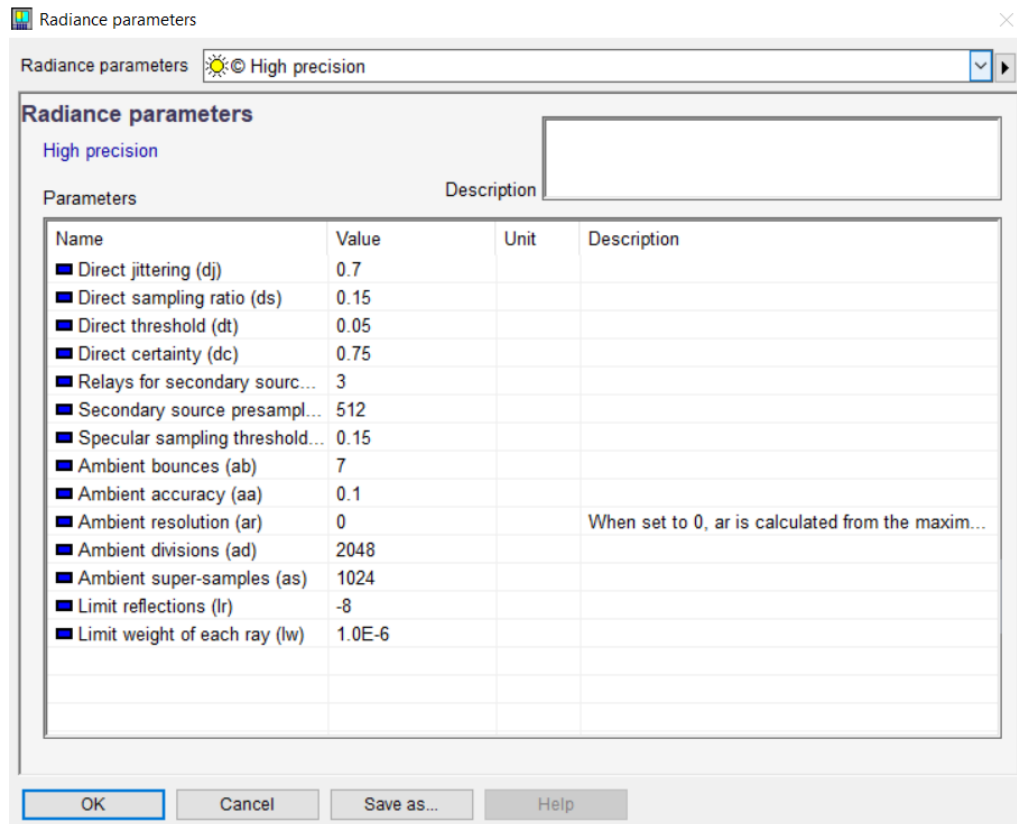
## A.2 Refleksjonsfaktor

Utklipp fra RIF Dagslysveiledning [16].

Farge	Illustrasjon	Refleksjonsfaktor
Hvit, høyglans		80 %
Hvit, matt		70 %
Lys grå		40 %
Lys hvitpigmentert eikeparkett		35 %
Oljet eikeparkett		25 %
Mørk valnøtt parkett		15 %
Mørkt teppegulv		4 %
Medium mørkt teppegulv		12 %
Lyst teppegulv		27 %
Rød tegl		20 %
Grå tegl		18 %
Gulbrun tegl		21 %
Medium mørk betong		19 %
Lys betong		35 %
Patinert treverk		40 %

## B Metode

### B.1 Presisjonsnivå



## B.2 Klima- og lokasjonsdata

### Climate file

IDA Indoor Climate and Energy 4.99017 License: ICE40X:ICE40X:ED170/T5T4D (educational license)

Object: Climate file

Description:

Date: 2021-01-01 - 2021-12-31

Saved: 02.03.2021 14:27:24

	Variables					
	Dry-bulb temperature, Deg-C	Rel humidity of air, %	Direction of wind, Deg	Speed of meteorological wind, m/s	Direct normal rad, W/m2	Diffuse rad on hor surf, W/m2
January	-5.1	86.2	112.3	2.2	16.3	8.9
February	-1.4	75.2	126.6	2.3	80.1	22.6
March	1.8	69.6	123.0	2.7	121.0	44.6
April	6.2	64.5	133.5	2.5	168.6	71.6
May	11.2	60.0	105.3	3.0	188.7	94.0
June	15.1	66.9	140.7	3.1	194.8	107.4
July	18.7	64.5	156.1	2.7	201.0	99.6
August	15.8	70.5	104.5	2.5	143.1	84.2
September	12.2	73.8	115.3	2.3	103.7	56.2
October	7.7	81.6	131.1	2.4	55.8	26.4
November	2.5	81.1	138.5	2.3	30.9	10.8
December	-1.7	82.3	75.0	3.2	12.2	4.7
mean	7.0	73.0	121.7	2.6	109.8	52.7
mean*8759.0 h	60921.6	639471.9	1065824.9	22748.5	961594.8	461905.1
min	-5.1	60.0	75.0	2.2	12.2	4.7
max	18.7	86.2	156.1	3.2	201.0	107.4

Filename [View data](#)

Wind measurement height  [m]

**Position**

Station   
Country   
Latitude  [°] Altitude above sea level  [m]  
Longitude  [°] Time zone  [h]

**Object**

Name   
Description

Location

Location

**Position**

Country

City

Latitude  ° Elevation  m

Longitude  ° Time zone  h

[Climate description](#)

**Design day data**

Design data file

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

**Object**

Name

Description

### B.3 Vindusparametere

Parameter	Verdi	Enhet
Solar heat gain coefficient (g)	0,68	-
Solar transmittance (t)	0,6	-
U-value	1,9	$W/(m^2K)$
Internal emissivity	0,837	-
External emissivity	0,837	-

## B.4 Størrelse soner og vinduer

Vedlegget viser størrelse på soner og vinduer for å oppnå intern dagslysfaktor lik 2%.

Tabell 9: Dimensjon for soner

	bredde	lengde	høyde	A	ff
Dybde: 2m	2,5	2	2,6	5	0,80
Dybde: 3m	2,5	3	2,6	7,5	1,20
Dybde: 4m	2,5	4	2,6	10	1,60
Dybde: 5m	2,5	5	2,6	12,5	2,00
Dybde: 6m	2,5	6	2,6	15	2,40
Dybde: 7m	2,5	7	2,6	17,5	2,80
Dybde: 8m	2,5	8	2,6	20	3,20
Dybde: 9m	2,5	9	2,6	22,5	3,60
Dybde: 10m	2,5	10	2,6	25	4,00

Tabell 10: Dimensjon for vinduer

	bredde	høyde	A	ff
Vindu: 2m	0,6	1,5	0,9	2,50
Vindu: 3m	0,84	1,5	1,26	1,79
Vindu: 4m	1,04	1,5	1,56	1,44
Vindu: 5m	1,3	1,5	1,95	1,15
Vindu: 6m	1,62	1,5	2,43	0,93
Vindu: 7m	1,94	1,5	2,91	0,77
Vindu: 8m	2,3	1,5	3,45	0,65
Vindu: 9m	2,5	1,6	4	0,64
Vindu: 10m	2,5	1,75	4,375	0,70

## C Resultat og analyse

### C.1 Uskjermet

#### C.1.1 Resultat fra simulering

LT=50%

Tabell 11: Resultat fra uskjermede soner, LT=50%

	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,413	47,99	0,80	0,90	59,99	3,14
	3 m	1,375	47,79	1,20	1,26	39,83	2,18
	4 m	1,425	47,68	1,60	1,56	29,80	1,83
	5 m	1,548	47,62	2,00	1,95	23,81	1,59
	6 m	1,407	47,61	2,40	2,43	19,84	1,16
	7 m	1,411	47,62	2,80	2,91	17,01	0,97
	8 m	1,37	47,71	3,20	3,45	14,91	0,79
	9 m	1,412	47,82	3,60	4,00	13,28	0,71
	10 m	1,399	47,95	4,00	4,38	11,99	0,64
	etg 2	2 m	1,425	48,73	0,80	0,90	60,91
3 m		1,408	48,72	1,20	1,26	40,60	2,23
4 m		1,391	48,69	1,60	1,56	30,43	1,78
5 m		1,558	48,61	2,00	1,95	24,31	1,60
6 m		1,422	48,66	2,40	2,43	20,28	1,17
7 m		1,406	48,62	2,80	2,91	17,36	0,97
8 m		1,385	48,68	3,20	3,45	15,21	0,80
9 m		1,443	48,71	3,60	4,00	13,53	0,72
10 m		1,395	48,75	4,00	4,38	12,19	0,64

LT=70%

Tabell 12: Resultat fra uskjemde soner, LT=70%

	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	2,022	47,98	0,80	0,90	59,98	3,21
	3 m	1,985	47,82	1,20	1,26	39,85	2,25
	4 m	1,981	47,66	1,60	1,56	29,79	1,81
	5 m	2,124	47,65	2,00	1,95	23,83	1,56
	6 m	2,017	47,62	2,40	2,43	19,84	1,19
	7 m	2,01	47,66	2,80	2,91	17,02	0,99
	8 m	2,005	47,69	3,20	3,45	14,90	0,83
	9 m	2,022	47,79	3,60	4,00	13,28	0,72
	10 m	2,031	47,99	4,00	4,38	12,00	0,66
etg 2	2 m	2,061	48,77	0,80	0,90	60,96	3,27
	3 m	2,039	48,68	1,20	1,26	40,57	2,31
	4 m	2,043	48,69	1,60	1,56	30,43	1,87
	5 m	2,111	48,66	2,00	1,95	24,33	1,55
	6 m	2,045	48,65	2,40	2,43	20,27	1,20
	7 m	2,044	48,62	2,80	2,91	17,36	1,00
	8 m	2,005	48,64	3,20	3,45	15,20	0,83
	9 m	2,024	48,71	3,60	4,00	13,53	0,72
	10 m	2,038	48,76	4,00	4,38	12,19	0,67



## C.2 Vertikal skjerming fra venstre side

### C.2.1 Resultat fra simulering

LT=50%

Tabell 13: Resultat ved vertikal skjerm på venstre side, LT=50%

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	0,96	32,59	0,80	0,90	40,74	2,14
	3 m	1,02	33,61	1,20	1,26	28,01	1,62
	4 m	1,04	34,53	1,60	1,56	21,58	1,33
	5 m	1,14	35,42	2,00	1,95	17,71	1,17
	6 m	1,12	36,27	2,40	2,43	15,11	0,92
	7 m	1,14	37,08	2,80	2,91	13,24	0,78
	8 m	1,15	37,94	3,20	3,45	11,86	0,67
	9 m	1,18	38,77	3,60	4,00	10,77	0,59
	10 m	1,21	39,61	4,00	4,38	9,90	0,55
	etg 2	2 m	1,04	34,78	0,80	0,90	43,48
3 m		1,07	35,84	1,20	1,26	29,87	1,70
4 m		1,08	36,72	1,60	1,56	22,95	1,39
5 m		1,24	37,53	2,00	1,95	18,77	1,27
6 m		1,17	38,36	2,40	2,43	15,98	0,96
7 m		1,18	39,10	2,80	2,91	13,96	0,81
8 m		1,18	39,86	3,20	3,45	12,46	0,68
9 m		1,24	40,58	3,60	4,00	11,27	0,62
10 m		1,24	41,27	4,00	4,38	10,32	0,57
6 M FRA							
etg 1	2 m	1,00	33,48	0,80	0,90	41,85	2,22
	3 m	1,03	34,38	1,20	1,26	28,65	1,63
	4 m	1,05	35,24	1,60	1,56	22,03	1,35
	5 m	1,17	36,06	2,00	1,95	18,03	1,20
	6 m	1,14	36,89	2,40	2,43	15,37	0,94
	7 m	1,16	37,70	2,80	2,91	13,46	0,80
	8 m	1,16	38,49	3,20	3,45	12,03	0,67
	9 m	1,20	39,29	3,60	4,00	10,91	0,60
	10 m	1,23	40,12	4,00	4,38	10,03	0,56
	etg 2	2 m	1,07	35,71	0,80	0,90	44,64
3 m		1,07	36,55	1,20	1,26	30,46	1,70
4 m		1,13	37,40	1,60	1,56	23,38	1,45
5 m		1,23	38,19	2,00	1,95	19,10	1,26
6 m		1,17	38,92	2,40	2,43	16,22	0,97
7 m		1,19	39,70	2,80	2,91	14,18	0,82
8 m		1,20	40,40	3,20	3,45	12,63	0,69
9 m		1,24	41,05	3,60	4,00	11,40	0,62
10 m		1,25	41,70	4,00	4,38	10,43	0,57
8 M FRA							
etg 1	2 m	1,03	34,30	0,80	0,90	42,88	2,28
	3 m	1,06	35,11	1,20	1,26	29,26	1,67
	4 m	1,09	35,94	1,60	1,56	22,46	1,40
	5 m	1,20	36,73	2,00	1,95	18,37	1,23
	6 m	1,16	37,50	2,40	2,43	15,63	0,95
	7 m	1,16	38,27	2,80	2,91	13,67	0,80
	8 m	1,18	38,99	3,20	3,45	12,18	0,69
	9 m	1,23	39,82	3,60	4,00	11,06	0,61
	10 m	1,24	40,57	4,00	4,38	10,14	0,56
	etg 2	2 m	1,08	36,44	0,80	0,90	45,55
3 m		1,12	37,25	1,20	1,26	31,04	1,78
4 m		1,14	38,05	1,60	1,56	23,78	1,46
5 m		1,27	38,77	2,00	1,95	19,39	1,31
6 m		1,22	39,50	2,40	2,43	16,46	1,00
7 m		1,21	40,20	2,80	2,91	14,36	0,83
8 m		1,21	40,85	3,20	3,45	12,77	0,70
9 m		1,25	41,54	3,60	4,00	11,54	0,63
10 m		1,27	42,12	4,00	4,38	10,53	0,58

LT=70%

Tabell 14: Resultat ved vertikal skjerm på venstre side, LT=70%

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,42	32,63	0,80	0,90	40,79	2,26
	3 m	1,45	33,58	1,20	1,26	27,98	1,64
	4 m	1,50	34,54	1,60	1,56	21,59	1,37
	5 m	1,58	35,40	2,00	1,95	17,70	1,16
	6 m	1,61	36,27	2,40	2,43	15,11	0,95
	7 m	1,64	37,12	2,80	2,91	13,26	0,80
	8 m	1,68	37,95	3,20	3,45	11,86	0,69
	9 m	1,71	38,78	3,60	4,00	10,77	0,61
	10 m	1,74	39,62	4,00	4,38	9,91	0,57
	etg 2	2 m	1,50	34,79	0,80	0,90	43,49
3 m		1,51	35,80	1,20	1,26	29,83	1,71
4 m		1,56	36,72	1,60	1,56	22,95	1,43
5 m		1,64	37,59	2,00	1,95	18,80	1,20
6 m		1,65	38,37	2,40	2,43	15,99	0,97
7 m		1,71	39,15	2,80	2,91	13,98	0,84
8 m		1,71	39,85	3,20	3,45	12,45	0,71
9 m		1,76	40,60	3,60	4,00	11,28	0,63
10 m		1,79	41,28	4,00	4,38	10,32	0,59
6 M FRA							
etg 1	2 m	1,46	33,48	0,80	0,90	41,85	2,32
	3 m	1,53	34,38	1,20	1,26	28,65	1,73
	4 m	1,55	35,21	1,60	1,56	22,01	1,42
	5 m	1,59	36,06	2,00	1,95	18,03	1,16
	6 m	1,63	36,89	2,40	2,43	15,37	0,96
	7 m	1,68	37,68	2,80	2,91	13,46	0,82
	8 m	1,67	38,48	3,20	3,45	12,03	0,69
	9 m	1,74	39,31	3,60	4,00	10,92	0,62
	10 m	1,76	40,12	4,00	4,38	10,03	0,58
	etg 2	2 m	1,55	35,68	0,80	0,90	44,60
3 m		1,56	36,53	1,20	1,26	30,44	1,76
4 m		1,59	37,36	1,60	1,56	23,35	1,45
5 m		1,69	38,17	2,00	1,95	19,09	1,24
6 m		1,70	38,92	2,40	2,43	16,22	1,00
7 m		1,72	39,71	2,80	2,91	14,18	0,84
8 m		1,76	40,39	3,20	3,45	12,62	0,73
9 m		1,82	41,04	3,60	4,00	11,40	0,65
10 m		1,82	41,74	4,00	4,38	10,44	0,59
8 M FRA							
etg 1	2 m	1,49	34,31	0,80	0,90	42,89	2,37
	3 m	1,53	35,12	1,20	1,26	29,27	1,73
	4 m	1,61	35,94	1,60	1,56	22,46	1,47
	5 m	1,64	36,74	2,00	1,95	18,37	1,20
	6 m	1,69	37,49	2,40	2,43	15,62	0,99
	7 m	1,68	38,27	2,80	2,91	13,67	0,83
	8 m	1,70	39,04	3,20	3,45	12,20	0,70
	9 m	1,77	39,81	3,60	4,00	11,06	0,63
	10 m	1,79	40,56	4,00	4,38	10,14	0,59
	etg 2	2 m	1,57	36,48	0,80	0,90	45,60
3 m		1,64	37,28	1,20	1,26	31,07	1,86
4 m		1,63	38,06	1,60	1,56	23,79	1,49
5 m		1,80	38,78	2,00	1,95	19,39	1,32
6 m		1,74	39,56	2,40	2,43	16,48	1,02
7 m		1,75	40,22	2,80	2,91	14,36	0,86
8 m		1,76	40,89	3,20	3,45	12,78	0,73
9 m		1,80	41,52	3,60	4,00	11,53	0,64
10 m		1,84	42,17	4,00	4,38	10,54	0,60

### C.3 Vertikal skjerming fra høyre side

#### C.3.1 Resultat fra simulering

LT=50%

Tabell 15: Resultat ved vertikal skjerm på høyre side, LT=50%

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,23	39,66	0,80	0,90	49,58	2,74
	3 m	1,21	38,77	1,20	1,26	32,31	1,93
	4 m	1,20	37,93	1,60	1,56	23,71	1,54
	5 m	1,23	37,12	2,00	1,95	18,56	1,26
	6 m	1,14	36,26	2,40	2,43	15,11	0,94
	7 m	1,09	35,36	2,80	2,91	12,63	0,75
	8 m	1,06	34,49	3,20	3,45	10,78	0,61
	9 m	1,01	33,56	3,60	4,00	9,32	0,51
	10 m	0,97	32,60	4,00	4,38	8,15	0,44
	etg 2	2 m	1,26	41,25	0,80	0,90	51,56
3 m		1,25	40,55	1,20	1,26	33,79	1,99
4 m		1,23	39,83	1,60	1,56	24,89	1,57
5 m		1,20	39,15	2,00	1,95	19,58	1,23
6 m		1,32	38,35	2,40	2,43	15,98	1,08
7 m		1,14	37,52	2,80	2,91	13,40	0,79
8 m		1,09	36,67	3,20	3,45	11,46	0,63
9 m		1,06	35,78	3,60	4,00	9,94	0,53
10 m		1,01	34,77	4,00	4,38	8,69	0,46
6 M FRA							
etg 1	2 m	1,25	40,09	0,80	0,90	50,11	2,77
	3 m	1,21	39,28	1,20	1,26	32,73	1,92
	4 m	1,22	38,53	1,60	1,56	24,08	1,56
	5 m	1,27	37,69	2,00	1,95	18,85	1,30
	6 m	1,16	36,88	2,40	2,43	15,37	0,95
	7 m	1,11	36,06	2,80	2,91	12,88	0,76
	8 m	1,06	35,22	3,20	3,45	11,01	0,62
	9 m	1,09	34,34	3,60	4,00	9,54	0,55
	10 m	1,00	33,50	4,00	4,38	8,38	0,46
	etg 2	2 m	1,29	41,68	0,80	0,90	52,10
3 m		1,25	41,04	1,20	1,26	34,20	1,99
4 m		1,22	40,36	1,60	1,56	25,23	1,57
5 m		1,32	39,66	2,00	1,95	19,83	1,35
6 m		1,20	38,90	2,40	2,43	16,21	0,99
7 m		1,17	38,13	2,80	2,91	13,62	0,80
8 m		1,12	37,37	3,20	3,45	11,68	0,65
9 m		1,09	36,53	3,60	4,00	10,15	0,55
10 m		1,04	35,67	4,00	4,38	8,92	0,47
8 M FRA							
etg 1	2 m	1,29	40,58	0,80	0,90	50,73	2,86
	3 m	1,23	39,81	1,20	1,26	33,18	1,95
	4 m	1,21	38,99	1,60	1,56	24,37	1,56
	5 m	1,19	38,23	2,00	1,95	19,12	1,22
	6 m	1,17	37,52	2,40	2,43	15,63	0,96
	7 m	1,14	36,71	2,80	2,91	13,11	0,78
	8 m	1,09	35,92	3,20	3,45	11,23	0,63
	9 m	1,06	35,14	3,60	4,00	9,76	0,53
	10 m	1,03	34,32	4,00	4,38	8,58	0,47
	etg 2	2 m	1,31	42,11	0,80	0,90	52,64
3 m		1,29	41,50	1,20	1,26	34,58	2,04
4 m		1,24	40,93	1,60	1,56	25,58	1,59
5 m		1,30	40,24	2,00	1,95	20,12	1,33
6 m		1,22	39,52	2,40	2,43	16,47	1,00
7 m		1,18	38,78	2,80	2,91	13,85	0,81
8 m		1,15	38,04	3,20	3,45	11,89	0,66
9 m		1,11	37,27	3,60	4,00	10,35	0,56
10 m		1,07	36,45	4,00	4,38	9,11	0,49

LT=70%

Tabell 16: Resultat ved vertikal skjerm på høyre side, LT=70%

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,76	39,63	0,80	0,90	49,54	2,79
	3 m	1,77	38,81	1,20	1,26	32,34	2,00
	4 m	1,70	37,94	1,60	1,56	23,71	1,55
	5 m	1,69	37,13	2,00	1,95	18,57	1,24
	6 m	1,65	36,25	2,40	2,43	15,10	0,97
	7 m	1,57	35,38	2,80	2,91	12,64	0,77
	8 m	1,48	34,51	3,20	3,45	10,78	0,61
	9 m	1,46	33,58	3,60	4,00	9,33	0,52
	10 m	1,40	32,60	4,00	4,38	8,15	0,46
	etg 2	2 m	1,82	41,21	0,80	0,90	51,51
3 m		1,80	40,54	1,20	1,26	33,78	2,04
4 m		1,75	39,86	1,60	1,56	24,91	1,60
5 m		1,78	39,12	2,00	1,95	19,56	1,30
6 m		1,69	38,34	2,40	2,43	15,98	0,99
7 m		1,63	37,56	2,80	2,91	13,41	0,80
8 m		1,56	36,66	3,20	3,45	11,46	0,65
9 m		1,53	35,77	3,60	4,00	9,94	0,55
10 m		1,48	34,79	4,00	4,38	8,70	0,48
6 M FRA							
etg 1	2 m	1,79	40,12	0,80	0,90	50,15	2,85
	3 m	1,77	39,31	1,20	1,26	32,76	2,00
	4 m	1,70	38,52	1,60	1,56	24,08	1,56
	5 m	1,73	37,72	2,00	1,95	18,86	1,27
	6 m	1,66	36,89	2,40	2,43	15,37	0,97
	7 m	1,60	36,07	2,80	2,91	12,88	0,79
	8 m	1,53	35,23	3,20	3,45	11,01	0,63
	9 m	1,49	34,37	3,60	4,00	9,55	0,53
	10 m	1,45	33,51	4,00	4,38	8,38	0,47
	etg 2	2 m	1,86	41,71	0,80	0,90	52,14
3 m		1,80	41,04	1,20	1,26	34,20	2,04
4 m		1,78	40,36	1,60	1,56	25,23	1,63
5 m		1,86	39,65	2,00	1,95	19,83	1,36
6 m		1,73	38,93	2,40	2,43	16,22	1,02
7 m		1,67	38,20	2,80	2,91	13,64	0,82
8 m		1,64	37,37	3,20	3,45	11,68	0,68
9 m		1,57	36,54	3,60	4,00	10,15	0,56
10 m		1,51	35,67	4,00	4,38	8,92	0,49
8 M FRA							
etg 1	2 m	1,82	40,55	0,80	0,90	50,69	2,88
	3 m	1,78	39,78	1,20	1,26	33,15	2,01
	4 m	1,77	39,04	1,60	1,56	24,40	1,62
	5 m	1,77	38,28	2,00	1,95	19,14	1,30
	6 m	1,69	37,53	2,40	2,43	15,64	0,99
	7 m	1,63	36,76	2,80	2,91	13,13	0,80
	8 m	1,56	35,92	3,20	3,45	11,23	0,65
	9 m	1,54	35,13	3,60	4,00	9,76	0,55
	10 m	1,50	34,34	4,00	4,38	8,59	0,49
	etg 2	2 m	1,85	42,09	0,80	0,90	52,61
3 m		1,84	41,55	1,20	1,26	34,63	2,08
4 m		1,80	40,85	1,60	1,56	25,53	1,65
5 m		1,85	40,24	2,00	1,95	20,12	1,35
6 m		1,76	39,52	2,40	2,43	16,47	1,03
7 m		1,69	38,78	2,80	2,91	13,85	0,83
8 m		1,63	38,02	3,20	3,45	11,88	0,68
9 m		1,60	37,26	3,60	4,00	10,35	0,57
10 m		1,56	36,48	4,00	4,38	9,12	0,51

## C.4 Vertikal skjerming fra begge sider

## C.4.1 Resultat fra simulering

LT=50%

Tabell 17: Resultat ved vertikal skjerm på begge sider, LT=50%

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	0,70	19,47	0,80	0,90	24,34	1,56
	3 m	0,72	19,91	1,20	1,26	16,59	1,15
	4 m	0,73	20,22	1,60	1,56	12,64	0,93
	5 m	0,80	20,41	2,00	1,95	10,21	0,82
	6 m	0,75	20,49	2,40	2,43	8,54	0,62
	7 m	0,73	20,38	2,80	2,91	7,28	0,50
	8 m	0,69	20,21	3,20	3,45	6,32	0,40
	9 m	0,68	19,89	3,60	4,00	5,53	0,34
	10 m	0,67	19,45	4,00	4,38	4,86	0,31
	etg 2	2 m	0,76	22,09	0,80	0,90	27,61
3 m		0,79	22,60	1,20	1,26	18,83	1,25
4 m		0,79	22,92	1,60	1,56	14,33	1,01
5 m		0,87	23,15	2,00	1,95	11,58	0,89
6 m		0,82	23,17	2,40	2,43	9,65	0,67
7 m		0,81	23,12	2,80	2,91	8,26	0,55
8 m		0,80	22,94	3,20	3,45	7,17	0,47
9 m		0,76	22,60	3,60	4,00	6,28	0,38
10 m		0,73	22,12	4,00	4,38	5,53	0,34
6 M FRA							
etg 1	2 m	0,78	21,66	0,80	0,90	27,08	1,74
	3 m	0,78	22,08	1,20	1,26	18,40	1,24
	4 m	0,81	22,33	1,60	1,56	13,96	1,04
	5 m	0,88	22,53	2,00	1,95	11,27	0,90
	6 m	0,82	22,54	2,40	2,43	9,39	0,68
	7 m	0,80	22,49	2,80	2,91	8,03	0,55
	8 m	0,75	22,30	3,20	3,45	6,97	0,44
	9 m	0,75	22,04	3,60	4,00	6,12	0,38
	10 m	0,74	21,69	4,00	4,38	5,42	0,34
	etg 2	2 m	0,85	24,38	0,80	0,90	30,48
3 m		0,85	24,79	1,20	1,26	20,66	1,35
4 m		0,89	25,07	1,60	1,56	15,67	1,14
5 m		0,92	25,29	2,00	1,95	12,65	0,95
6 m		0,89	25,33	2,40	2,43	10,55	0,73
7 m		0,86	25,27	2,80	2,91	9,03	0,59
8 m		0,82	25,08	3,20	3,45	7,84	0,48
9 m		0,83	24,77	3,60	4,00	6,88	0,41
10 m		0,80	24,40	4,00	4,38	6,10	0,37
8 M FRA							
etg 1	2 m	0,83	23,68	0,80	0,90	29,60	1,85
	3 m	0,85	24,01	1,20	1,26	20,01	1,34
	4 m	0,85	24,24	1,60	1,56	15,15	1,09
	5 m	0,97	24,39	2,00	1,95	12,20	0,99
	6 m	0,88	24,44	2,40	2,43	10,18	0,72
	7 m	0,97	24,38	2,80	2,91	8,71	0,67
	8 m	0,82	24,22	3,20	3,45	7,57	0,48
	9 m	0,82	24,02	3,60	4,00	6,67	0,41
	10 m	0,80	23,71	4,00	4,38	5,93	0,36
	etg 2	2 m	0,90	26,35	0,80	0,90	32,94
3 m		0,92	26,72	1,20	1,26	22,27	1,46
4 m		0,92	27,01	1,60	1,56	16,88	1,18
5 m		1,05	27,16	2,00	1,95	13,58	1,07
6 m		0,93	27,20	2,40	2,43	11,33	0,77
7 m		0,91	27,18	2,80	2,91	9,71	0,63
8 m		0,87	27,03	3,20	3,45	8,45	0,51
9 m		0,87	26,77	3,60	4,00	7,44	0,44
10 m		0,86	26,40	4,00	4,38	6,60	0,39

LT=70%

Tabell 18: Resultat ved vertikal skjerm på begge sider, LT=70%

4 M FRA	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,01	19,49	0,80	0,90	24,36	1,61
	3 m	1,02	19,90	1,20	1,26	16,58	1,16
	4 m	1,05	20,22	1,60	1,56	12,64	0,96
	5 m	1,07	20,41	2,00	1,95	10,21	0,78
	6 m	1,08	20,45	2,40	2,43	8,52	0,64
	7 m	1,05	20,40	2,80	2,91	7,29	0,52
	8 m	0,99	20,22	3,20	3,45	6,32	0,41
	9 m	0,98	19,90	3,60	4,00	5,53	0,35
	10 m	0,96	19,46	4,00	4,38	4,87	0,31
	etg 2	2 m	1,13	22,10	0,80	0,90	27,63
3 m		1,12	22,62	1,20	1,26	18,85	1,27
4 m		1,14	22,92	1,60	1,56	14,33	1,05
5 m		1,21	23,12	2,00	1,95	11,56	0,89
6 m		1,18	23,20	2,40	2,43	9,67	0,69
7 m		1,15	23,10	2,80	2,91	8,25	0,56
8 m		1,10	22,92	3,20	3,45	7,16	0,45
9 m		1,08	22,58	3,60	4,00	6,27	0,39
10 m		1,06	22,12	4,00	4,38	5,53	0,35
6 M FRA							
etg 1	2 m	1,11	21,69	0,80	0,90	27,11	1,77
	3 m	1,13	22,04	1,20	1,26	18,37	1,28
	4 m	1,14	22,34	1,60	1,56	13,96	1,04
	5 m	1,20	22,50	2,00	1,95	11,25	0,88
	6 m	1,17	22,58	2,40	2,43	9,41	0,69
	7 m	1,14	22,49	2,80	2,91	8,03	0,56
	8 m	1,08	22,31	3,20	3,45	6,97	0,45
	9 m	1,07	22,05	3,60	4,00	6,13	0,38
	10 m	1,06	21,71	4,00	4,38	5,43	0,35
	etg 2	2 m	1,23	24,41	0,80	0,90	30,51
3 m		1,22	24,80	1,20	1,26	20,67	1,38
4 m		1,24	25,09	1,60	1,56	15,68	1,13
5 m		1,26	25,25	2,00	1,95	12,63	0,92
6 m		1,28	25,35	2,40	2,43	10,56	0,75
7 m		1,25	25,25	2,80	2,91	9,02	0,61
8 m		1,18	25,10	3,20	3,45	7,84	0,49
9 m		1,18	24,81	3,60	4,00	6,89	0,42
10 m		1,16	24,40	4,00	4,38	6,10	0,38
8 M FRA							
etg 1	2 m	1,21	23,72	0,80	0,90	29,65	1,91
	3 m	1,21	24,01	1,20	1,26	20,01	1,37
	4 m	1,22	24,21	1,60	1,56	15,13	1,12
	5 m	1,30	24,38	2,00	1,95	12,19	0,95
	6 m	1,25	24,43	2,40	2,43	10,18	0,74
	7 m	1,22	24,39	2,80	2,91	8,71	0,60
	8 m	1,17	24,24	3,20	3,45	7,58	0,48
	9 m	1,16	24,03	3,60	4,00	6,68	0,41
	10 m	1,16	23,73	4,00	4,38	5,93	0,38
	etg 2	2 m	1,30	26,40	0,80	0,90	33,00
3 m		1,30	26,75	1,20	1,26	22,29	1,48
4 m		1,32	27,00	1,60	1,56	16,88	1,21
5 m		1,43	27,18	2,00	1,95	13,59	1,05
6 m		1,36	27,22	2,40	2,43	11,34	0,80
7 m		1,32	27,21	2,80	2,91	9,72	0,65
8 m		1,28	27,01	3,20	3,45	8,44	0,53
9 m		1,26	26,75	3,60	4,00	7,43	0,45
10 m		1,26	26,42	4,00	4,38	6,61	0,41

## C.5 Skjerming fra parallelt bygg

## C.5.1 Resultat fra simulering

LT=50%

6 meter mellom byggene

Tabell 19: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 6 meter mellom bygg, LT=50%

NIVÅ 1	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,26	41,81	0,80	0,90	52,26	2,80
	3 m	1,24	41,07	1,20	1,26	34,23	1,97
	4 m	1,22	40,66	1,60	1,56	25,41	1,56
	5 m	1,30	40,35	2,00	1,95	20,18	1,34
	6 m	1,20	40,34	2,40	2,43	16,81	0,99
	7 m	1,36	40,47	2,80	2,91	14,45	0,94
	8 m	1,19	40,70	3,20	3,45	12,72	0,69
	9 m	1,29	41,26	3,60	4,00	11,46	0,64
	10 m	1,26	42,21	4,00	4,38	10,55	0,58
	etg 2	2 m	1,47	50,68	0,80	0,90	63,35
3 m		1,43	50,50	1,20	1,26	42,08	2,28
4 m		1,41	50,35	1,60	1,56	31,47	1,81
5 m		1,47	50,21	2,00	1,95	25,11	1,51
6 m		1,46	50,18	2,40	2,43	20,91	1,20
7 m		1,47	50,27	2,80	2,91	17,95	1,01
8 m		1,44	50,39	3,20	3,45	15,75	0,84
9 m		1,52	50,50	3,60	4,00	14,03	0,76
10 m		1,45	50,68	4,00	4,38	12,67	0,66
NIVÅ 2							
etg 1	2 m	0,34	19,36	0,80	0,90	24,20	0,75
	3 m	0,27	18,18	1,20	1,26	15,15	0,43
	4 m	0,32	17,40	1,60	1,56	10,88	0,40
	5 m	0,36	16,96	2,00	1,95	8,48	0,37
	6 m	0,28	16,85	2,40	2,43	7,02	0,23
	7 m	0,29	16,97	2,80	2,91	6,06	0,20
	8 m	0,28	17,44	3,20	3,45	5,45	0,16
	9 m	0,32	18,41	3,60	4,00	5,11	0,16
	10 m	0,37	19,82	4,00	4,38	4,96	0,17
	etg 2	2 m	1,27	42,49	0,80	0,90	53,11
3 m		1,24	41,77	1,20	1,26	34,81	1,97
4 m		1,24	41,33	1,60	1,56	25,83	1,59
5 m		1,24	41,13	2,00	1,95	20,57	1,28
6 m		1,24	41,11	2,40	2,43	17,13	1,02
7 m		1,23	41,04	2,80	2,91	14,66	0,84
8 m		1,22	41,29	3,20	3,45	12,90	0,71
9 m		1,25	41,96	3,60	4,00	11,66	0,62
10 m		1,26	42,95	4,00	4,38	10,74	0,58
NIVÅ 3							
etg 1	2 m	0,27	14,08	0,80	0,90	17,60	0,60
	3 m	0,25	12,73	1,20	1,26	10,61	0,39
	4 m	0,21	11,89	1,60	1,56	7,43	0,27
	5 m	0,20	11,44	2,00	1,95	5,72	0,20
	6 m	0,20	11,33	2,40	2,43	4,72	0,16
	7 m	0,21	11,49	2,80	2,91	4,10	0,14
	8 m	0,21	12,01	3,20	3,45	3,75	0,12
	9 m	0,27	13,00	3,60	4,00	3,61	0,13
	10 m	0,27	14,48	4,00	4,38	3,62	0,12
	etg 2	2 m	0,54	25,47	0,80	0,90	31,84
3 m		0,49	24,43	1,20	1,26	20,36	0,77
4 m		0,49	23,72	1,60	1,56	14,83	0,62
5 m		0,51	23,34	2,00	1,95	11,67	0,52
6 m		0,48	23,22	2,40	2,43	9,68	0,39
7 m		0,47	23,34	2,80	2,91	8,34	0,32
8 m		0,49	23,76	3,20	3,45	7,43	0,29
9 m		0,54	24,67	3,60	4,00	6,85	0,27
10 m		0,56	26,02	4,00	4,38	6,51	0,26



8 meter mellom byggene

Tabell 20: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 8 meter mellom bygg, LT=50%

NIVÅ 1	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,32	43,57	0,80	0,90	54,46	2,94
	3 m	1,27	43,13	1,20	1,26	35,94	2,02
	4 m	1,28	42,67	1,60	1,56	26,67	1,64
	5 m	1,37	42,48	2,00	1,95	21,24	1,41
	6 m	1,26	42,46	2,40	2,43	17,69	1,04
	7 m	1,25	42,49	2,80	2,91	15,18	0,86
	8 m	1,26	42,73	3,20	3,45	13,35	0,73
	9 m	1,30	43,25	3,60	4,00	12,01	0,65
	10 m	1,30	43,89	4,00	4,38	10,97	0,60
	etg 2	2 m	1,42	49,17	0,80	0,90	61,46
3 m		1,39	48,95	1,20	1,26	40,79	2,21
4 m		1,43	48,87	1,60	1,56	30,54	1,83
5 m		1,54	48,82	2,00	1,95	24,41	1,58
6 m		1,41	48,80	2,40	2,43	20,33	1,16
7 m		1,44	48,79	2,80	2,91	17,43	0,99
8 m		1,39	48,85	3,20	3,45	15,27	0,81
9 m		1,44	48,97	3,60	4,00	13,60	0,72
10 m		1,42	49,22	4,00	4,38	12,31	0,65
NIVÅ 2							
etg 1	2 m	0,54	25,15	0,80	0,90	31,44	1,20
	3 m	0,46	24,35	1,20	1,26	20,29	0,72
	4 m	0,50	23,76	1,60	1,56	14,85	0,64
	5 m	0,55	23,43	2,00	1,95	11,72	0,57
	6 m	0,47	23,31	2,40	2,43	9,71	0,39
	7 m	0,46	23,44	2,80	2,91	8,37	0,32
	8 m	0,56	23,82	3,20	3,45	7,44	0,33
	9 m	0,50	24,56	3,60	4,00	6,82	0,25
	10 m	0,54	25,60	4,00	4,38	6,40	0,25
	etg 2	2 m	1,36	44,34	0,80	0,90	55,43
3 m		1,30	43,80	1,20	1,26	36,50	2,06
4 m		1,32	43,43	1,60	1,56	27,14	1,70
5 m		1,28	43,19	2,00	1,95	21,60	1,31
6 m		1,30	43,20	2,40	2,43	18,00	1,07
7 m		1,27	43,20	2,80	2,91	15,43	0,87
8 m		1,28	43,44	3,20	3,45	13,58	0,74
9 m		1,33	43,92	3,60	4,00	12,20	0,66
10 m		1,31	44,60	4,00	4,38	11,15	0,60
NIVÅ 3							
etg 1	2 m	0,33	18,81	0,80	0,90	23,51	0,73
	3 m	0,31	17,88	1,20	1,26	14,90	0,49
	4 m	0,30	17,25	1,60	1,56	10,78	0,38
	5 m	0,36	16,87	2,00	1,95	8,44	0,36
	6 m	0,28	16,78	2,40	2,43	6,99	0,23
	7 m	0,29	16,92	2,80	2,91	6,04	0,20
	8 m	0,31	17,35	3,20	3,45	5,42	0,18
	9 m	0,33	18,12	3,60	4,00	5,03	0,16
	10 m	0,36	19,18	4,00	4,38	4,80	0,16
	etg 2	2 m	0,82	31,39	0,80	0,90	39,24
3 m		0,72	30,68	1,20	1,26	25,57	1,14
4 m		0,73	30,18	1,60	1,56	18,86	0,94
5 m		0,71	29,89	2,00	1,95	14,95	0,73
6 m		0,69	29,82	2,40	2,43	12,43	0,57
7 m		0,70	29,92	2,80	2,91	10,69	0,48
8 m		0,68	30,22	3,20	3,45	9,44	0,40
9 m		0,74	30,91	3,60	4,00	8,59	0,37
10 m		0,77	31,85	4,00	4,38	7,96	0,35

10 meter mellom byggene

Tabell 21: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 10 meter mellom bygg, LT=50%

NIVÅ 1	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	0,97	34,97	0,80	0,90	43,71	2,16
	3 m	0,90	34,41	1,20	1,26	28,68	1,42
	4 m	0,91	34,09	1,60	1,56	21,31	1,17
	5 m	0,97	33,85	2,00	1,95	16,93	1,00
	6 m	0,87	33,81	2,40	2,43	14,09	0,72
	7 m	0,87	33,87	2,80	2,91	12,10	0,59
	8 m	0,86	34,11	3,20	3,45	10,66	0,50
	9 m	0,92	34,65	3,60	4,00	9,63	0,46
	10 m	0,93	35,35	4,00	4,38	8,84	0,42
	etg 2	2 m	1,39	47,18	0,80	0,90	58,98
3 m		1,47	46,90	1,20	1,26	39,08	2,33
4 m		1,36	46,72	1,60	1,56	29,20	1,74
5 m		1,46	46,60	2,00	1,95	23,30	1,50
6 m		1,37	46,56	2,40	2,43	19,40	1,12
7 m		1,36	46,63	2,80	2,91	16,65	0,93
8 m		1,36	46,72	3,20	3,45	14,60	0,79
9 m		1,38	46,96	3,60	4,00	13,04	0,69
10 m		1,38	47,21	4,00	4,38	11,80	0,63
NIVÅ 2							
etg 1	2 m	0,72	29,65	0,80	0,90	37,06	1,60
	3 m	0,64	29,11	1,20	1,26	24,26	1,02
	4 m	0,65	28,68	1,60	1,56	17,93	0,83
	5 m	0,71	28,43	2,00	1,95	14,22	0,73
	6 m	0,63	28,35	2,40	2,43	11,81	0,52
	7 m	0,62	28,46	2,80	2,91	10,16	0,42
	8 m	0,62	28,74	3,20	3,45	8,98	0,36
	9 m	0,67	29,27	3,60	4,00	8,13	0,33
	10 m	0,70	30,05	4,00	4,38	7,51	0,32
	etg 2	2 m	1,42	45,36	0,80	0,90	56,70
3 m		1,35	45,04	1,20	1,26	37,53	2,15
4 m		1,35	44,75	1,60	1,56	27,97	1,73
5 m		1,44	44,58	2,00	1,95	22,29	1,48
6 m		1,34	44,55	2,40	2,43	18,56	1,10
7 m		1,32	44,58	2,80	2,91	15,92	0,91
8 m		1,38	44,81	3,20	3,45	14,00	0,80
9 m		1,37	45,13	3,60	4,00	12,54	0,69
10 m		1,34	45,60	4,00	4,38	11,40	0,61
NIVÅ 3							
etg 1	2 m	0,44	22,91	0,80	0,90	28,64	0,97
	3 m	0,42	22,24	1,20	1,26	18,53	0,67
	4 m	0,39	21,81	1,60	1,56	13,63	0,51
	5 m	0,43	21,53	2,00	1,95	10,77	0,44
	6 m	0,41	21,46	2,40	2,43	8,94	0,33
	7 m	0,44	21,57	2,80	2,91	7,70	0,31
	8 m	0,40	21,89	3,20	3,45	6,84	0,23
	9 m	0,46	22,46	3,60	4,00	6,24	0,23
	10 m	0,46	23,24	4,00	4,38	5,81	0,21
	etg 2	2 m	0,96	35,43	0,80	0,90	44,29
3 m		0,91	34,94	1,20	1,26	29,12	1,44
4 m		0,92	34,62	1,60	1,56	21,64	1,17
5 m		0,96	34,40	2,00	1,95	17,20	0,98
6 m		0,89	34,35	2,40	2,43	14,31	0,73
7 m		0,87	34,43	2,80	2,91	12,30	0,60
8 m		0,87	34,65	3,20	3,45	10,83	0,50
9 m		0,90	35,13	3,60	4,00	9,76	0,45
10 m		0,92	35,81	4,00	4,38	8,95	0,42

**LT=70%**

6 meter mellom bygg

Tabell 22: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 6 meter mellom bygg, LT=70%

NIVÅ 1	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,85	41,70	0,80	0,90	52,13	2,94
	3 m	1,76	41,11	1,20	1,26	34,26	1,99
	4 m	1,79	41,00	1,60	1,56	25,63	1,64
	5 m	1,82	40,43	2,00	1,95	20,22	1,33
	6 m	1,76	40,38	2,40	2,43	16,83	1,03
	7 m	1,77	40,37	2,80	2,91	14,42	0,87
	8 m	1,74	40,74	3,20	3,45	12,73	0,72
	9 m	1,80	41,36	3,60	4,00	11,49	0,64
	10 m	1,81	42,28	4,00	4,38	10,57	0,59
	etg 2	2 m	2,09	50,67	0,80	0,90	63,34
3 m		2,07	50,51	1,20	1,26	42,09	2,34
4 m		2,09	50,33	1,60	1,56	31,46	1,92
5 m		2,12	50,24	2,00	1,95	25,12	1,55
6 m		2,11	50,20	2,40	2,43	20,92	1,24
7 m		2,08	50,22	2,80	2,91	17,94	1,02
8 m		2,06	50,35	3,20	3,45	15,73	0,85
9 m		2,12	50,48	3,60	4,00	14,02	0,76
10 m		2,09	50,71	4,00	4,38	12,68	0,68
NIVÅ 2							
etg 1	2 m	0,49	19,36	0,80	0,90	24,20	0,78
	3 m	0,40	18,17	1,20	1,26	15,14	0,46
	4 m	0,40	17,40	1,60	1,56	10,88	0,37
	5 m	0,40	17,00	2,00	1,95	8,50	0,30
	6 m	0,39	16,88	2,40	2,43	7,03	0,23
	7 m	0,41	17,03	2,80	2,91	6,08	0,20
	8 m	0,41	17,49	3,20	3,45	5,47	0,17
	9 m	0,48	18,42	3,60	4,00	5,12	0,17
	10 m	0,55	19,87	4,00	4,38	4,97	0,18
	etg 2	2 m	1,95	42,53	0,80	0,90	53,16
3 m		1,81	41,84	1,20	1,26	34,87	2,05
4 m		1,80	41,31	1,60	1,56	25,82	1,65
5 m		1,84	41,03	2,00	1,95	20,52	1,35
6 m		1,82	40,93	2,40	2,43	17,05	1,07
7 m		1,78	41,05	2,80	2,91	14,66	0,87
8 m		1,84	41,28	3,20	3,45	12,90	0,76
9 m		1,83	41,98	3,60	4,00	11,66	0,66
10 m		1,83	43,00	4,00	4,38	10,75	0,60
NIVÅ 3							
etg 1	2 m	0,35	14,07	0,80	0,90	17,59	0,56
	3 m	0,32	12,77	1,20	1,26	10,64	0,36
	4 m	0,30	11,91	1,60	1,56	7,44	0,28
	5 m	0,33	11,47	2,00	1,95	5,74	0,24
	6 m	0,32	11,35	2,40	2,43	4,73	0,19
	7 m	0,28	11,50	2,80	2,91	4,11	0,14
	8 m	0,31	12,02	3,20	3,45	3,76	0,13
	9 m	0,33	13,02	3,60	4,00	3,62	0,12
	10 m	0,40	14,52	4,00	4,38	3,63	0,13
	etg 2	2 m	0,79	25,44	0,80	0,90	31,80
3 m		0,71	24,44	1,20	1,26	20,37	0,81
4 m		0,71	23,75	1,60	1,56	14,84	0,65
5 m		0,74	23,37	2,00	1,95	11,69	0,54
6 m		0,69	23,25	2,40	2,43	9,69	0,41
7 m		0,69	23,37	2,80	2,91	8,35	0,34
8 m		0,70	23,80	3,20	3,45	7,44	0,29
9 m		0,77	24,68	3,60	4,00	6,86	0,27
10 m		0,83	26,05	4,00	4,38	6,51	0,27

8 meter mellom bygg

Tabell 23: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 8 meter mellom bygg, LT=70%

NIVÅ 1	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,91	43,59	0,80	0,90	54,49	3,03
	3 m	1,85	43,09	1,20	1,26	35,91	2,10
	4 m	1,86	42,76	1,60	1,56	26,73	1,70
	5 m	1,91	42,53	2,00	1,95	21,27	1,40
	6 m	1,83	42,54	2,40	2,43	17,73	1,08
	7 m	1,84	42,56	2,80	2,91	15,20	0,91
	8 m	1,84	42,78	3,20	3,45	13,37	0,76
	9 m	1,86	43,29	3,60	4,00	12,03	0,66
	10 m	1,88	43,88	4,00	4,38	10,97	0,62
	etg 2	2 m	2,10	49,11	0,80	0,90	61,39
3 m		2,05	49,01	1,20	1,26	40,84	2,32
4 m		2,05	48,90	1,60	1,56	30,56	1,87
5 m		2,14	48,85	2,00	1,95	24,43	1,57
6 m		2,07	48,75	2,40	2,43	20,31	1,22
7 m		2,04	48,76	2,80	2,91	17,41	1,00
8 m		2,04	48,91	3,20	3,45	15,28	0,85
9 m		2,05	49,02	3,60	4,00	13,62	0,73
10 m		2,05	49,16	4,00	4,38	12,29	0,67
NIVÅ 2							
etg 1	2 m	0,80	25,20	0,80	0,90	31,50	1,26
	3 m	0,68	24,37	1,20	1,26	20,31	0,77
	4 m	0,70	23,78	1,60	1,56	14,86	0,64
	5 m	0,76	23,46	2,00	1,95	11,73	0,56
	6 m	0,66	23,34	2,40	2,43	9,73	0,39
	7 m	0,70	23,48	2,80	2,91	8,39	0,34
	8 m	0,67	23,84	3,20	3,45	7,45	0,28
	9 m	0,73	24,58	3,60	4,00	6,83	0,26
	10 m	0,80	25,61	4,00	4,38	6,40	0,26
	etg 2	2 m	1,94	44,35	0,80	0,90	55,44
3 m		1,88	43,87	1,20	1,26	36,56	2,13
4 m		1,89	43,52	1,60	1,56	27,20	1,73
5 m		1,91	43,32	2,00	1,95	21,66	1,40
6 m		1,85	43,15	2,40	2,43	17,98	1,09
7 m		1,83	43,26	2,80	2,91	15,45	0,90
8 m		1,85	43,51	3,20	3,45	13,60	0,77
9 m		1,92	43,99	3,60	4,00	12,22	0,68
10 m		1,91	44,62	4,00	4,38	11,16	0,62
NIVÅ 3							
etg 1	2 m	0,49	18,80	0,80	0,90	23,50	0,78
	3 m	0,44	17,90	1,20	1,26	14,92	0,50
	4 m	0,43	17,26	1,60	1,56	10,79	0,39
	5 m	0,48	16,89	2,00	1,95	8,45	0,35
	6 m	0,41	16,78	2,40	2,43	6,99	0,24
	7 m	0,43	16,95	2,80	2,91	6,05	0,21
	8 m	0,45	17,35	3,20	3,45	5,42	0,19
	9 m	0,50	18,12	3,60	4,00	5,03	0,18
	10 m	0,53	19,21	4,00	4,38	4,80	0,17
	etg 2	2 m	1,16	31,42	0,80	0,90	39,28
3 m		1,03	30,70	1,20	1,26	25,58	1,17
4 m		1,14	30,22	1,60	1,56	18,89	1,04
5 m		1,05	29,92	2,00	1,95	14,96	0,77
6 m		1,03	29,82	2,40	2,43	12,43	0,60
7 m		1,01	29,95	2,80	2,91	10,70	0,49
8 m		1,05	30,24	3,20	3,45	9,45	0,43
9 m		1,09	30,93	3,60	4,00	8,59	0,39
10 m		1,12	31,85	4,00	4,38	7,96	0,37

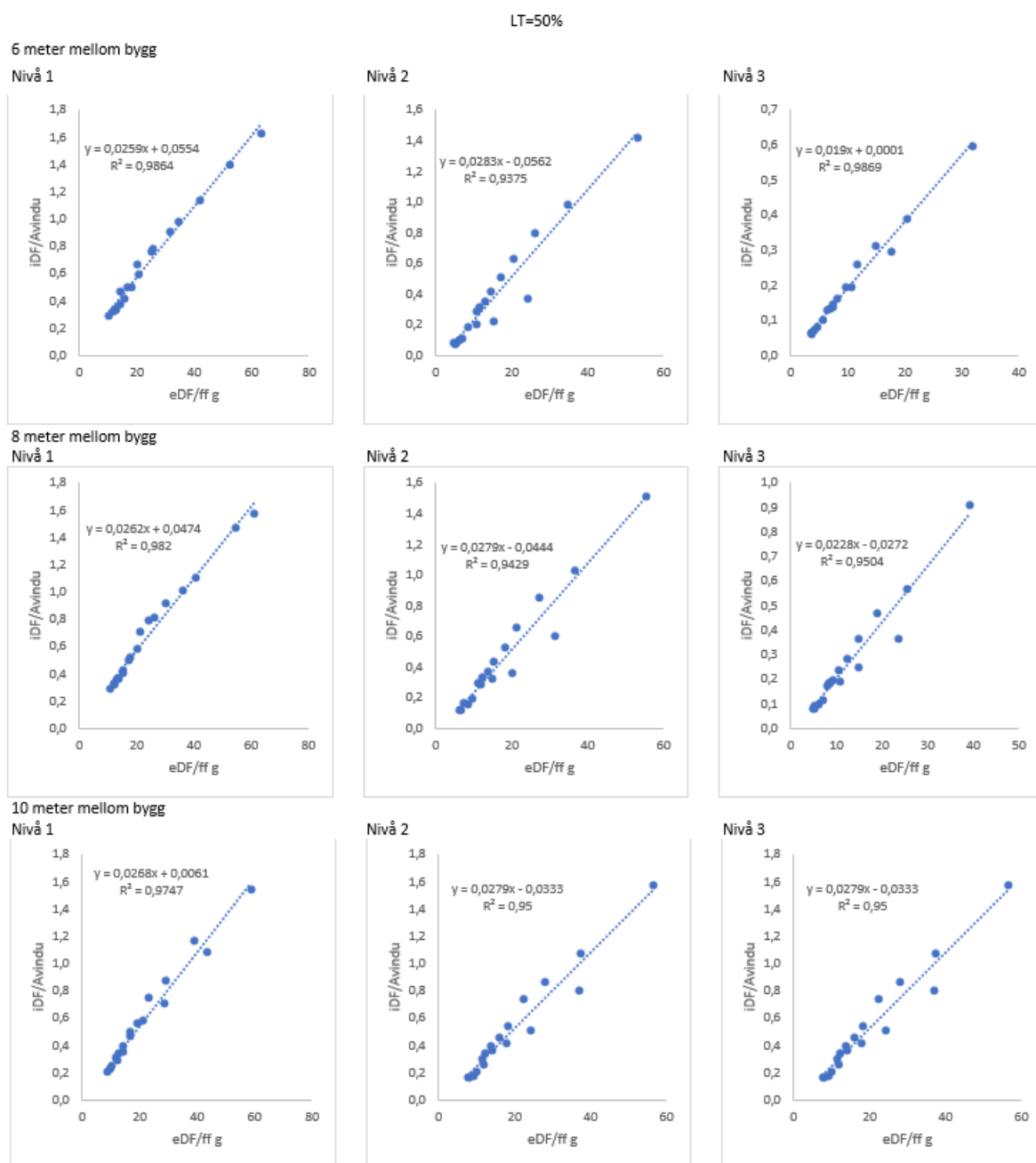
10 meter mellom bygg

Tabell 24: Resultat ved skjerming fra parallelt bygg, 10 meter mellom bygg, LT=70%

NIVÅ 1	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,46	34,95	0,80	0,90	43,69	2,31
	3 m	1,30	34,45	1,20	1,26	28,71	1,47
	4 m	1,27	34,07	1,60	1,56	21,29	1,16
	5 m	1,37	33,89	2,00	1,95	16,95	1,00
	6 m	1,26	33,81	2,40	2,43	14,09	0,74
	7 m	1,26	33,90	2,80	2,91	12,11	0,62
	8 m	1,24	34,15	3,20	3,45	10,67	0,52
	9 m	1,31	34,62	3,60	4,00	9,62	0,47
	10 m	1,35	35,37	4,00	4,38	8,84	0,44
	etg 2	2 m	2,01	47,12	0,80	0,90	58,90
3 m		1,98	46,92	1,20	1,26	39,10	2,25
4 m		2,00	46,75	1,60	1,56	29,22	1,83
5 m		2,04	46,58	2,00	1,95	23,29	1,49
6 m		1,99	46,56	2,40	2,43	19,40	1,17
7 m		1,97	46,60	2,80	2,91	16,64	0,97
8 m		1,98	46,74	3,20	3,45	14,61	0,82
9 m		2,00	46,97	3,60	4,00	13,05	0,71
10 m		2,01	47,21	4,00	4,38	11,80	0,66
NIVÅ 2							
etg 1	2 m	1,04	29,64	0,80	0,90	37,05	1,65
	3 m	0,97	29,12	1,20	1,26	24,27	1,10
	4 m	0,94	28,71	1,60	1,56	17,94	0,86
	5 m	0,95	28,45	2,00	1,95	14,23	0,70
	6 m	0,91	28,38	2,40	2,43	11,83	0,54
	7 m	0,92	28,48	2,80	2,91	10,17	0,45
	8 m	1,00	28,76	3,20	3,45	8,99	0,42
	9 m	1,04	29,32	3,60	4,00	8,14	0,37
	10 m	1,02	30,07	4,00	4,38	7,52	0,33
	etg 2	2 m	1,99	45,38	0,80	0,90	56,73
3 m		1,93	45,05	1,20	1,26	37,54	2,19
4 m		1,94	44,76	1,60	1,56	27,98	1,78
5 m		2,03	44,63	2,00	1,95	22,32	1,49
6 m		1,91	44,54	2,40	2,43	18,56	1,12
7 m		1,90	44,61	2,80	2,91	15,93	0,93
8 m		1,97	44,77	3,20	3,45	13,99	0,81
9 m		1,96	45,13	3,60	4,00	12,54	0,70
10 m		1,95	45,63	4,00	4,38	11,41	0,64
NIVÅ 3							
etg 1	2 m	0,62	22,91	0,80	0,90	28,64	0,99
	3 m	0,56	22,26	1,20	1,26	18,55	0,64
	4 m	0,60	21,81	1,60	1,56	13,63	0,55
	5 m	0,67	21,56	2,00	1,95	10,78	0,49
	6 m	0,57	21,48	2,40	2,43	8,95	0,34
	7 m	0,59	21,60	2,80	2,91	7,71	0,29
	8 m	0,59	21,91	3,20	3,45	6,85	0,24
	9 m	0,64	22,48	3,60	4,00	6,24	0,23
	10 m	0,68	23,25	4,00	4,38	5,81	0,22
	etg 2	2 m	1,42	35,40	0,80	0,90	44,25
3 m		1,28	34,96	1,20	1,26	29,13	1,45
4 m		1,30	34,64	1,60	1,56	21,65	1,19
5 m		1,30	34,39	2,00	1,95	17,20	0,95
6 m		1,26	34,35	2,40	2,43	14,31	0,74
7 m		1,26	34,43	2,80	2,91	12,30	0,62
8 m		1,25	34,66	3,20	3,45	10,83	0,52
9 m		1,30	35,15	3,60	4,00	9,76	0,46
10 m		1,34	35,80	4,00	4,38	8,95	0,44

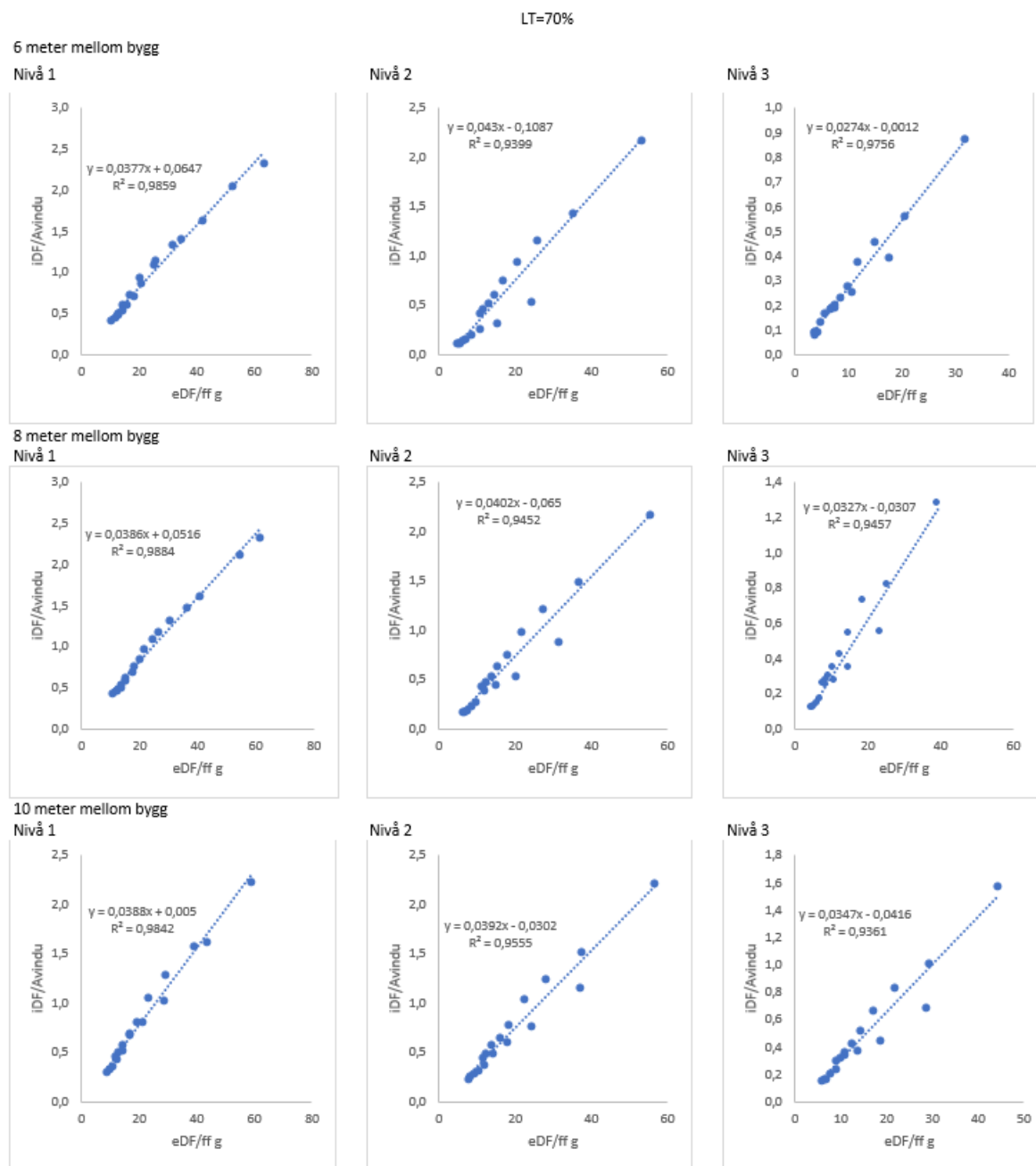
## C.5.2 Grafisk fremstilling for hvert nivå

Ved LT=50%



Figur 56: Grafisk fremstilling av resultater for hvert nivå, LT=50%

Ved LT=70%



Figur 57: Grafisk fremstilling av resultater for hvert nivå, LT=70%

## C.6 Skjerming fra overhengende balkonger

### C.6.1 Resultat fra simulering

LT=50%

Tabell 25: Resultat ved skjerming fra overhengende balkong, LT=50%

	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	0,75	28,13	0,80	0,90	35,16	1,66
	3 m	0,77	26,24	1,20	1,26	21,87	1,23
	4 m	0,77	25,97	1,60	1,56	16,23	0,98
	5 m	0,83	25,80	2,00	1,95	12,90	0,85
	6 m	0,83	25,76	2,40	2,43	10,73	0,68
	7 m	0,83	25,75	2,80	2,91	9,20	0,57
	8 m	0,82	25,84	3,20	3,45	8,08	0,48
	9 m	0,78	25,45	3,60	4,00	7,07	0,39
	10 m	0,79	27,26	4,00	4,38	6,82	0,36
	etg 2	2 m	0,78	29,16	0,80	0,90	36,45
3 m		0,80	27,50	1,20	1,26	22,92	1,26
4 m		0,79	27,31	1,60	1,56	17,07	1,01
5 m		0,85	27,22	2,00	1,95	13,61	0,88
6 m		0,86	27,16	2,40	2,43	11,32	0,71
7 m		0,85	27,18	2,80	2,91	9,71	0,59
8 m		0,84	27,22	3,20	3,45	8,51	0,49
9 m		0,85	26,76	3,60	4,00	7,43	0,42
10 m		0,81	28,30	4,00	4,38	7,08	0,37

LT=70%

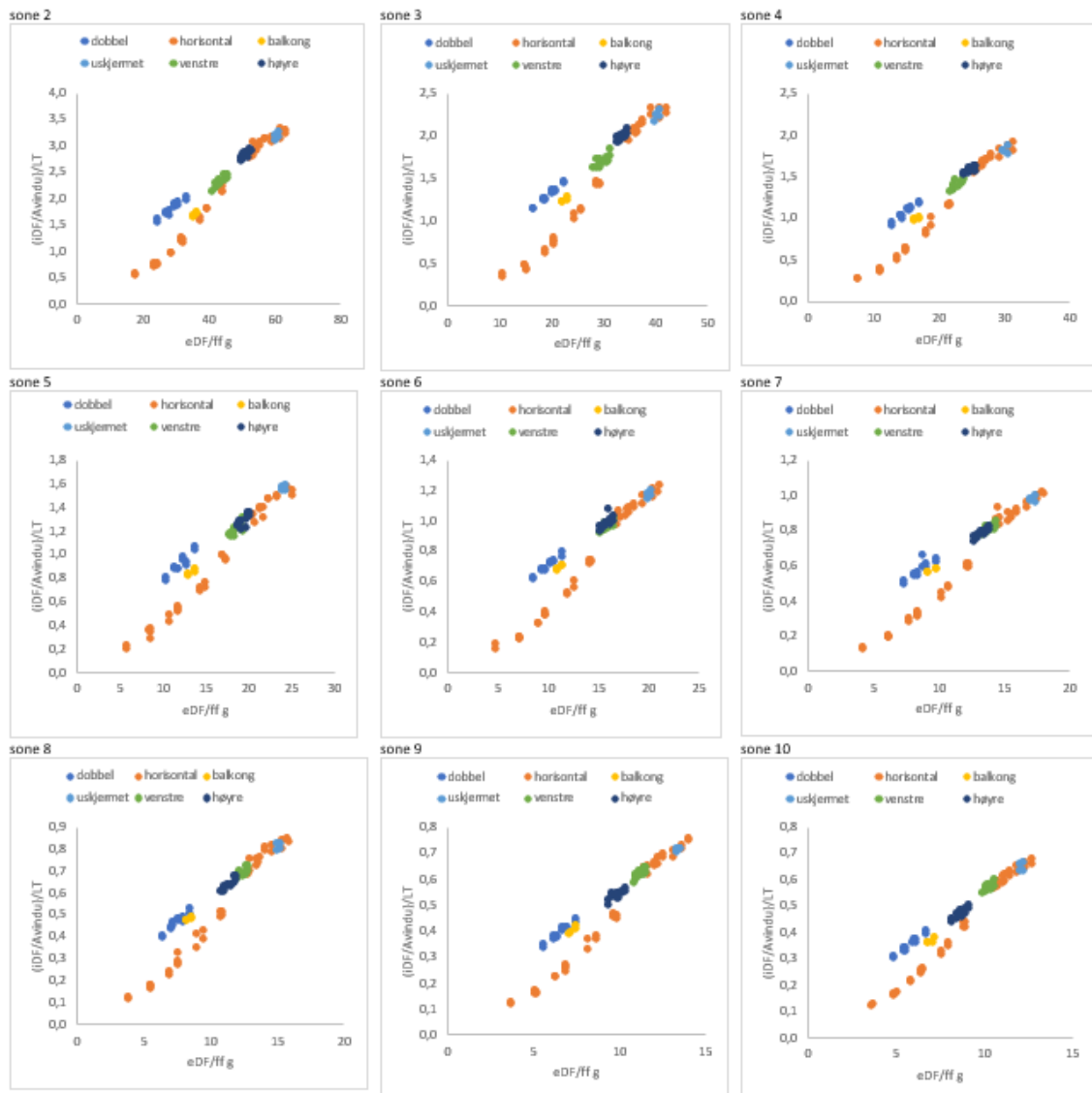
Tabell 26: Resultat ved skjerming fra overhengende balkong, LT=70%

	Dybde	intern DF	ekstern DF	ff g	Avindu	eDF/ff g	iDF/Avindu/LT
etg 1	2 m	1,07	28,10	0,80	0,90	35,13	1,70
	3 m	1,09	26,25	1,20	1,26	21,88	1,24
	4 m	1,10	25,95	1,60	1,56	16,22	1,00
	5 m	1,13	25,81	2,00	1,95	12,91	0,83
	6 m	1,15	25,76	2,40	2,43	10,73	0,68
	7 m	1,15	25,77	2,80	2,91	9,20	0,57
	8 m	1,16	25,86	3,20	3,45	8,08	0,48
	9 m	1,12	25,51	3,60	4,00	7,09	0,40
	10 m	1,13	27,25	4,00	4,38	6,81	0,37
	etg 2	2 m	1,11	29,22	0,80	0,90	36,53
3 m		1,13	27,52	1,20	1,26	22,93	1,29
4 m		1,13	27,31	1,60	1,56	17,07	1,03
5 m		1,16	27,25	2,00	1,95	13,63	0,85
6 m		1,21	27,21	2,40	2,43	11,34	0,71
7 m		1,21	27,20	2,80	2,91	9,71	0,59
8 m		1,20	27,26	3,20	3,45	8,52	0,50
9 m		1,16	26,80	3,60	4,00	7,44	0,41
10 m		1,17	28,35	4,00	4,38	7,09	0,38



## C.7 Samlede resultater

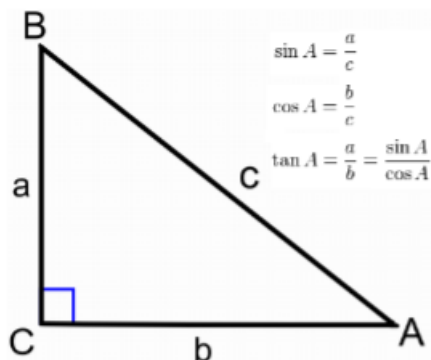
## C.7.1 Analyse av hver enkelt sone



Figur 58: Analyse av hver sone, enkeltvis

## C.8 Begrensninger

### C.8.1 Skjerming fra parallelt bygg



Figur 59: Formeler ved trigonometriberegning [17]

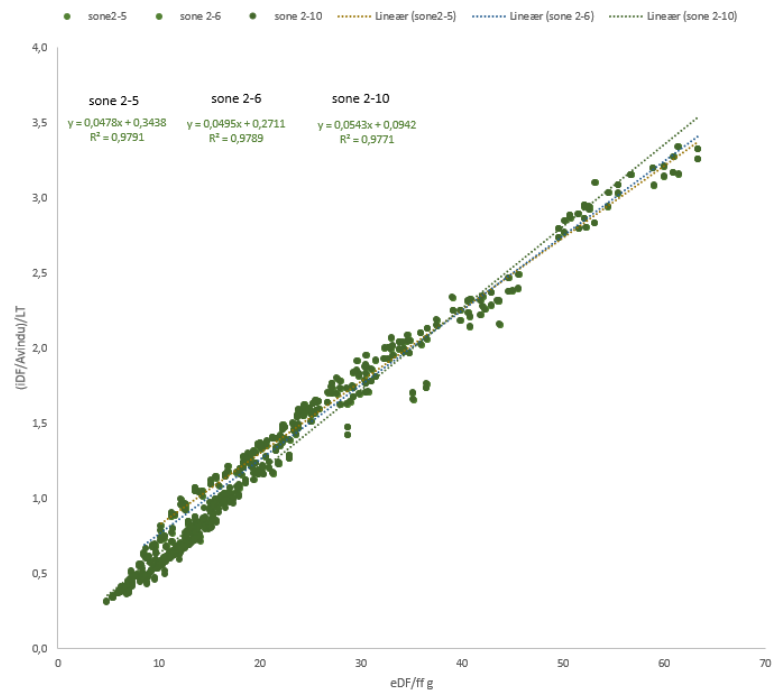
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) \quad (16)$$

Tabell 27: Input og resultat for beregning av uhindret himmelvinkel

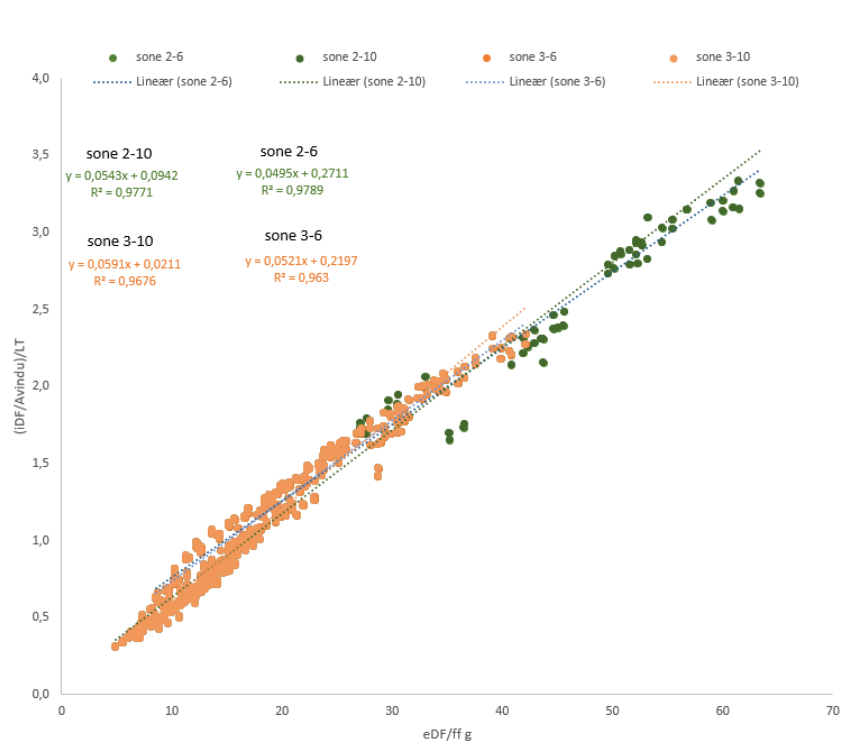
		a, Horisontal avstand	b, Vertikal avstand	$\theta$ , Uhindret himmelvinkel
1 etg	nivå 1	6	1,05	80,07
	nivå 2	6	8,05	36,70
	nivå 3	6	13,05	24,69
	nivå 1	8	1,05	82,52
	nivå 2	8	8,05	44,82
	nivå 3	8	13,05	31,51
	nivå 1	10	1,05	84,01
	nivå 2	10	8,05	51,17
	nivå 3	10	13,05	37,46
2 etg	nivå 2	6	1,05	80,07
	nivå 3	6	6,05	44,76
	nivå 2	8	1,05	82,52
	nivå 3	8	6,05	52,90
	nivå 2	10	1,05	84,01
	nivå 3	10	6,05	58,83

Formel ?? og inndata fra tabell 27 gir uhindret himmelvinkel, presentert i tabell.

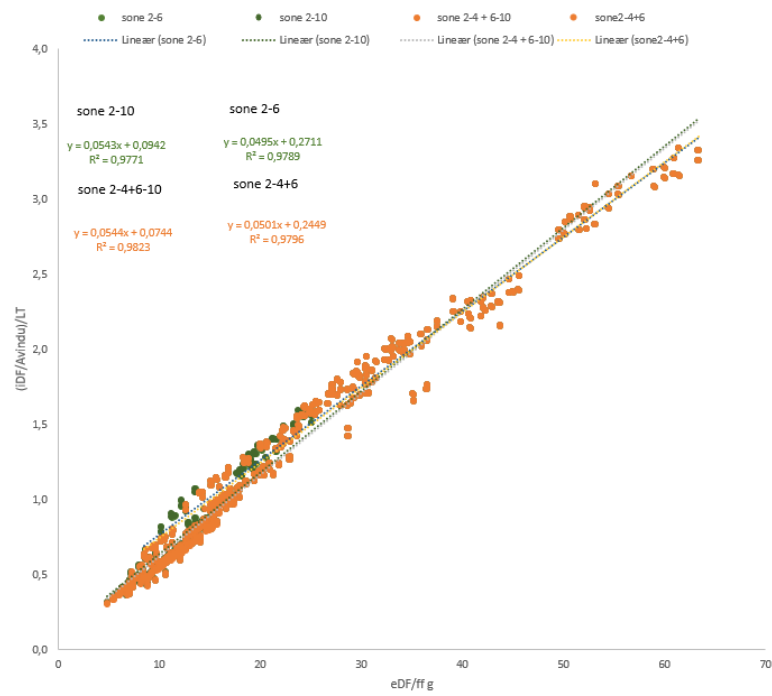
## C.8.2 Formfaktor

Figur 60: Sammenligning  $R^2$  for soner med forskjellig formfaktor

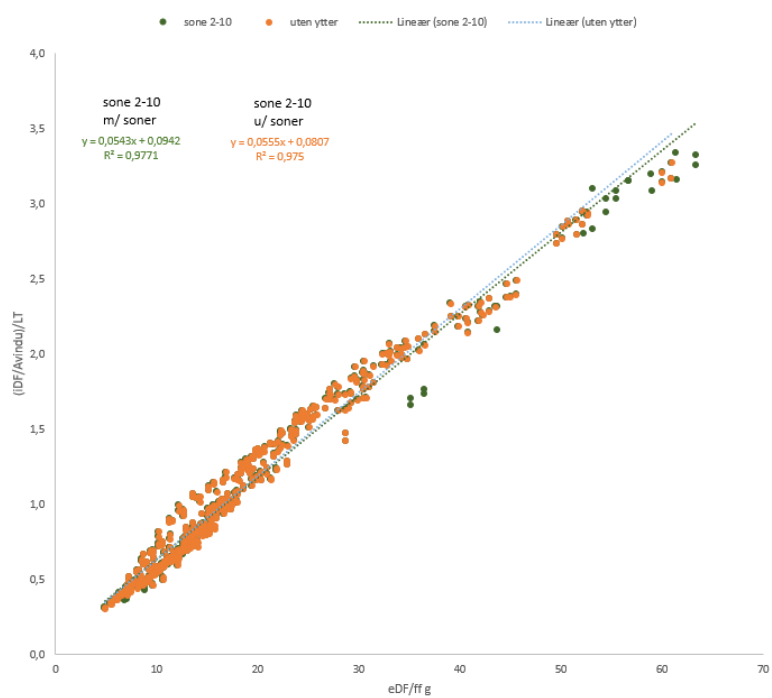
## C.8.3 Sone 2

Figur 61: Sammenligning  $R^2$  med og uten sone 2

## C.8.4 Sone 5

Figur 62: Sammenligning  $R^2$  med og uten sone 5

## C.8.5 Annet skjermingsbilde, sone 2 og 10

Figur 63: Sammenligning  $R^2$  med og uten soner med annet skjermingsbilde

## C.9 Formel for tidligfase

### C.9.1 Resultat fra utprøving av formler

Test 1: Sone, uskjernet, 2,5\*3,5 - IDA ICE gir iDF=2,28

$$iDF := 2$$

$$eDF := 47.24$$

$$LT := 0.5$$

$$ff := \frac{3.5}{2.5} = 1.4$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 2.106$$

$$b := \frac{Avindu}{1.2} \quad b = 1.755 \quad v := \frac{(2.5 - b)}{2} \quad v = 0.373$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.421$$

Test 2: Sone, uskjernet, 2,5\*4,5 - IDA ICE gir iDF=1,897

$$iDF := 2$$

$$eDF := 47.24$$

$$LT := 0.7$$

$$ff := \frac{4.5}{2.5} = 1.8$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 1.934$$

$$b := \frac{Avindu}{1.2} \quad b = 1.612 \quad v := \frac{(2.5 - b)}{2} \quad v = 0.444 \quad 2.5 - v = 2.056$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.854$$

Test 3: Sone, balkong, 3\*4 - IDA ICE gir iDF=1,521

$$iDF := 2$$

$$eDF := 27.68$$

$$LT := 0.5$$

$$ff := \frac{4}{3} = 1.333$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 3.339$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 2.226 \quad v := \frac{(3 - b)}{2} \quad v = 0.387 \quad 3 - v = 2.613$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.362$$

Test 4: Sone, balkong, 2,5\*2,5 - IDA ICE gir iDF=1,881

$$iDF := 2$$

$$eDF := 27.68$$

$$LT := 0.7$$

$$ff := \frac{2.5}{2.5} = 1$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 1.789$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.193 \quad v := \frac{(2.5 - b)}{2} \quad v = 0.654 \quad 2.5 - v = 1.846$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1$$

Test 5: Sone, høyre, 4\*2,5 - IDA ICE gir iDF=2,16

$$iDF := 2$$

$$eDF := 40.4$$

$$LT := 0.5$$

$$ff := \frac{4}{2.5} = 1.6$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 2.797$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.865 \quad v := \frac{(2.5 - b)}{2} \quad v = 0.318 \quad 2.5 - v = 2.182$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.642$$

Test 6: Sone, høyre, 3,5\*2,5 - IDA ICE gir iDF=2,238

$$iDF := 2$$

$$eDF := 40.4$$

$$LT := 0.7$$

$$ff := \frac{3.5}{2.5} = 1.4$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 1.748$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.166 \quad v := \frac{(2.5 - b)}{2} \quad v = 0.667 \quad 2.5 - v = 1.833$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.424$$



Test 7: Sone, venstre, 4\*3 - IDA ICE gir iDF=1,605

$$iDF := 2$$

$$eDF := 37.81 \quad ff := \frac{4}{3} = 1.333$$

$$LT := 0.5$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 2.484$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.656 \quad v := \frac{(3-b)}{2} \quad v = 0.672 \quad 3-v = 2.328$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.354$$

Test 8: Sone, venstre, 3,5\*2,5 - IDA ICE gir iDF=2,253

$$iDF := 2$$

$$eDF := 37.81 \quad ff := \frac{3.5}{2.5} = 1.4$$

$$LT := 0.7$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 1.863$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.242 \quad v := \frac{(2.5-b)}{2} \quad v = 0.629 \quad 2.5-v = 1.871$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1.426$$

Test 9: Sone, dobbel vertikal, 2,5\*2,5 - IDA ICE gir iDF=2,144

$$iDF := 2$$

$$eDF := 22.99 \quad ff := \frac{2.5}{2.5} = 1$$

$$LT := 0.5$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 2.979$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.986 \quad v := \frac{(2.5-b)}{2} \quad v = 0.257 \quad 2.5-v = 2.243$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1$$

Test 10: Sone, dobbel vertikal, 2,5\*3- IDA ICE gir iDF=1,692

$$iDF := 2$$

$$eDF := 22.99$$

$$LT := 0.7$$

$$ff := \frac{2.5}{3} = 0.833$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 1.773$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 1.182 \quad v := \frac{(3-b)}{2} \quad v = 0.909 \quad 3-v = 2.091$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 0.823$$

Test 11: Sone, parallell, 5,5\*2,5 - IDA ICE gir iDF=1,921

$$iDF := 2$$

$$eDF := 43.56$$

$$LT := 0.5$$

$$ff := \frac{5.5}{2.5} = 2.2$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 3.578$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 2.385 \quad v := \frac{(2.5-b)}{2} \quad v = 0.057 \quad 2.5-v = 2.443$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 2.31$$

Test 12: Sone, parallell, 3\*3 - IDA ICE gir iDF=1,537

$$iDF := 2$$

$$eDF := 43.56$$

$$LT := 0.7$$

$$ff := \frac{3}{3} = 1$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \quad Avindu = 1.162$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \quad b = 0.774 \quad v := \frac{(3-b)}{2} \quad v = 1.113 \quad 3-v = 1.887$$

$$ff := \frac{0.0543 \cdot Avindu \cdot LT \cdot eDF}{iDF - 0.0942 \cdot Avindu \cdot LT} \quad ff = 1$$

## C.9.2 Oppsett formel

$$\begin{array}{l}
 iDF := 6 \\
 eDF := 43.56 \\
 LT := 0.7
 \end{array}
 \qquad
 ff := \frac{5}{2} = 2.5$$

$$Avindu := \frac{(iDF \cdot ff)}{0.0942 \cdot LT + 0.0543 \cdot LT \cdot eDF} \qquad Avindu = 8.713$$

$$b := \frac{Avindu}{1.5} \qquad b = 5.808 \qquad v := \frac{(5 - b)}{2} \qquad \underline{v = -0.404} \qquad 2 - v = 2.404$$

Figur 64: Annen metode for bruk av formel