



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2024 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

## **Klimabaserte dagslysanalyser – et mulig paradigmeskifte for bransjen**

Climate-based daylight analysis – a possible paradigm shift for the industry

**Nora Svendsen**  
Byggeteknikk og arkitektur

## Forord

Denne masteravhandlingen markerer slutten på masterstudiet i sivilingeniørutdanningen byggeteknikk og arkitektur ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet i Ås. Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng og er skrevet ved fakultetet for realfag og teknologi våren 2024.

Under arbeidet med denne oppgaven har jeg fått en større forståelse av hvor avgjørende geografisk plassering, beregningsmetoder og tilgjengelige dagslysressurser er for kvaliteten på dagslyset i et rom. Fordypningen i masteroppgaven har vært givende og lærerik, og bidratt til både personlig og akademisk vekst. Jeg synes at temaet er interessant og fortjener mer oppmerksomhet i bransjen enn det får i dag.

Jeg vil rette en stor takk til Arnkell Jonas Petersen for god veiledning, tålmodighet og tilrettelegging gjennom hele perioden. Jeg vil også rette en takk til min familie, kjæreste og venner som har oppmuntret meg og gjort lange dager med arbeid lettere å komme seg gjennom. Jeg vil i tillegg takke Ludvig Normann Hansen fra ingeniørfirmaet Agnalt & Holmen AS for verdifulle råd og bistand under arbeidet med oppgaven.

Ås, 14. Mai 2024

---

Nora Svendsen

## Sammendrag

Dagslys er et viktig element i bygningsdesign fordi det påvirker visuell komfort, menneskers helse, termisk inn klima og energieffektivitet. I dagens byggt teknisk forskrift (TEK17) stilles det krav til tilfredsstillende tilgang på dagslys på minimum 2% gjennomsnittlig dagslysfaktor for rom for varig opphold. Simuleringene som benyttes for beregningene av gjennomsnittlig dagslysfaktor gjennomføres med CIE standard overskyet himmel, og tar ikke hensyn til variasjoner i klima, orientering etter himmelretninger eller geografisk lokasjon. Dette arbeidet har dermed hensikt om å undersøke hvorvidt klimabaserte dagslysanalyser kan være relevant for bransjen i dag gjennom simulering av et enkelt klasserom.

Modellene for beregningene har blitt tegnet med Rhino 7, og deretter analysert ved bruk av ulike simuleringst verktøy i ClimateStudio. Hovedverktøyet for de klimabaserte analysene er LEED v4.1 Option 1, som er i stand til å beregne  $ASE_{1000,250h}$ ,  $sDA_{300,50}$  og gjennomsnittlig illuminans i rommet. Med dette verktøyet har basisgeometrien benyttet for beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor blitt sammenliknet med resultater fra de klimabaserte analysene, og deretter gjennomgått designendringer for å oppnå kravene for illuminans som stilles i NS-EN 17037. Det er i tillegg blitt undersøkt hvilken påvirkning refleksjonsverdier har å si for bygningsdesign, da dette praktiseres ulikt. Oppgaven har også forsøkt å gi svar på hvordan dagslyssressursen varierer geografisk gjennom stedsanalyser av tre utvalgte byer; Oslo, Bergen og Tromsø. Deretter har det blitt gjort klimabaserte analyser med samme romgeometri for Bergen og Tromsø som ble benyttet i Oslo, med hensikt om å undersøke hvilke konsekvenser dette har for bygningsdesignet og dagslyskvaliteten.

Resultatene viser at et klasserom som oppfyller krav som stilles til gjennomsnittlig dagslysfaktor, ikke tilfredsstillende krav som NS-EN 17037 stiller til beregninger gjort med klimadata og illuminans. Videre var det observerbart at orientering etter de ulike himmelretningene hadde stor innvirkning på hvor enkelt det var å imøtekomme kravene. Fasaden rettet mot nord oppfylte kriteriene med kun små designendringer, mens fasaden mot sør krevde drastiske endringer. I tillegg viste stedsanalysene at det er en merkbar forskjell i direkte normal og global horisontal stråling, samt solens høyde over horisonten for de ulike byene. Dette ga store kontraster på resultatene fra analysene med klimadata fra Bergen og Tromsø.

Oppgaven oppsummeres med at det er store forskjeller på resultatene ved gjennomsnittlig dagslysfaktor og klimabaserte beregninger, som gjør at det kreves ulikt bygningsdesign for å oppfylle kravene. Det er også merkbare forskjeller ved bruk av klimadata fra forskjellige områder i landet som vil påvirke dagslystilgangen og valg av design.

## Abstract

Daylight is an important element in building design due to its impact on visual comfort, human health, thermal indoor climate and energy efficiency. The current regulation manual for building design (TEK17) requires adequate access to daylight at a minimum of 2% average daylight factor for rooms intended for permanent occupancy. The computations of the average daylight factor are based on simulations using the CIE standard overcast sky. However, it does not account for variations in climate, geographical location, or orientation by sky directions. Thus, by simulating a single classroom, this work aims to investigate whether climate-based daylight analysis can be applicable to the industry today.

Rhino 7 was used to design the models for the computations, and ClimateStudio's simulation features were then used for analysis. LEED v4.1 Option 1, which can compute  $ASE_{1000,250h}$ ,  $sDA_{300,50}$  and average room illuminance, is the primary tool for the climate-based analysis. The results from the computations done with average daylight factor was compared to the analysis found using LEED v4.1 Option 1, leading to design modifications in order to meet the requirements for illuminance in the European standard NS-EN 17037. Furthermore, research has been done on how reflection values affect building design. The work has also attempted to address the geographical variations in the daylight resource by using location analysis of three selected cities: Oslo, Bergen and Tromsø. Subsequently, climate-based analysis with the same spatial geometry for Bergen and Tromsø have been carried out, with the intention of investigating what implications this has for the building design and daylight quality.

The findings indicate that a classroom that satisfies the requirements set for the average daylight factor does not meet the criteria of NS-EN 17037 for calculations involving illuminance and climate data. Additionally, it was observed that the ease of meeting the requirements was significantly influenced by orientation in relation to the various sky directions. The location analysis revealed that the sun's altitude above the horizon, global horizontal radiation, and direct normal radiation varies noticeably between the cities. This provided a strong contrast to the analysis's findings using climate data from Bergen and Tromsø.

The thesis concludes that significant differences exist between the average daylight factor and climate-based calculations, indicating that alternative building designs are needed to satisfy the requirements. Daylight access and design choices will be impacted by the evident variations in climatic data from different parts of the country.



## Forkortelser

<b>Forkortelse</b>	<b>Forklaring</b>
<b>ASE</b>	Annual Sunlight Exposure (årlig eksponering for sollys)
<b>CAD</b>	Computer-aided Design (dataassistert konstruksjon)
<b>CIE</b>	Commission internationale de l'éclairage (Den internasjonale kommisjon for belysning)
<b>CSV</b>	Comma-separated values (kommaseparerte filer)
<b>DA</b>	Daylight Autonomy (dagslysautonomi)
<b>DGP</b>	Daylight Probability Glare (sannsynlighet for blanding fra dagslys)
<b>DHI</b>	Diffuse Horizontal Radiation (diffus horisontal stråling)
<b>DNI</b>	Direct Normal Irradiance (direkte normal stråling)
<b>GDF</b>	Gjennomsnittlig dagslysfaktor
<b>GHI</b>	Global Horizontal Irradiation (global horisontal stråling)
<b>IES</b>	Illuminating Engineering Society
<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environmental Design
<b>sDA</b>	Spatial Daylight Autonomy (romlig dagslysautonomi)
<b>RIF</b>	Rådgivende Ingeniørers Forening
<b>UTCI</b>	Universal Thermal Climate Index (universell varme- og klimaindeks)

## Begreper

Begrep	Forklaring	Benevning
<b>ASE<sub>1000,250h</sub></b>	En prosentandel som viser et analyseområde som mottar mer enn 1000 lux direkte sollys for mer enn 250 timer der området er i bruk over et år. Området blir dermed «overbelyst» og kan forårsake utfordringer med blending. Tar ikke hensyn til solskjermingssystem.	(%)
<b>DA</b>	Et tall som representerer en prosentandel av gulvareal som oppnår en viss mengde illuminans med dagslys som eneste lyskilde.	
<b>Dagslysfaktor</b>	Et tall som viser forholdet mellom illuminans på en horisontal flate innendørs og tilsvarende horisontal flate utendørs der horisonten ikke blir hindret og himmelen er jevnt overskyet.	(%)
<b>DHI</b>	Stråling på jordens overflate som blir spredt eller reflektert av atmosfæren. Dette er stråling som ikke kommer direkte fra solstråler, men fra alle andre punkter i himmelen og måles på en horisontal flate.	(W/m <sup>2</sup> )
<b>DNI</b>	Stråling på jordens overflate der området som måles står vinkelrett på solens posisjon/stråling.	(W/m <sup>2</sup> )
<b>GDF</b>	Gjennomsnittlig dagslysfaktor er snittet av dagslysfaktoren i et rom. Beregnes ut ifra Lynes formel.	(%)
<b>GHI</b>	Den globale strålingen på jordens overflate fra solen. Dette er summen av direkte stråling, der det er tatt hensyn til vinkelen mellom solens stråling og vertikale retning, og diffus horisontal stråling.	(W/m <sup>2</sup> )
<b>Illuminans</b>	Et mål som angir belysningsstyrke på en gitt overflate ved å dividere lysfluks fra lyskilden med flatearealet som blir belyst.	(lux)
<b>Luminans</b>	Et mål som angir mengde lys som slippes gjennom eller reflekteres av en gitt flate sett fra samme retning, og hvor intenst lyset blir registrert av et øye i denne retningen.	(cd/m <sup>2</sup> )
<b>Lystransmisjon</b>	Mengden lys som slipper inn gjennom vinduet.	(%)
<b>sDA</b>	En prosentandel av arealets brukstid som oppnår et spesifikt nivå av illuminans med dagslys som lyskilde.	(%)
<b>sDA<sub>300,50</sub></b>	En prosentandel som representerer hvor stor del av et analyseområde som når et minimumskrav (300 lux) på lysintensitet fra daglys alene for minst 50% av tiden området er i bruk over et år. Tar hensyn til bruk av dynamisk solskjerming.	(%)

## Tabeller

<b>1</b>	Krav til illuminans og dagslysfaktor i NS-EN 17037	7
<b>2</b>	Anbefalte refleksjonsverdier for overflater fra NS-EN 17037	8
<b>3</b>	Krav for DGP i NS-EN 17037	8
<b>4</b>	Anbefalte refleksjonsverdier for overflater fra RIF	31
<b>5</b>	Anbefalte refleksjonsverdier for overflater fra BREEAM	31
<b>6</b>	Anbefalte refleksjonsverdier for overflater fra Svanemerket 4.2	31
<b>7</b>	Refleksjonsverdier for ulike overflater som er benyttet i beregningene	32
<b>8</b>	Resultater fra simuleringer med gjennomsnittlig dagslysfaktor	33
<b>9</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 uten solskjerming	34
<b>10</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 med solskjerming	35
<b>11</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 endring 1	36
<b>12</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 endring 2	37
<b>13</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 endring 3	38
<b>14</b>	Resultater fra simulering med ulike refleksjonsverdier sDA	40
<b>15</b>	Resultater fra simulering med ulike refleksjonsverdier ASE	40
<b>16</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 Bergen	42
<b>17</b>	Resultater fra simulering med LEED v4.1 Option 1 Tromsø	43
<b>18</b>	Resultater fra simulering med EN 17037	48
<b>19</b>	Resultater fra simulering med BREEAM	49

## Figurer

<b>1</b>	Hovedkilder til dagslys ( <b>VELUX (1), u.d.</b> )	4
<b>2</b>	Kortisol- og melatoninnivå gjennom døgnet (VELUX (2), u.d.)	5
<b>3</b>	Spektralfordeling av dagslys vs elektriske lyskilder (VELUX (3), u.d.)	6
<b>4</b>	CIE standard overskyet himmel (Nora Svendsen, inspirert av (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019))	9
<b>5</b>	Solinnstråling over Norge (laget av Endre Barstad, hentet fra (Gemini.no, u.d.))	13
<b>6</b>	Solhøyde for Oslo og Tromsø om sommer og vinter (Nora Svendsen)	14
<b>7</b>	Solens bevegelse i Oslo og Tromsø ved sommersolverv og vintersolverv (utklipp fra ClimateStudio)	14
<b>8</b>	Oppsett i Rhino 7 (utklipp fra Rhino 7)	15
<b>9</b>	Basisgeometri x-y-plan (utklipp fra Rhino 7)	16
<b>10</b>	Basisgeometri i y-z-plan (utklipp fra Rhino 7)	17
<b>11</b>	Basisgeometri i y-z-plan (utklipp fra Rhino 7)	17
<b>12</b>	Basisgeometri 3D modell (utklipp fra Rhino 7)	18
<b>13</b>	Geometri med endring 1 i x-z-plan (utklipp fra Rhino 7)	19
<b>14</b>	Geometri med endring 1 3D modell (utklipp fra Rhino 7)	19
<b>15</b>	Geometri med endring 2 i x-z-plan (utklipp fra Rhino 7)	20
<b>16</b>	Geometri med endring 2 3D modell (utklipp fra Rhino 7)	20
<b>17</b>	Geometri med endring 3 x-z-plan (utklipp fra Rhino 7)	21
<b>18</b>	Geometri med endring 3 3D modell (utklipp fra Rhino 7)	21
<b>19</b>	Beregningsforutsetninger for okkupert område (utklipp fra ClimateStudio)	22
<b>20</b>	Illustrasjon av sensorplasseringer (Solemma (6), 2020)	23
<b>21</b>	Simuleringsinnstillinger (utklipp fra ClimateStudio)	23
<b>22</b>	Oppsett for dagslysfaktor-simulering (utklipp fra ClimateStudio)	24
<b>23</b>	Oppsett for LEED v4.1 Option 1-simulering (utklipp fra ClimateStudio)	25
<b>24</b>	Informasjonsfane for klimadata (utklipp fra ClimateStudio)	25
<b>25</b>	Operativ solskjerming (utklipp fra ClimateStudio)	26
<b>26</b>	Oppsett for EN 17037 (utklipp fra ClimateStudio)	27
<b>27</b>	Fargeskala- og tabelleksempel for EN 17037 (Solemma (3), 2020)	28
<b>28</b>	Illustrasjon av fargefordeling etter måloppnåelse for EN 17037 (Solemma (3), 2020)	28
<b>29</b>	Illustrasjon av dagslysautonomi for EN 17037 (Solemma (3), 2020)	29
<b>30</b>	Oppsett for stedsanalyser (utklipp fra ClimateStudio)	30
<b>31</b>	Tre-lags glass (utklipp fra ClimateStudio)	32
<b>32</b>	Resultat av simulering med gjennomsnittlig dagslysfaktor	33
<b>33</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 uten solskjerming	34
<b>34</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 med solskjerming	35
<b>35</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 endring 1	36
<b>36</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 endring 2	37
<b>37</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 endring 3	38
<b>38</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 sDA BREEAM VS Svanemerket 4.2	39
<b>39</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 ASE BREEAM VS Svanemerket 4.2	40
<b>40</b>	Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 Bergen	42

<b>41</b>	<b>Resultat av simulering med LEED v4.1 Option 1 Tromsø</b>	<b>43</b>
<b>42</b>	<b>Direkte normal stråling Oslo</b>	<b>44</b>
<b>43</b>	<b>Direkte normal stråling Bergen</b>	<b>45</b>
<b>44</b>	<b>Direkte normal stråling Tromsø</b>	<b>45</b>
<b>45</b>	<b>Global horisontal stråling Oslo</b>	<b>46</b>
<b>46</b>	<b>Global horisontal stråling Bergen</b>	<b>47</b>
<b>47</b>	<b>Global horisontal stråling Tromsø</b>	<b>47</b>
<b>48</b>	<b>Resultat fra simulering med EN 17037</b>	<b>48</b>
<b>49</b>	<b>Resultat fra simulering med BREEAM</b>	<b>49</b>
<b>50</b>	<b>Gjennomsnittlig illuminans med LEED v4.1 Option 1 VS EN 17037</b>	<b>50</b>
<b>51</b>	<b>Gjennomsnittlig illuminans med BREEAM</b>	<b>51</b>

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Abstract.....	iii
Forkortelser.....	iv
Begreper .....	v
Tabeller .....	vi
Figurer.....	vii
<b>1 Introduksjon.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrunn .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Problemstilling, mål og hensikt .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Avgrensninger.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Oppgavens oppbygning.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Teori.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Kapitteloversikt .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Definisjon av dagslys.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Hvorfor er dagslys viktig?.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4 Hvordan påvirker dagslys visuell komfort?.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5 Anbefalinger og krav til dagslys i bygningsdesign .....</b>	<b>7</b>
2.5.1 TEK17 .....	7
2.5.2 Europeisk Standard (NS-EN 17037).....	7
2.5.3 Svanemerket.....	8
2.5.4 BREEAM.....	8
<b>2.6 Metoder for dagslyssimuleringer.....</b>	<b>9</b>
2.6.1 Gjennomsnittlig dagslysfaktor ved CIE standard overskyet himmel.....	9
2.6.2 Klimabasert dagslysanalyse.....	11
<b>2.7 Dagslyskilder.....</b>	<b>12</b>
2.7.1 Direkte sollys.....	12
2.7.2 Diffust lys .....	12
2.7.3 Reflektert lys.....	12
<b>2.8 Klima i Norge .....</b>	<b>13</b>
<b>3 Metode.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Rhino 7.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Geometri.....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Videreutvikling av geometri for alle himmelretningene.....	19
3.2.2 Geometriendring kun mot sør.....	20
<b>3.3 Påvirkning av geografisk plassering.....</b>	<b>22</b>

<b>3.4</b>	<b>ClimateStudio</b> .....	22
3.4.1	Daylight Availability .....	22
3.4.2	Daylight Factor.....	24
3.4.3	LEED v4.1 Option 1 .....	24
3.4.4	EN 17037.....	27
3.4.5	BREEAM International 4b .....	29
3.4.6	Stedsanalyse .....	30
3.4.7	Input data.....	31
<b>4</b>	<b>Resultater</b> .....	33
<b>4.1</b>	<b>Gjennomsnittlig dagslysfaktor</b> .....	33
<b>4.2</b>	<b>Klimabaserte analyser og bygningsdesign</b> .....	34
4.2.1	Basisgeometri uten solskjerming.....	34
4.2.2	Basisgeometri med solskjerming.....	35
4.2.3	Nytt bygningsdesign – endring 1.....	36
4.2.4	Rom mot sør med glassfasade – endring 2.....	37
4.2.5	Rom mot sør med flere vinduer og større vindusareal – endring 3 .....	38
4.2.6	Geometri og refleksjonsverdi .....	39
<b>4.3</b>	<b>Klimabaserte analyser og lokalt klima</b> .....	41
4.3.1	Simuleringer med klimadata fra Bergen .....	41
4.3.2	Simuleringer med klimadata fra Tromsø.....	43
<b>4.4</b>	<b>Stedsanalyser</b> .....	44
4.4.1	Direkte normal stråling.....	44
4.4.2	Global horisontal stråling.....	46
<b>4.5</b>	<b>Sammenlikning med andre analyseverktøy</b> .....	48
4.5.1	Simuleringer med EN 17037.....	48
4.5.2	Simuleringer med BREEAM UK/Int 4b.....	49
4.5.3	Sammenlikning av gjennomsnittlig illuminans.....	50
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b> .....	52
<b>5.1</b>	<b>Sammenlikning av analyseresultater</b> .....	52
<b>5.2</b>	<b>Usikkerheter ved ClimateStudio</b> .....	54
<b>5.3</b>	<b>Refleksjonsfaktorer og dagslyskvalitet</b> .....	55
<b>5.4</b>	<b>Sammenlikning av analyseverktøy</b> .....	56
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b> .....	57
<b>7</b>	<b>Videre arbeid</b> .....	59
<b>8</b>	<b>Litteratur</b> .....	60

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Dagslys er et tema som stadig blir mer viktig for både kommunene, entreprenører og brukere. Forskning fra de siste tiårene viser til viktigheten av dagslys for produktivitet og menneskers helse, noe som gjør at god dagslyskvalitet i rom hvor det utføres arbeidsoppgaver bør være en prioritet sett i fra et økonomisk perspektiv (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020).

Byggteknisk forskrift (TEK17) stiller krav til lysforhold i dagens bygninger for å sikre at det er tilfredsstillende tilgang på lys. Den preaksepterte ytelsen til dette kravet for publikumsbygg er at rom for varig opphold skal ha gjennomsnittlig dagslysfaktor på minst 2% ved bruk av simuleringsverktøy for en standard overskyet himmel (CIE) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Slike preaksepterte ytelsener skal i utgangspunktet være konservative for å sikre at byggeprosjekter er godt innenfor kravene som stilles, men når det kun benyttes diffust dagslys neglisjeres andre faktorer, deriblant geografisk plassering av bygget med lokalt klima og værforhold, samt direkte sol mot vinduet og orientering av vinduet i forhold til himmelretningene (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020).

RIF har allerede utpekt disse svakhetene ved beregningsmetoden som de preaksepterte ytelsene TEK17 støtter seg på, og i mange tilfeller ender byggprosjekter opp med rom eller hele bygg som ikke har tilstrekkelig dagslyskvalitet.

Oppgaven tar for seg en undersøkelse av klimabaserte dagslysanalyser opp mot gjennomsnittlig dagslysfaktor for å avgjøre relevansen for simuleringer som tar hensyn til lokalt klima og værforhold. Vurderingene blir gjort opp mot kravene som stilles til klimabaserte beregninger i den europeiske standarden NS-EN 17037.



## 1.2 Problemstilling, mål og hensikt

Formålet med denne masteroppgaven er å undersøke hvorvidt klimabaserte dagslysanalyser kan være et paradigmeskifte for bransjen i dag. Det vil bli gjennomført simuleringer av et typisk norsk klasserom som er designet for å oppnå TEK17-kravet til gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2%, for så å se om dette klasserommet vil ha varierende kvalitet av dagslys når det gjennomføres klimabaserte simuleringer for Oslo, Bergen og Tromsø. Avhandlingen vil derfor forsøke å besvare følgende problemstilling:

*«Er klimabaserte dagslysanalyser relevant for bransjen i dag?»*

For å svare på denne problemstillingen, er det utviklet tre forskningsspørsmål:

*Forskningsspørsmål 1: «Hvilken påvirkning har klimabaserte analyser på bygningsdesign?»*

For å svare på dette forskningsspørsmålet har det blitt gjennomført innledende simuleringer for et bygningsdesign med dagslysfaktor som er innenfor TEK17-kravet. Deretter har det blitt gjort klimabaserte dagslysanalyser med det samme designet, for å avgjøre hvordan bygningsdesignet må endres for å imøtekomme tilsvarende krav som stilles for klimabaserte analyser i NS-EN 17037.

*Forskningsspørsmål 2: «Hvordan varierer dagslyssressursen geografisk?»*

For å undersøke dette spørsmålet har det blitt gjennomført geografiske klimaanalyser for de tre byene med hensyn på global horisontal stråling og direkte normal stråling, med mål om å avklare eventuelle forskjeller i dagslyssressursen på de ulike stedene.

*Forskningsspørsmål 3: «Hvilke konsekvenser har denne dagslyssressursen for bygningsdesignet?»*

For å besvare dette forskningsspørsmålet ble det gjennomført klimabaserte dagslysanalyser for det samme klasserommet i de tre ulike byene, der formålet var å undersøke mulige variasjoner på dagslyskvaliteten med hensyn på geografisk plassering, lokalt klima og himmelretninger. Det ble derfor gjennomført simuleringer med samme designendringer for Bergen og Tromsø som ble benyttet for simuleringene i Oslo. Disse ble deretter sammenliknet for å kartlegge påvirkningen av den geografiske dagslyssressursen for bygningsdesignet.

### 1.3 Avgrensninger

Det er mange faktorer som påvirker mengde dagslys som kommer inn i et rom. For å kunne svare på oppgavens forskningsspørsmål er det valgt å ta utgangspunkt i et enkelt klasserom og se bort ifra skjermende omgivelser og andre varierende designfaktorer som veggtykkelse, fasadeutforming, bygningsutkragninger, skyggeforhold og rominnredning. Det er også valgt å avgrense antall byer til tre for å kunne gå i dybden på disse utvalgte byene.

I denne oppgaven er det valgt å kun analysere et klasserom da det er i arbeidsrom vi oftest bruker store deler av dagen i. Derfor er det også kun valgt å sammenlikne resultatene fra de klimabaserte beregningene med gjennomsnittlig dagslysfaktor (preakseptert ytelse a), som gjelder for publikumsrom.

For å svare på forskningsspørsmål 3 om hvilken påvirkning klimabaserte dagslysanalyser har for bygningsdesign, er det valgt å se bort ifra hvilken påvirkning endringene i designet har på energieffektiviteten og termisk inn klima i rommet. Simuleringer som omhandler både termisk inn klima og dagslyskvalitet er avanserte og krever mer komplekse programmer. På grunnlag av dette og tidsavgrensningen er det valgt å ikke ta med slike beregninger.

I oppgaven simuleres modellene opp mot kravene som stilles i den europeiske standarden NS-EN 17037 for dagslystilgang. Annex E i den europeiske standarden tar for seg krav til blendingskontroll i rom som er ment for aktiviteter som lesing, skriving eller bruk av elektriske skjermer som pc og prosjektor. Ettersom denne versjonen av ClimateStudio ikke er i stand til å gjennomføre DGP (sannsynlighet for blanding fra dagslys) med solskjerming, er det valgt å ikke gjøre disse analysene da det ikke vil gi riktig resultat. Analyseverktøyet som er brukt for oppgaven er imidlertid i stand til å gjøre beregninger av områder som er utsatt for overbelysning i form av aktivering av solskjerming. Dermed blir det kun sett på blanding i form av aktivering av solskjerming i denne oppgaven.

### 1.4 Oppgavens oppbygning

Oppgaven er strukturert etter 8 kapitler.

- Kapittel 1 tar for seg en introduksjon av bakgrunn for tema og forskningsspørsmål, samt avgrensninger for oppgaven.
- Kapittel 2 gir en innføring i teori rundt temaet.
- Kapittel 3 presenterer forskningsmetoden, deriblant simuleringsverktøy, modelloppbygning, beregningsmetoder og input data.
- Kapittel 4 viser resultatene fra analysene.
- Kapittel 5 vurderer resultatene og diskuterer pålitelighet og relevans rundt analysene.
- Kapittel 6 presenterer konklusjon fra arbeidet.
- Kapittel 7 gir et forslag til videre arbeid for forskningsoppgaven.
- Kapittel 8 gir en oversikt over alle litteraturreferanser som er benyttet i arbeidet.
- Vedlegg fra simuleringene som ble gjort i ClimateStudio finnes helt til slutt i oppgaven.

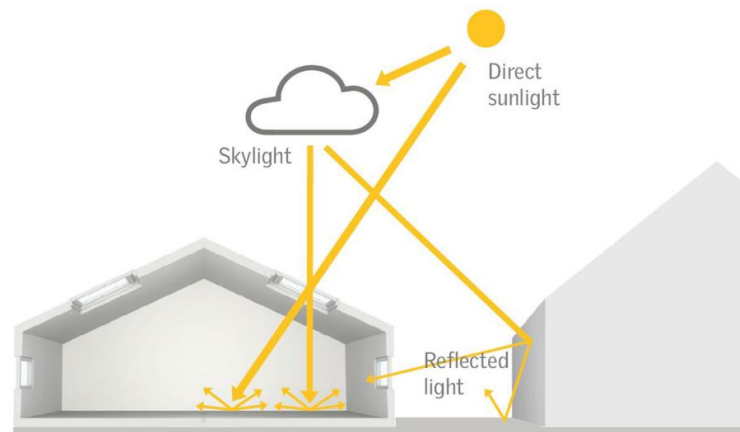
## 2 Teori

### 2.1 Kapitteloversikt

Dette kapittelet har som hensikt å presentere relevant teori for å forstå bakgrunnen og relevansen av forskningsspørsmålet. Kapittelet vil ta for seg hva dagslys er og hvorfor det er viktig for bygningsdesign, dagens krav til dagslys i publikumsbygg, beregningsmetodene, samt dagslyskilder.

### 2.2 Definisjon av dagslys

Dagslys er en del av den elektromagnetiske strålingen fra sola som trenger gjennom jordens atmosfære, og kan registreres av menneskets øye som synlig lys. Dette er bølgelengder som strekker seg fra 380 nm (blått lys) til 760 nm (rødt lys) på det elektromagnetiske spekteret. Dagslys skiller seg fra elektrisk lys ved at styrke, retning og kombinasjon av bølgelengdene varierer gjennom tiden på dagen og de ulike årstidene gjennom året. Denne dynamiske variasjonen kommer fra direkte sollys, diffus stråling fra skyene og refleksjoner av disse to fra omgivelser som bygninger, interiør og terreng (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019). Direkte sollys er, som navnet tilsier, retningsbestemt og intenst, mens diffust lys fra skyene er mykere. Reflektert lys kan utgjøre så mye som 15% eller mer av det totale dagslyset som trenger inn gjennom en fasade (VELUX (1), u.d.).



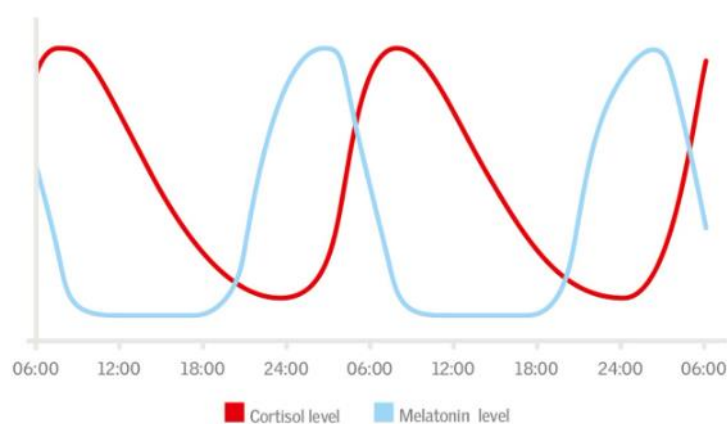
Figur 1 illustrerer de tre hovedkildene til dagslys; direkte sollys, diffus stråling fra skyer og reflektert lys (VELUX (1), u.d.).

### 2.3 Hvorfor er dagslys viktig?

Dagslys er et viktig moment i bygningsdesign fordi det påvirker blant annet energibruk og termisk inneklima i et bygg samtidig som det har en stor innvirkning på visuell komfort og menneskers helse. Tidligere har god dagslyskvalitet blitt definert som en bevisst bruk av naturlig lys til å belyse et rom uten at brukeren blir blendet av lyset eller et design som minimerer tilfeller med visuelt ubehag der hovedkilden til lys i bygget er dagslys. Senere har denne definisjonen blitt videreutviklet av Reinhart og Wienold til å inkludere tilfredsstillende termisk komfort og lav energibruk for både belysning, oppvarming og kjøling (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019); (Reinhart & Wienold, 2011)).

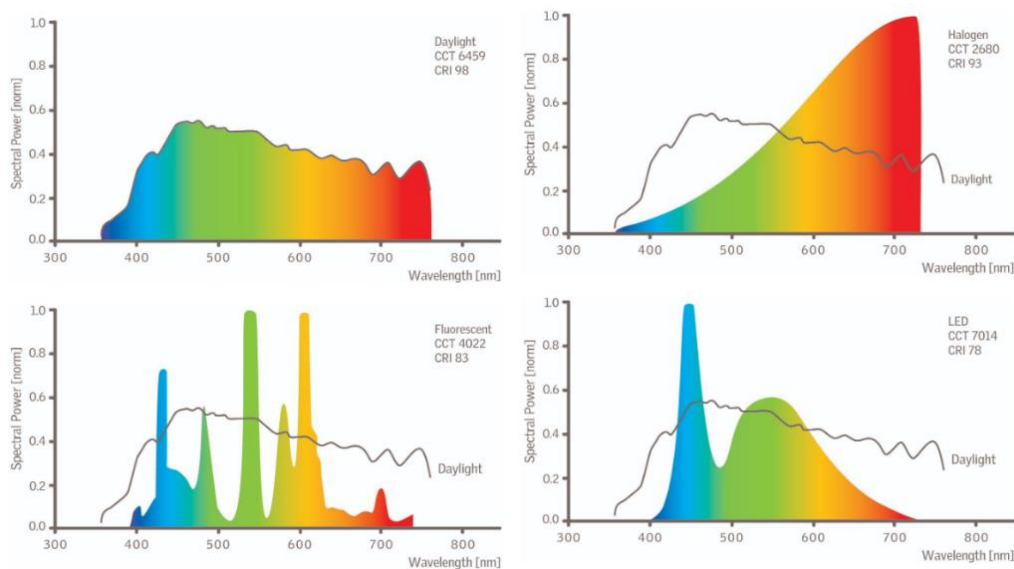
Dagslys kan påvirke energibruken i en bygning både gjennom behov for elektrisk belysning og til oppvarming og nedkjøling av rom. Ved å sørge for god tilgang på dagslys vil behovet for elektrisk belysning bli mindre, noe som i sin tur vil føre til lavere energibruk ved denne energiposten. Mange moderne bygg har fasader med store vindusflater, noe som kan skape lavere termisk komfort både om vinteren og sommeren fordi vinduer ikke isolerer like godt som en tett vegg. Om sommeren vil en kunne få utfordringer med at energi fra solen varmer opp overflater inne i rommet, mens om vinteren vil kulden utenfor vinduet føre til at luften blir kald på innsiden og gir kaldras. Dette vil skape lav termisk komfort, og føre til at energi må benyttes for å kjøle ned rommet om sommeren, mens om vinteren må det brukes energi for å varme opp rommet. I tillegg vil store vindusflater kunne skape ubehag ved at for mye sol skinner rett inn i rommet og fører til lav visuell komfort (World Green Building Council, u.d.).

Forskning viser at dagslys også har innvirkning på menneskers helse, og da spesielt på døgnrytmen. Som illustrert på figur 2, gjør variasjonene i bølgelengdene at øyet oppfatter forskjellig lys, der det blåe lyset om morgenen sender signaler til hjernen om å frigjøre hormoner som kortisol og serotonin for å gjøre kroppen klar for aktiviteter, mens rødt lys ved solnedgang sender signaler om å frigjøre hormoner som melatonin som trigger behovet for søvn. I tillegg bidrar dagslys til å regulere kroppstemperatur og blodtrykk (Boubekri, 2020).



Figur 2 illustrerer hvordan hormonene kortisol og melatonin øker og synker til de ulike tidene gjennom døgnrytmen. Kortisolnivået er høyest midt på dagen samtidig som melatonin er lavest. Om natten skjer det omvendte (VELUX (2), u.d.).

Elektrisk lys som benyttes i bygninger er ikke i stand til å erstatte alle egenskapene som dagslys har, deriblant spektralfordeling, intensitet og dynamikk som er illustrert ved figur 3, og vil derfor ikke ha samme effekt på døgnrytmen. Ettersom vi mennesker bruker rundt 87% av tiden vår innendørs, burde rommene vi oppholder oss mest i ha god kvalitet på dagslys (Boubekri, 2020).



Figur 3 viser spektralfordeling av dagslys mot de vanligste elektriske lyskildene halogen, fluorescent og LED (VELUX (3), u.d.).

## 2.4 Hvordan påvirker dagslys visuell komfort?

Visuell komfort innebærer at lyset ikke skal begrense eller hindre brukeren i å se, orientere eller bevege seg i bygningen. Tilfeller hvor dette oppstår er når det enten er for lite dagslys tilgjengelig i rommet, eller når for mye lys trenger gjennom fasaden og forårsaker blinding. I begge tilfeller kan dette påvirke brukeren gjennom trøtthet, hodepine og ubehag. Blinding oppstår når det enten er ekstreme lyskontraster eller en uheldig fordeling av luminans i rommet slik at områder med høy lysintensitet er innenfor synsfeltet. Per i dag er det ikke angitt en spesifikk verdi for hvor store variasjoner av lysintensitet som bygningsdesignet bør holde seg innenfor, men en akseptert tommelfingerregel er at det ikke bør overskride 10:1 innenfor synsfeltet. Dette forholdstallet uttrykker forholdet mellom lysintensiteten av det sentrale og det perifere synsfeltet (VELUX Commercial, u.d.).

Når blinding oppstår vil øyet tilpasse seg det sterke lyse fra blendingskilden, som i sin tur vil gjøre det vanskeligere å registrere detaljer i arbeidsområdet som nå er mørkere. Dette kan forekomme når forholdet i lysintensiteten strekker seg fra 20:1 til 40:1. Det er tre primære former for blinding; ubehagsblinding, synsnedsettende blinding og refleksjonsblinding. Ubegagsblinding oppstår som regel før synsnedsettende blinding blir et problem, og oppfattes som distraherende for brukeren av rommet. Synsnedsettende blinding oppstår når visuell ytelse blir redusert grunnet høy lysintensitet fra sollys eller speilrefleksjon av sollyset. Refleksjonsblinding opptrer som regel på pc-skjermer o.l. når sollys minimerer kontrastene mellom omgivelsene og skjermen (VELUX (2), u.d.).

## 2.5 Anbefalinger og krav til dagslys i bygningsdesign

### 2.5.1 TEK17

I byggt teknisk forskrift (TEK17) stiller Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) krav om at bygninger skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys under §13-7 Lys og utsyn. Første preaksepterte ytelse er gitt som (Direktoratet for byggkvalitet, 2017):

*Gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet må være minimum 2,0%. Samsvar dokumenteres med beregninger av mest kritiske rom i forhold til dagslysfaktor. Beregninger utføres med simuleringsverktøy validert etter CIE 171:2006 og forutsetninger gitt i NS-EN 12464-1:2011 kapittel 4.4.*

For arbeids- og publikumsbygg anses «rom for varig opphold» som arbeidsrom og publikumsrom. Dermed vil både klasserom og kontorer gå innunder denne definisjonen (Direktoratet for byggkvalitet, 2020).

### 2.5.2 Europeisk standard (NS-EN 17037)

I 2018 ble det utarbeidet en egen europeisk standard for dagslys i bygninger med hensikt om å sikre god kvalitet av dagslystilgang i rom og utsikt til omgivelser, samt tilgang på sol og reduksjon av blanding. Anbefalingene som blir gitt i standarden er basert på minimumsnivåer av dagslys som bør oppnås i bygningen, men den fastsetter også mer ambisiøse nivåer som representeres som «middels» og «høy». Mengden dagslys kan enten beregnes som belysningsstyrke (illuminans) med måleenhet i lux, eller gjennom dagslysfaktor gitt i Annex A tabellene A.1, A.2 og A.3 (Standard Norge, 2022). Det gis krav for både vertikale og horisontale dagslysåpninger. I denne oppgaven er det sett på vertikale åpninger, og dermed vil kun disse kravene blir presentert.

Det blir gitt to ulike krav til hvert av de tre nivåene avhengig av hvor stor prosentandel av det okkuperte området som blir belyst. Kravene skal oppfylles for både 50% og 95% av det okkuperte arealet, og gjelder for 50% av tiden arealet er i bruk. Det stilles høyere krav til mengde lux ved 50% av arealet, som er minimum 300 lux, enn ved 95% av arealet, som er 100 lux. Tabellen under viser de tre nivåene og kravene som stilles (Standard Norge, 2022).

Tabell 1 presenterer de tre nivåene og kravene som stilles til dagslys i NS-EN 17037:

Nivå	Anbefalt krav for 50%		Anbefalt krav for 95%	
	Illuminans	Dagslysfaktor	Illuminans	Dagslysfaktor
Minimum	300 lux	2,4 %	100 lux	0,8 %
Middels	500 lux	4,0 %	300 lux	2,4%
Høy	750 lux	6,0 %	500 lux	4,0%

Standarden angir også anbefalinger til refleksjonsverdier i form av standardverdier og intervaller under B.3.1 Generelt (Standard Norge, 2022):

Tabell 2 viser anbefalte refleksjonsverdier for overflater fra NS-EN 17037:

Overflate	Intervall	Standardverdi
Innvendige vegger	50 – 80%	50%
Utvendige vegger	20 – 40%	-
Himling	70 – 90%	70%
Gulv	20 – 40%	20%
Terreng	20%	20%

Annex E oppgir krav som stilles til kontroll av blending. Selv om det ikke er analysert direkte opp mot DGP, blir anbefalingene likevel presentert. Tabell E.1 i Annex E NS-EN 17037 viser ulike kategorier for blendingssannsynlighet (Standard Norge, 2022).

Tabell 3 viser kravene som stilles til DGP i NS-EN 17037:

Kriteria	DGP
Blending er stort sett ikke merkbart	$DGP \leq 0,35$
Blending er merkbart men ikke distraherende	$0,35 \leq DGP \leq 0,40$
Blending er merkbart og ofte distraherende	$0,40 \leq DGP \leq 0,45$
Blending er merkbart og for det meste ikke tolererbart	$DGP \geq 0,45$

### 2.5.3 Svanemerket

Svanemerket ble opprettet av myndighetene og er det nasjonale miljømerket for å sikre at forbrukere har riktig informasjon om produktene de kjøper. Svanemerket 4.2 stiller derfor også strengere krav til bygninger enn det TEK17 gjør, og følger dermed anbefalingene som blir gitt i NS-EN 17037 med en minimumsverdi av illuminans på 300 lux eller 2,4% dagslysfaktor (Nordisk Miljømerking, 2024).

### 2.5.4 BREEAM

BREEAM er en manual for miljøsertifisering av bygninger, der det blir gitt poeng for bærekraftig bygningsdesign. Denne grønne manualen ble først opprettet i Storbritannia av Building Research Establishment (BRE), men blir nå benyttet i flere andre europeiske land, deriblant Norge. BREEAM-NOR er den norske versjonen av manualen, og er tilpasset slik at kravene er strengere enn de som stilles i TEK17. For dagslys er det to nivåer av dagslyskriterier, minimum og medium, og de følger de samme kravene som stilles til minimum og middels nivå i NS-EN 17037. Minimumskrav gir 2 poeng og medium gir 3 poeng. Vurderingen av dagslystilgangen kan gjøres ved klimabaserte analyser eller gjennomsnittlig dagslysfaktor. Ved bruk av klimabasert metode er det 275 steder i Norge som en kan hente klimadata fra, samt 14 på Svalbard og Jan Mayen. Valg av klimasted skal begrunnes i det gitte prosjektet. Klimastedene er listet opp under HEA01 i BREEAM-NOR manualen (Grønn Byggallianse, 2023).

## 2.6 Metoder for dagslyssimuleringer

### 2.6.1 Gjennomsnittlig dagslysfaktor ved CIE standard overskyet himmel

Den mest brukte metoden for å simulere dagslys i dag er ved bruk av standard overskyet himmel. CIE har gitt definerte standarder for himmelmodeller som kan benyttes i dagslyssimuleringer, deriblant til å beregne dagslysfaktor. Den mest brukte standarden er for overskyet himmel, der det simuleres for mer enn 95% skydekke over himmelen og solens posisjon ikke kan bestemmes grunnet skylaget. Skydekket er i tillegg isotropisk, noe som betyr at det ikke vil være noen forskjell på dagslystilgangen i de fire himmelretningene, altså en fasade vendt mot nord vil få like mye dagslys som i sør. Når denne himmelmodellen benyttes i beregningen av dagslysfaktor, vil verdien bli den samme uansett hvilken retning dagslysåpningene er vendt (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

Denne himmelmodellen baserer seg på at luminansen er svakest ved horisonten, og derfra øker helt til senit hvor den er tre ganger så sterk som i horisonten. Bakgrunnen for dette er formelen som blir benyttet for å vise sammenhengen mellom luminansen fra et skydekke og dets senitvinkel (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

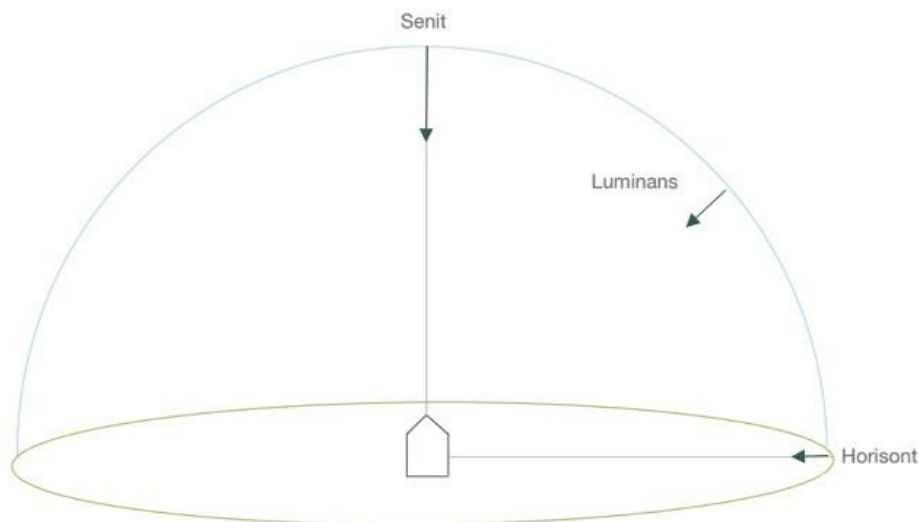
Formel 1

$$L_{\gamma} = L_z \left( \frac{1 + 2\sin\gamma}{3} \right)$$

Hvor,

$L_{\gamma}$  er luminansen av himmelen ved høyden  $\gamma$ .

$L_z$  er luminansen ved senit.



Figur 4 illustrerer skymodellen for CIE standard overskyet himmel og er laget etter inspirasjon fra figur 7.23 (s. 168) i *Daylighting and lighting under a Nordic sky* (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).



I senere tid har det blitt utviklet en standardisert himmelmodell som gir en mer realistisk simulering, da det ble observert at en perfekt overskyet eller klar himmel sjeldent forekommer i realiteten. I denne modellen ble det tatt hensyn til både klar, overskyet og delvis skyet himmel fordelt jevnt på 15 parametere. Formelen krever faktorer som diffust og direkte lys, bredde- og lengdegrad, dato og tid for å bestemme hvilken av disse 15 modellene som passer best til det gitte prosjektet. Likevel er det fortsatt standard overskyet himmel fra 1955 som benyttes til å beregne gjennomsnittlig dagslysfaktor i dag (Reinhart C. , 2018).

Gjennomsnittlig dagslysfaktor (GDF) kan bestemmes gjennom Lynes formel, og brukes som et kriterium for designvalg i bygninger i dag. GDF på minst 2% er en preakseptert ytelse i TEK17. I simuleringer benyttes det et rutenett med en avstand på 0,5 meter fra veggene, med mindre det anses som arbeidsområde og en del av beregningen. GDF beregner gjennomsnittet av dagslysfaktoren i rommet over dette rutenettet. Lynes faktor er gitt som (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019):

Formel 2

$$GDF = \frac{A_{glass} \cdot \tau_{vis} \cdot \theta}{2 \cdot A_{total} \cdot (1 - R_{gj.snitt})}$$

Hvor,

$A_{glass}$  er netto glassareal (m<sup>2</sup>)

$\tau_{vis}$  er glassets lystransmisjon

$\theta$  er eksponeringsvinkel for himmelen (°)

$A_{total}$  er totalt areal for alle indre overflater (m<sup>2</sup>)

$R_{gj.snitt}$  arealveid gjennomsnittlig reflektans av alle indre overflater

$R_{gj.snitt}$  blir beregnet for hver enkelt overflate og deretter lagt sammen gjennom denne formelen (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019):

Formel 3

$$R_{gj.snitt} = \frac{A_{vegg} \cdot R_{vegg}}{A_{totalt}} + \frac{A_{himling} \cdot R_{himling}}{A_{totalt}} + \frac{A_{gulv} \cdot R_{gulv}}{A_{totalt}} + \frac{A_{glass} \cdot R_{glass}}{A_{totalt}} + \dots$$

Hvor,

$A_x$  er arealet av overflaten

$R_x$  er reflektansen av overflaten

## 2.6.2 Klimabasert dagslysanalyse

Klimabaserte dagslyssimuleringer kan, i motsetning til beregninger gjort med gjennomsnittlig dagslysfaktor og en statisk himmelmodell, ta hensyn til orientering, direkte sollys og klimaforhold. Disse analysene åpner for å se på dagslystilgangen til ulike tider av døgnet og året mot ekte klimadata filer, og er derfor i stand til å gi et mer realistisk bilde på hvordan dagslyskvaliteten vil bli i et rom eller et helt bygg.

Et sentralt begrep som benyttes i klimabaserte dagslysanalyser er «dagslysautonomi» (DA). DA representerer en prosentandel av et areals brukstid over et helt år, der et spesifikt mål av illuminans for et gitt punkt eller et rutenett blir oppnådd kun ved bruk av dagslys. Det spesifikke illuminansmålet kan bestemmes ut ifra hva slags type visuelt arbeid som skal gjøres og hvor mye lys som er nødvendig for å utføre oppgaven. Standarder og direktorater setter disse kravene basert på minimumsnivåer som må oppnås for imøtekomme målene til miljømanualer som LEED og BREEAM. Verdien på DA vil variere avhengig av himmelretning, klima og geografisk posisjon, og vil derfor ikke være den samme i alle himmelretninger slik GDF er (Daylight & Architecture, 2022).

Spatial Daylight Autonomy (sDA) er en videreutvikling av DA, der det i tillegg stilles krav til en prosentandel av rommet som må nå den spesifikke illuminansen under brukstid over ett år. I LEED v4 brukes  $sDA_{300,50\%}$ , og dette vil si at den spesifikke illuminansen er satt til 300 lux, og prosentandelen av brukstiden er 50%. Begrepet har blitt anerkjent av Illuminating Engineering Society (IES), og er utviklet for å ha et standardisert mål som kan brukes for alle klimabaserte simuleringer over hele verden. Det anbefalte kriteriet for sDA har blitt gitt etter studier som ble gjort i 61 bygg under en gitt brukstid fra 08.00 til 18.00 hver dag. Dette kan være utfordrende for de nordiske landene hvor solen går ned tidligere enn 18.00 om vinteren, og dermed har det blitt utarbeidet forslag som er tilpasset Norden (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

IES har to definerte mål for sDA. De presenteres som «foretrukket» dagslystilgang og «nominelt akseptert» dagslystilgang, og vurderes ut ifra hvor stor prosentandel av rommet som når minimumskravet. En  $sDA_{300,50\%}$  verdi på 75% er den foretrukne mengden dagslys som brukere av rommet ønsker for å kunne arbeide komfortabelt uten å benytte elektrisk lys, mens sDA-verdier innenfor intervallet 55-74% er den nominelt aksepterte dagslystilgangen. Denne analysemodellen er blitt integrert i flere analyseverktøy for dagslys som Diva-for-Rhino, Daysim, LightStanza og ClimateStudio (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

IES har i tillegg utviklet et annet analysebegrep som kalles «Annual Sunlight Exposure» (ASE).  $ASE_{1000,250h}$  representerer en prosentandel av arealet som mottar direkte sollys (minst 1000 lux) for minst 250 timer der arealet er i bruk over et helt år. ASE blir beregnet med samme analyseområde og tidsperiode som sDA, og gir en indikasjon på om blinding og visuelt ubehag blir et problem. IES har tre definerte mål for vurdering av ASE. Dersom ASE er høyere enn 10%, vil området ha «utilfredsstillende visuell komfort». Dersom ASE er mindre enn 7% er det definert som «nominelt akseptert», og ASE lavere enn 3% er «klart akseptert». Både sDA og ASE er en del av LEED v4 sertifiseringen (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

## 2.7 Dagslyskilder

Som nevnt innledningsvis i teorikapittelet, er det tre hovedkilder til dagslys i bygninger; direkte sollys, diffus stråling fra skyene og reflektert lys fra omgivelsene. Dette delkapittelet vil gå dypere inn på hver av kildene og hvordan de påvirker dagslystilgangen i bygninger.

### 2.7.1 Direkte sollys

Direkte sollys er stråling fra solen som ikke blir spredt i atmosfæren før den når bakken på jorden. Denne type stråling er intens og kan overgå 100 000 lux, noe som gjør denne typen lys veldig intens. Styrken på strålene varierer etter årstid, geografisk plassering, høyde, tid og atmosfæriske forhold (VELUX (1), u.d.). Atmosfæren bidrar til å redusere styrken på strålene, slik at under en klar himmel ved senit vil solenergien på bakken være rundt 1000 W/m<sup>2</sup>. Denne verdien vil imidlertid være lavere når himmelen er skyet eller forurenset, og varierer ved ulike høydenivåer på jorden eller ved ulike tider av døgnet og årstider (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019). Ettersom direkte sollys kan skape blendingsproblemer og overoppheting, er det nødvendig at designet er tilpasset for å minimere disse utfordringene i områder med mye direkte sollys eller refleksjon av direkte sollys.

### 2.7.2 Diffust lys

Diffus stråling (også kalt «skylight» på engelsk) er sollys som blir spredt av atmosfæren før den når jorda eller et bygg. Dette er lys som kan trenge forbi eller gjennom skyene, men kan også komme fra en klar, blå himmel. Luften i atmosfæren holder på både vanndråper og ulike gasser som påvirker luminansen fra himmelen, altså lysstyrken. Desto mer vanndråper som befinner seg i atmosfæren, desto mer spredt blir lyset. Det diffuse lyset blir også påvirket av geografisk plassering, områdets høyde og tidspunkt. I de nordiske landene kommer store deler av dagslys fra diffus stråling ettersom himmelen ofte er skyet. Diffust lys er mykere enn direkte sollys, noe som gjør dagslys til en godt egnet hovedkilde for belysning i bygg. Stråling som kommer fra blå himmel har høyere lyseffekt enn direkte sollys, og vil derfor gi mer lysenergi per enhet termisk energi enn direkte sollys. Dette er en fordel for større bygninger som skoler og kontorer, der det interne varmetilskuddet er høyt. Med diffust lys blir det mindre behov for energi til kjøling av rommene (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

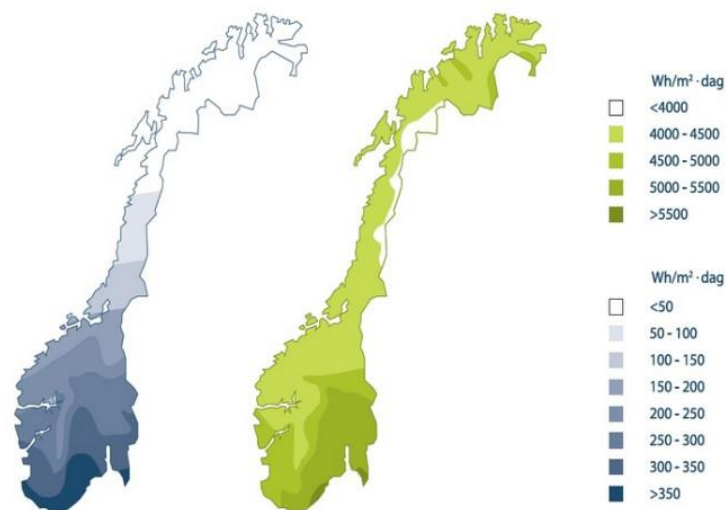
### 2.7.3 Reflektert lys

Reflektert lys fra omgivelser står for som regel 15% av dagslys på en fasade, men i de nordiske landene kan refleksjonen være så høy som 80% om vinteren på grunn av snø. Dette kan ha stor betydning for dagslystilgangen inne i et rom, og spesielt dersom det reflekterte lyset treffer en hvit himling. Lyse farger har høyere refleksjonsverdi og vil dermed være i stand til å lyse opp områder lenger bak i rommet. Reflektert lys kan også ha noen ulemper, spesielt dersom det er reflektert fra direkte sollys. Dersom et klasserom er plassert i nærheten av havet eller liknende, vil direkte sollys reflektert i vann kunne skape store utfordringer med blanding. Dermed er geografisk plassering en viktig parameter når en ser på dagslys i store bygg som skoler, kontorer og sykehus. I tettbygde byer kan reflektert lys være hovedkilden til dagslys inne i bygningene, spesielt for rom med vinduer mot nord dersom de er rettet mot en fasade på et annet bygg. Fasaden på det andre bygget vil være rettet mot sør og dermed få direkte sol mot seg. Dette vil i sin tur reflekteres inn mot vinduene i fasaden som er rettet nord. For fasader som består av store deler glass eller andre materialer med høy refleksjonsverdi, kan dette skape utfordringer med blanding (Dubois, Gentile, Laike, Bournas, & Alenius, 2019).

## 2.8 Klima i Norge

Norge er et langstrakt land der det er store variasjoner mellom de ulike landsdelene. Det er to hovedtyper av klima som forekommer her til lands. Langs kysten av Finnmark, på Svalbard og i fjellet er det polarklima, der middeltemperaturen for den varmeste måneden er under 10 °C (Harstveit, 2021). Fastlandet har temperert klima, der områdene langs kysten preges av regn, mens innlandet har kaldtemperert klima med snø. De geografiske forholdene spiller en stor rolle i fordeling av nedbør, hvor Østlandet og Finnmarksvidda ofte blir skjermet for nedbør og vind av fjellpartiene. Innlandet har dermed omtrent 100 dager med nedbør årlig, mens langs vestkysten er det dobbelt så mye (Dannevig & Harstveit, 2022).

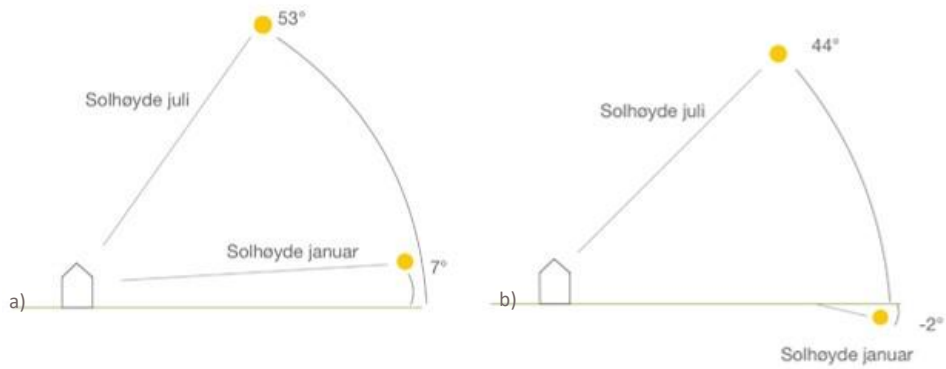
Det er også store forskjeller i strålingsenergi for de ulike landsdelene ettersom dette er avhengig av både breddegrad og skydekke. Om vinteren vil strålingsenergi være lavere enn 50 Wh/m<sup>2</sup> på nordsiden av polarsirkelen i januar, mens om sommeren i juli vil de samme områdene oppleve over 4500 Wh/m<sup>2</sup>. På Sør- og Østlandet vil den kunne være over 5500 Wh/m<sup>2</sup> i juli (Dannevig & Harstveit, 2022).



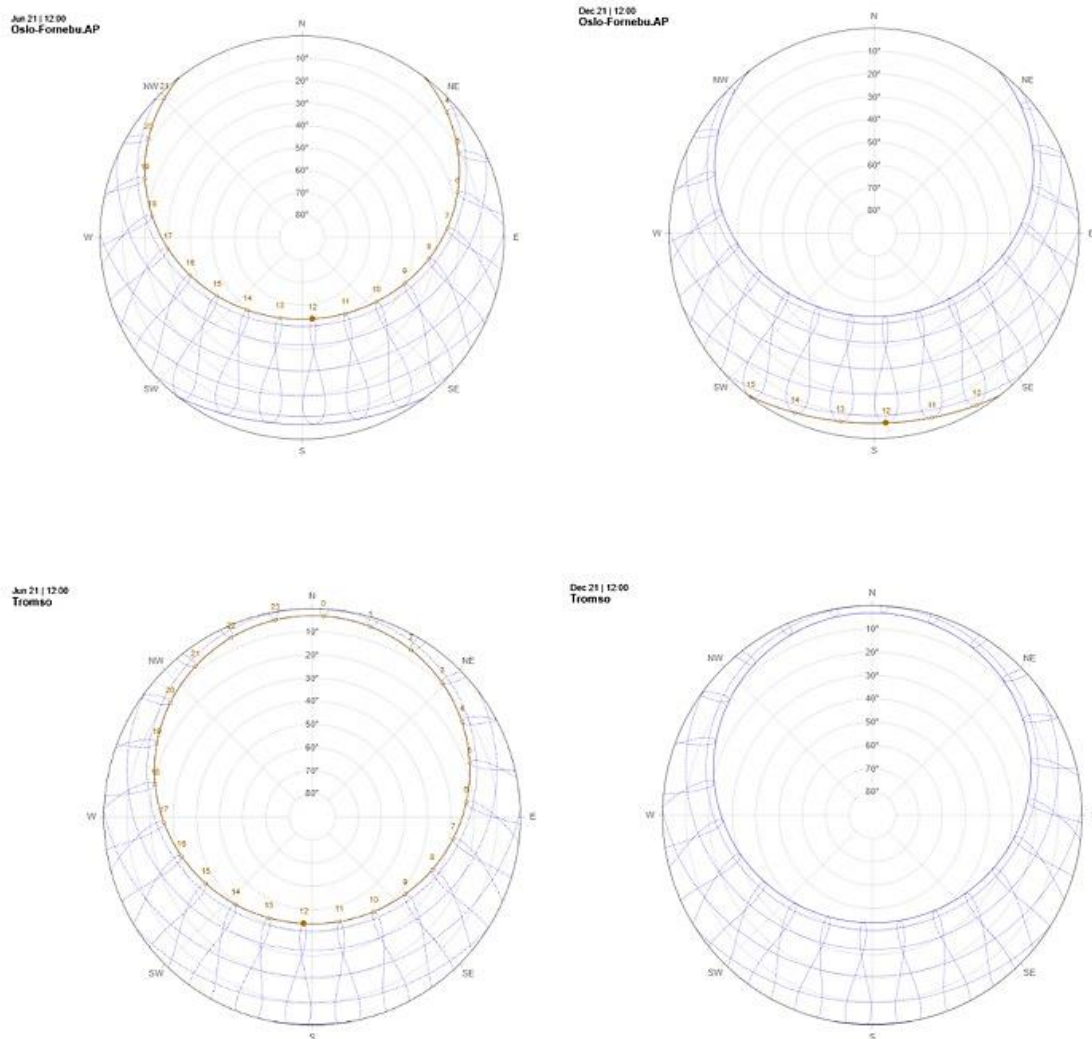
Figur 5 viser solinnstråling over Norge om vinteren (blå) og om sommeren (grønn). Illustrasjon er laget av Endre Barstad og lånt etter tillatelse fra Barstad (Gemini.no, u.d.).

Som figur 5 illustrerer, er det stor kontrast mellom solinnstråling i januar og juli. Sør- og Østlandet får høyere strålingsenergi enn lenger nord i landet. Om vinteren er strålingsenergien langt mindre, der Sør- og Østlandet får rundt 300-350 Wh/m<sup>2</sup>, mens Troms og Finnmark har mindre 50 Wh/m<sup>2</sup>.

Breddegraden påvirker solens høyde over horisonten og varierer stort mellom sommer og vinter på grunn av jordens helning på 23,5° fra vertikalaksen i forhold til sola. Figur 6 viser solhøyden i Oslo og Tromsø om sommeren og vinteren. Oslo befinner seg på breddegrad 60°, og i januar vil solens høyde være omtrent 7° mens om sommeren er den ca. 53°. Til sammenlikning, vil solhøyden i Tromsø være omtrentlig -2° i januar og 44° i juli (Aarnes, 2020).



Figur 6 viser solhøyde for a) Oslo i juli og januar, samt solhøyde for b) Tromsø i de samme månedene



Figur 7 viser solens bevegelse i Oslo om sommersolhverv (øverst til venstre) og om vintersolhverv (øverst til høyre), og for Tromsø om sommeren (nederst til venstre) og vinteren (nederst til høyre).

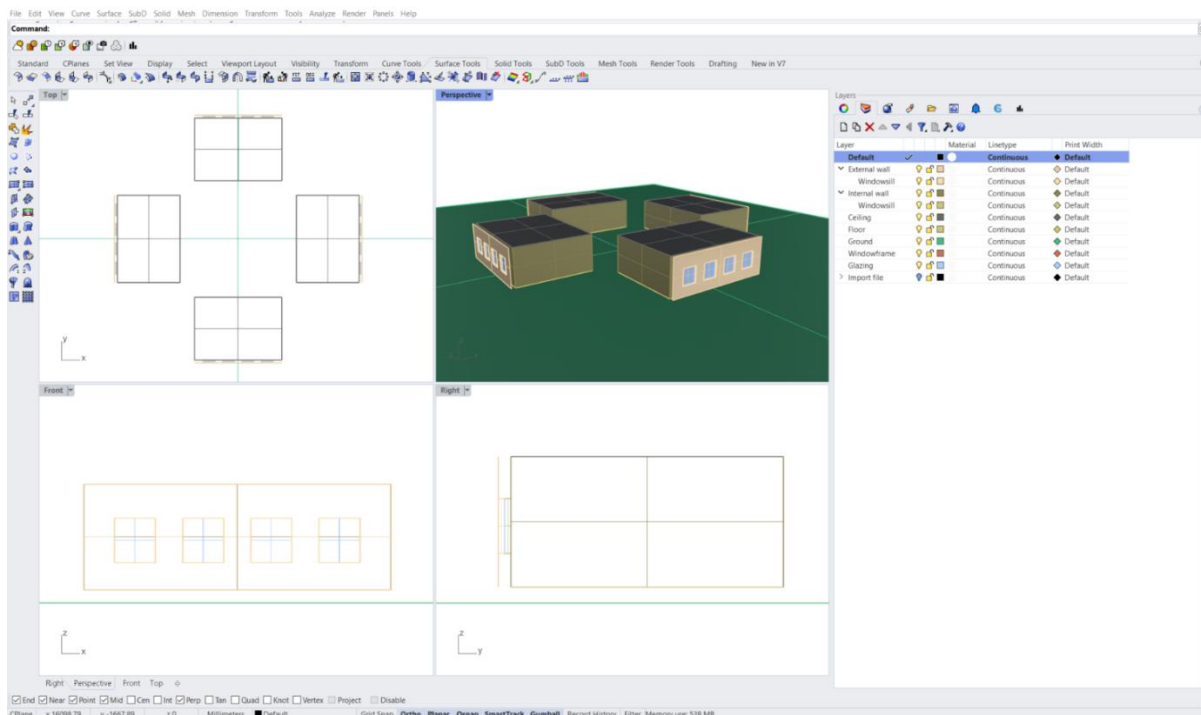
Figur 7 viser solens bane i Oslo (øverst) henholdsvis for 21. juni og 21. desember, og for Tromsø (nederst) for de samme tidspunktene. Nord for polarsirkelen vil ikke solen gå ned om sommeren, og ikke over horisonten om vinteren på grunn av solens vinkelavstand fra himmelekvator. Det vil si at om sommeren heller jordens nordlige halvkule mot solen, mens om vinteren heller den sørlige halvkule mot solen.

### 3 Metode

I dette kapittelet vil forskningsmetoden for oppgaven bli gjennomgått, og valg og forutsetninger begrunnes. Først vil det gis en introduksjon av programmet Rhino 7 og hvordan modellen ble bygd opp, samt gradvis endret ettersom analysene ble gjennomført og vurdert. Deretter vil programmet ClimateStudio, som er brukt til å gjennomføre simuleringene og beregningene, bli presentert. Her forklares både analyseverktøyet for dagslysfaktor (Daylight Factor) og for de klimabaserte analysene (LEED v4.1 Option 1). I tillegg vil det bli gitt en kort fremstilling av to andre klimabaserte verktøy (EN 17037 og BREEAM 1b), som ble benyttet med hensikt om å sammenlikne resultatene disse gir mot LEED v4.1. Det siste delkapittelet tar for seg innhenting av data som er brukt i simuleringene.

#### 3.1 Rhino 7

Rhino 3D er en CAD-programvare som kan benyttes til å både designe, analysere, presentere og modellere. Dette er et program som er svært brukervennlig, og er i stand til å lese inn et stort antall filtyper, noe som gjør det kompatibelt med flere andre programvarer. I denne oppgaven er det versjon 7.0 som har blitt benyttet, og med den kan en tegne både i 2D og 3D. Programmet har fire ulike vinduer som viser 3D modellen og 2D-tegningen i x-y-plan, x-z-plan og y-z-plan, noe som gjør designarbeidet svært presist (Robert McNeel & Associates, u.d.).

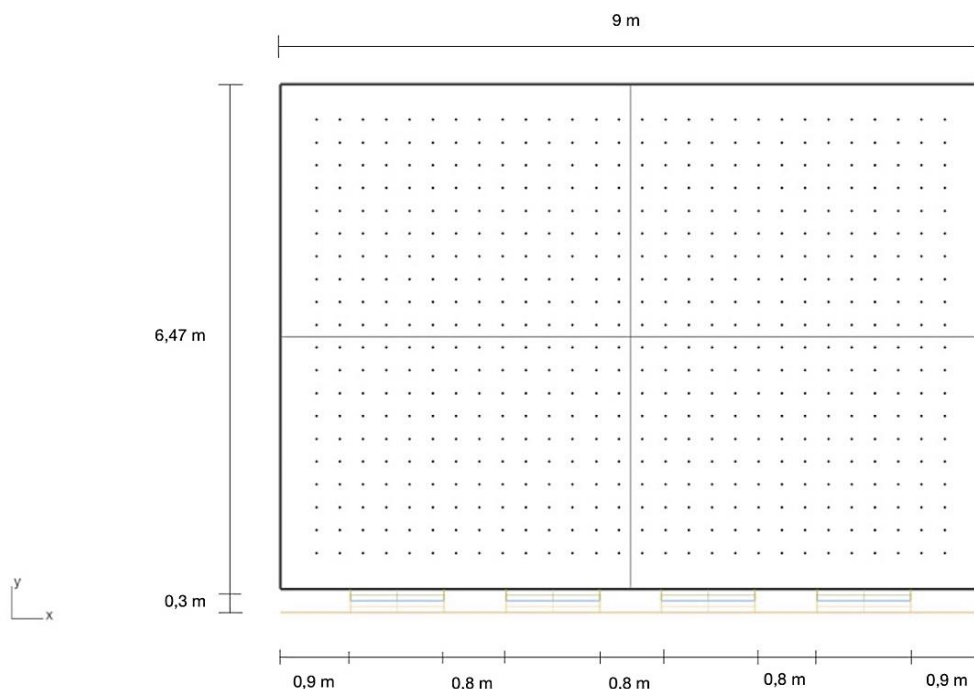


Figur 8 viser oppsettet i Rhino 7 med de fire ulike vinduene og faner med forskjellige tegneverktøy.

### 3.2 Geometri

De første simuleringene ble gjort med samme basisgeometri og for samme geografisk plassering. Ettersom Oslo benyttes som utgangspunkt for beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor i TEK17 etter CIE 171:2006, er det valgt å bruke klimadata for Oslo under de klimabaserte analysene med hensikt om å kunne sammenlikne resultatene fra de ulike beregningene. Modellen er bygd opp som et enkelt klasserom, der dimensjoner fra Hybridene Skole er brukt som utgangspunkt for designet. Antallet og størrelse på vinduene ble gradvis justert under simulering av dagslysfaktor i ClimateStudio frem til kravene som stilles til gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2% i TEK17 ble oppnådd. Vinduene ble plassert kun langs en vegg på hvert rom, og rettet mot hver sin himmelretning. Denne geometrien ble så brukt i to klimabaserte analyser for Oslo, der den ene beregningen ble gjort uten solskjerming og den andre med. Bakgrunnen for å gjennomføre en klimabasert analyse uten solskjerming er at dette er en forutsetning under beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor. I klasserom vil det imidlertid alltid være solskjerming, og derfor ble alle de påfølgende analysene gjennomført med dette som forutsetning.

Basisgeometrien har et areal på 58,2 meter, der dybden av rommet er 6,47 meter og lengden er 9 meter. Innvendig høyde av rommet er 3,1 meter. Det ble tegnet fire vinduer i størrelse 1,2 x 1,4 meter, der de ytterste vinduene ble plassert 0,9 meter fra hjørnet av rommet og med en avstand på 0,8 meter mellom hvert vindu. Avstanden fra bakken til vindu er 0,8 meter gjennom alle simuleringene.

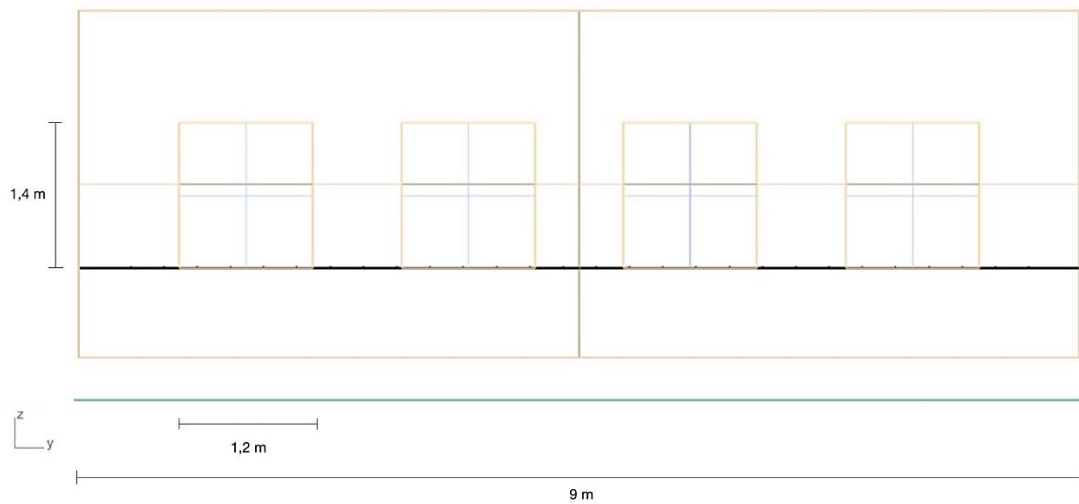


Figur 9 viser mål på gulvarealet, avstand mellom vinduene og veggtykkelse.

Ytterveggen er 0,3 meter tykk, og derfor vil 0,15 meter av vinduskarmen tilhøre fasadeveggen, mens den andre halvdelene tilhører innerveggen. Midt i vinduskarmen er det plassert vindusglass. Alle bygningsdelene er lagt på ulike lag i programmet, slik at riktige refleksjonsfaktorer kan tildeles de ulike delene når simuleringene skal gjennomføres i ClimateStudio.

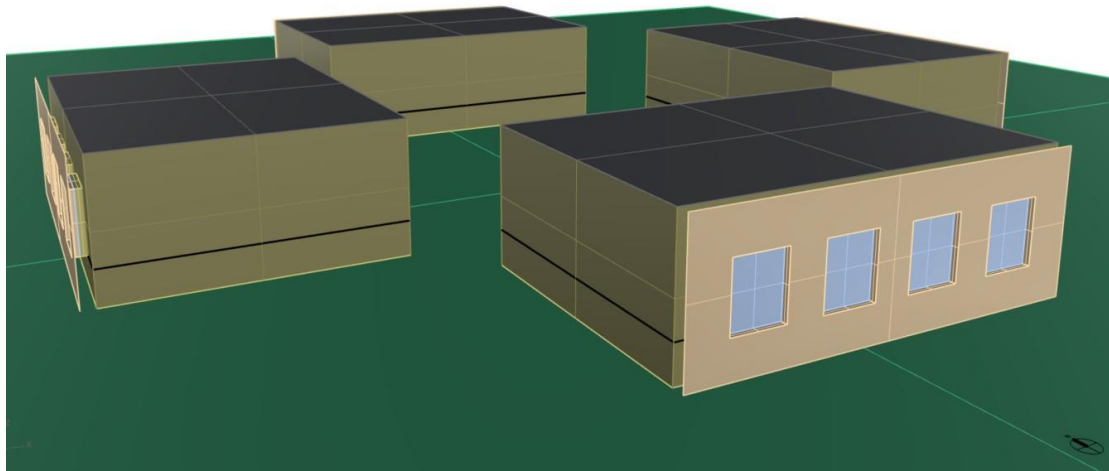


Figur 10 viser modellen fra siden med høyde på klasserommet og referansehøyden for målingsflaten.



Figur 11 viser modellen fra forsiden med mål på vinduene og lengde på rommet.





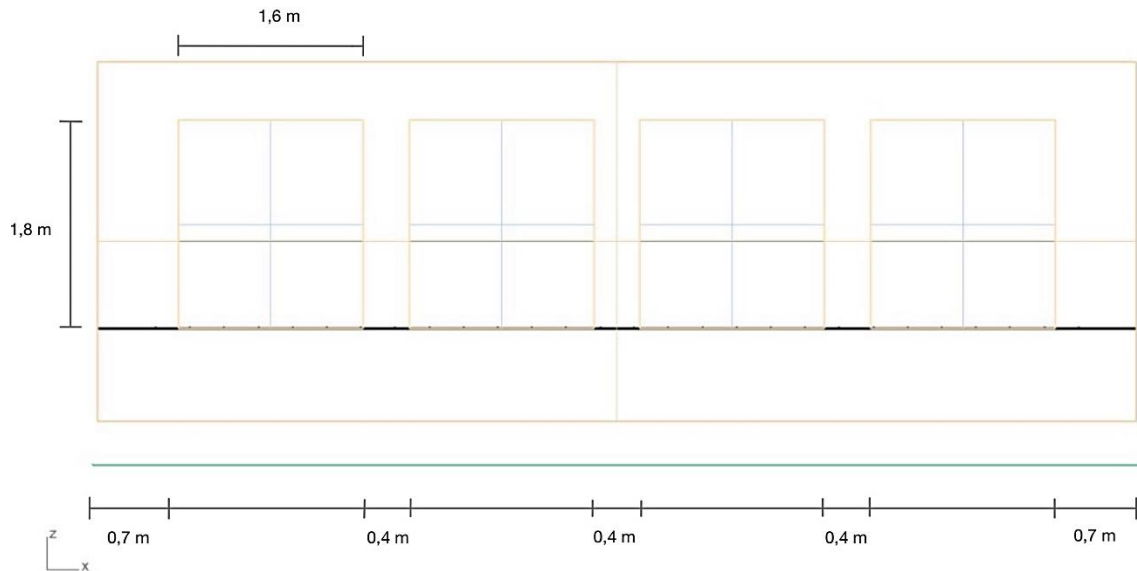
*Figur 12 viser et utklipp fra 3D modellen i Rhino 7.*

Den samme basisgeometrien ble benyttet i disse tre simuleringene for å sammenlikne resultatene fra beregningene og undersøke hvilke konsekvenser valg av himmelmodell, klima og solskjerming har for dagslyskvaliteten. Verdien for sDA ble undersøkt i de to klimabaserte beregningene med og uten solskjerming, og deretter ble det utarbeidet ny geometri for å innfri 50%-kravet som stilles til denne verdien i NS-EN 17037.

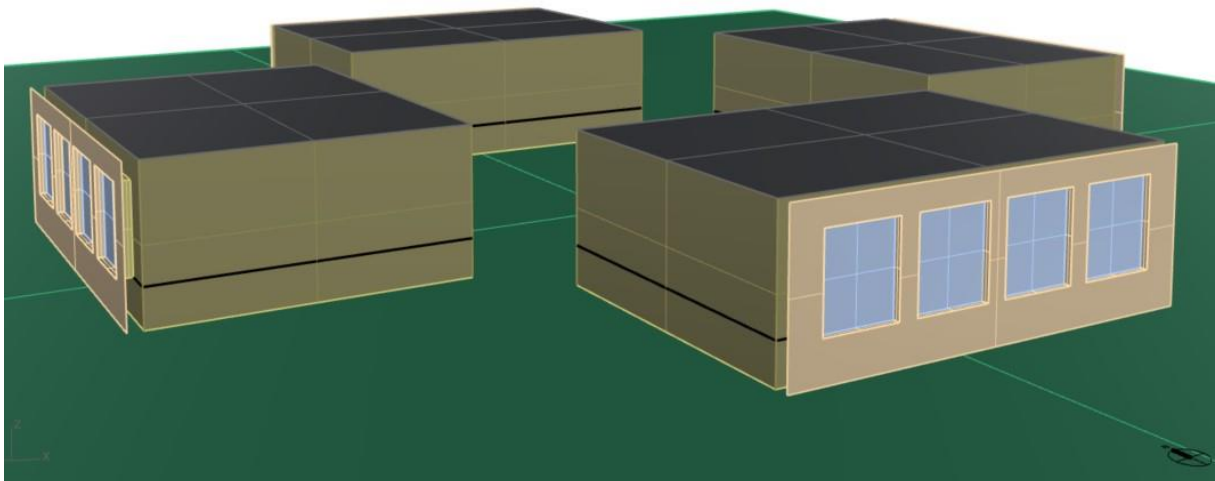
### 3.2.1 Videreutvikling av geometri for alle himmelretningene

#### Endring 1 – større areal på vinduene

Den første designendringen gjaldt kun størrelse av vinduene. Vinduene på alle rommene ble forstørret slik at dimensjonene ble 1,6 x 1,8 meter. Vinduene ble nå plassert 0,7 meter fra hjørnet av rommet og med en avstand på 0,4 meter mellom hvert vindu.



*Figur 13 viser nytt vindusareal, samt avstand fra vegg og mellom vinduene.*



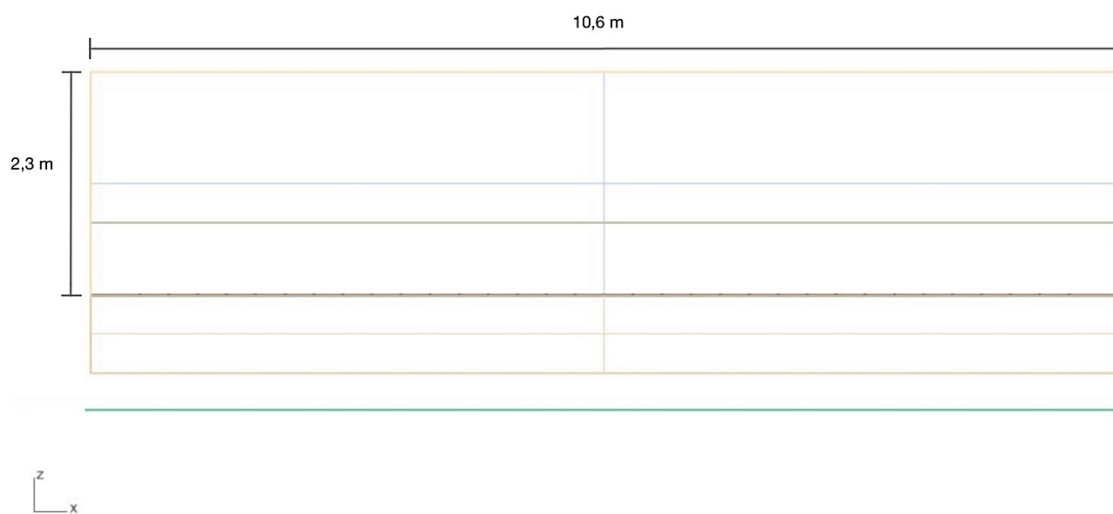
*Figur 14 viser et utklipp fra 3D modellen i Rhino 7.*

### 3.2.2 Geometriendring kun mot sør

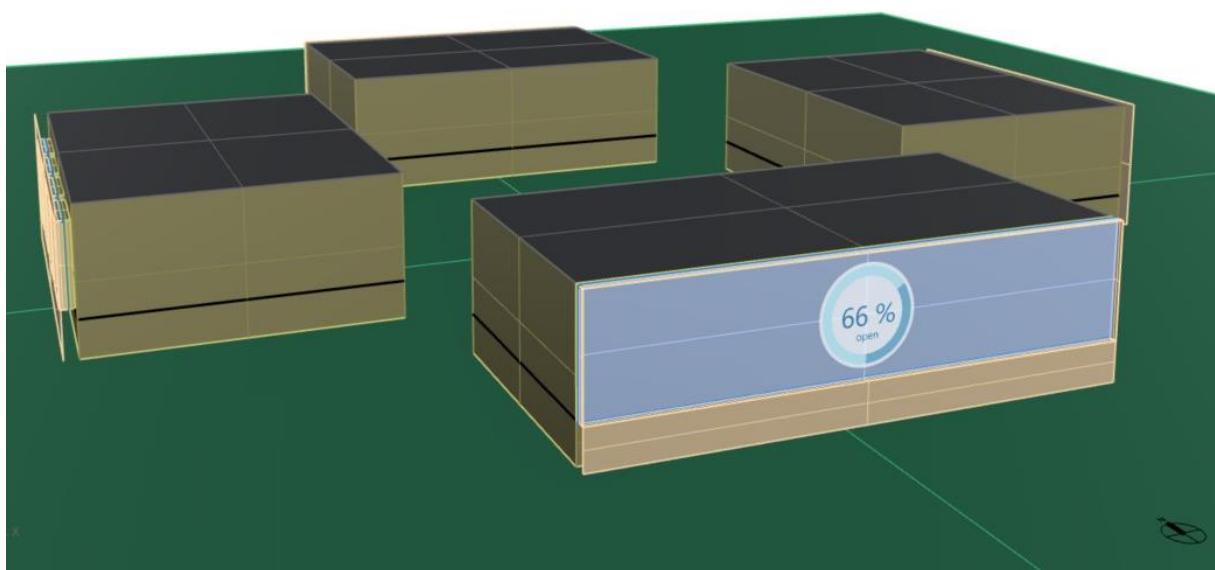
#### Endring 2 – romutforming og glassfasade

Etter denne designendringen var det kun rommet mot sør som fortsatt måtte tilpasses for å innfri kravet for sDA på 50%. Det ble først gjort endringer på utformingen av selve klasserommet. Dybden av rommet ble redusert til 5,5 meter og lengden ble forlenget til 10,6 meter for å opprettholde samme areal. Deretter ble det gjort to ulike fasadedesign.

For å undersøke om det i det hele tatt var mulig å oppnå dette kravet ble det først gjennomført en beregning med glass på halve fasaden mot sør. Glassfasaden var 2,3 meter høy og 10,6 meter lang. Det vil si at 74% av hele fasaden bestod av glass.



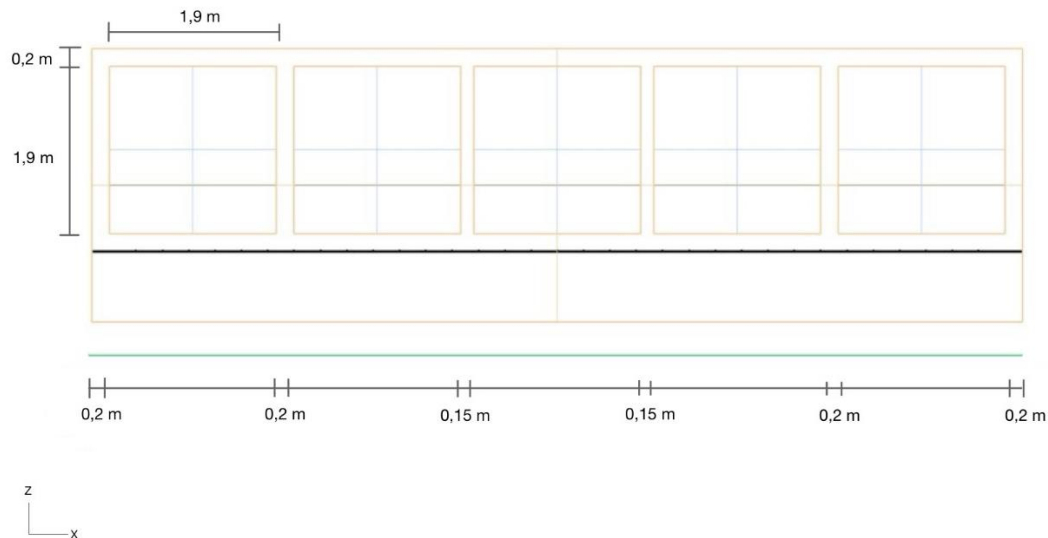
Figur 15 viser vindusareal på glassfasaden.



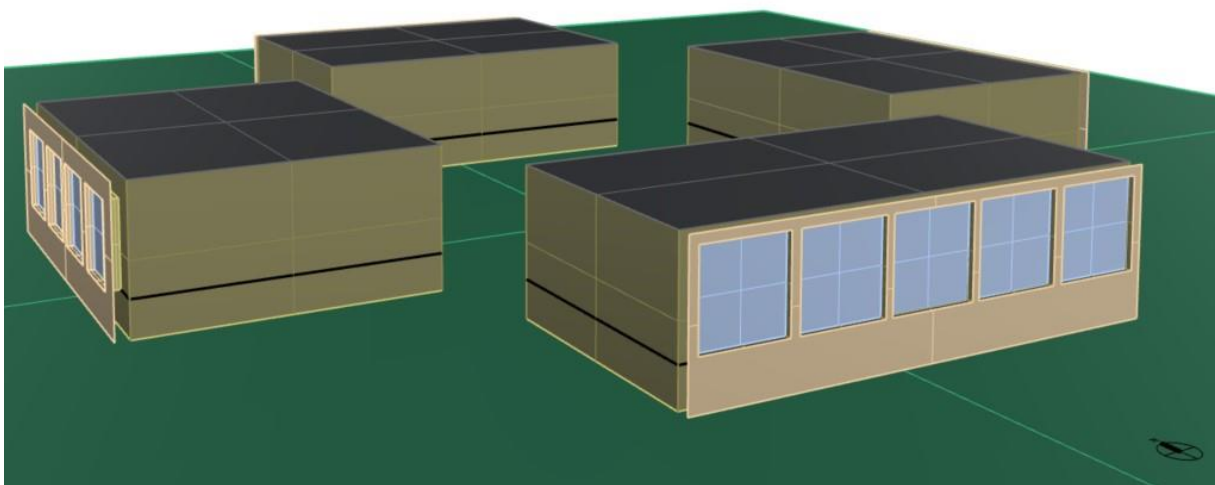
Figur 16 viser utklipp av 3D modellen fra Rhino 7.

### Endring 3 – romutforming og fem vinduer med større areal

Deretter ble det gjort beregninger med fem vinduer på 1,9 x 1,9 meter plassert 0,2 meter fra himlingen, altså en meter over bakken. De ytterste vinduene ble plassert 0,2 meter fra hjørnet av rommet og med en avstand på 0,15 mellom de tre midterste vinduene. Med dette designet bestod fasaden av 55% glass. For å undersøke om de andre klimabaserte analyseverktøyene i ClimateStudio ville gi tilsvarende resultater, ble det gjort beregninger med EN 17037 og BREEAM for denne geometrien. Oppsettet og forutsetninger for disse beregningsmetodene er beskrevet mer utdypende i delkapitlene 3.4.4 og 3.4.5.



*Figur 17 viser vindusareal, samt avstand fra veggen og mellom vinduene.*



*Figur 18 viser utklipp av 3D modell fra Rhino 7.*

### 3.3 Påvirkning av geografisk plassering

For å undersøke om geografisk plassering og lokalt klima har påvirkning på dagslystilgangen i klasserommene, ble klimadata hentet fra Bergen og Tromsø. For disse analysene ble geometrien fra endring 3 i forrige delkapittel benyttet for sør og designet fra endring 1 beholdt på rommene mot nord, øst og vest. Disse beregningene ble deretter sammenliknet.

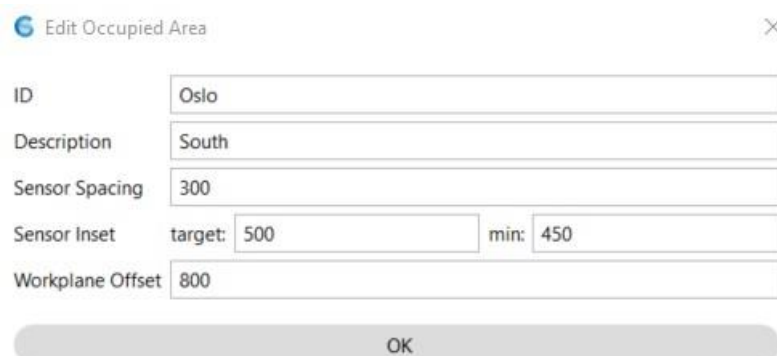
### 3.4 ClimateStudio

ClimateStudio er en plugin til Rhino 3D, og fungerer som et analyseverktøy for blant annet energieffektivitet, klima, dagslys, visuell og termisk komfort, elektrisk belysning og blendingsfare. Programmet inneholder tusenvis av materialer og værdatafiler, som tillater en å gjennomføre svært realistiske simuleringer opp mot standarder og manualer slik som BREEAM, LEED v4 og energimodellering. Med klimaanalysene er en i stand til å kartlegge temperatur, luftfuktighet, vind, stråling og UTCI-forhold (varmepåvirkning på menneskekroppen fra klimaforhold). ClimateStudio er et brukervennlig program som gjør det enkelt å navigere seg rundt og gjennomføre analysene svært rask samtidig som den gir nøyaktige resultater (Solemma (8), 2023).

#### 3.4.1 Daylight Availability

Daylight Availability er et analyseverktøy i ClimateStudio som er i stand til å gjennomføre ulike beregninger i henhold til forskjellige metoder og manualer. Her kan en gjøre beregninger for dagslysfaktor, LEED v4.1, BREEAM, EN 17037 eller en egendefinert simulering.

ClimateStudio kommer med default-verdier for avstand mellom sensorene og referansehøyde for måling av luminansen, disse er satt til henholdsvis 0,6 m og 0,76 m. For simuleringene som er gjennomført i denne oppgaven er sensoravstanden endret til 0,3 m. Når avstanden er mindre er det plass til et høyere antall sensorer, og dermed blir målingene mer nøyaktige fordi flere stråler blir fanget opp på referanseplanet. Referansehøyden er satt til 0,8 m da dette er oppgitt som vanlig referanseverdi i Norge (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020).

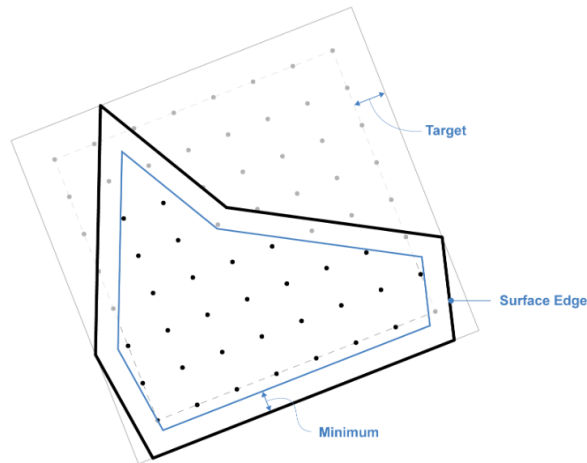


ID	Oslo
Description	South
Sensor Spacing	300
Sensor Inset	target: 500 min: 450
Workplane Offset	800

OK

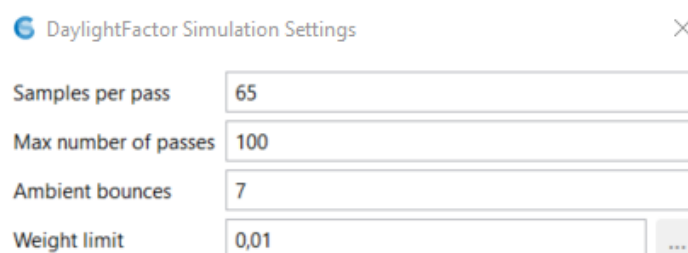
Figur 19 viser et utklipp fra ClimateStudio med beregningsforutsetninger for det okkuperte området, alle verdier er i mm.

En kan også velge avstand fra veggene der sensorene skal bli plassert. «Target» er avstanden fra sensorene til veggen, og «minimum» fjerner alle sensorer som er plassert for nærme veggen i forhold til «target». Default-verdiene på disse er henholdsvis 0,457 m og 0,305 m, men er endret til henholdsvis 0,5. og 0,45 for å følge anbefalingene for referanseplanet som er gitt i RIF (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020).



Figur 20 viser hvordan sensorene plasseres på arealet som skal analyseres (Solemma (6), 2020).

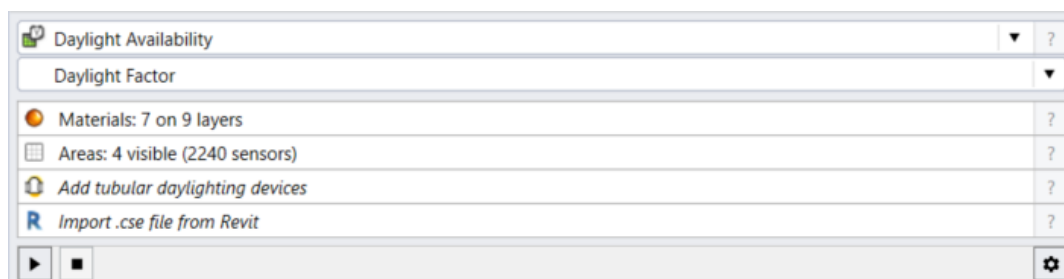
Under simuleringsinnstillingene finnes det ulike parametere som styrer kvaliteten på analysen. «Samples per pass» er antallet prøver per sensor per runde med analyse. Disse prøvene samles for hver runde, altså totalen er likt antall prøver per runde multiplisert med antall runder. «Maximum number of passes» er antallet runder med simuleringer som gjennomføres før simuleringen stoppes. Disse to parametere er satt til henholdsvis 65 og 100 for at simuleringene skal bli nøyaktige. «Ambient bounces» er en grense for antallet indirekte beregninger av diffuse interrefleksjoner før en lysstråle forkastes (Solemma (7), 2020). I ClimateStudio er denne grensen satt til 7, noe som tillater programmet å utføre svært nøyaktige beregninger. I andre programmer, som Diva-for-Rhino, er denne grensen satt lavere fordi den øker beregningstiden og gjør dermed simuleringene treigere. Dette er imidlertid ikke et kompromiss som må gjøres i ClimateStudio da de bruker en type banesporing av strålene. For rom som inneholder solskjerming er det nødvendig å ha en høy grense av ambient bounces fordi solstrålene kan reflekteres flere ganger før de finner veien ut av bygningen igjen (Solemma (9), 2023). «Weight limit» er en vektgrense for når en strålingsbane ikke lenger fortsetter automatisk, men heller tilfeldig. Vektene er vurdert etter hver bane (Solemma (7), 2020). Default-verdien er satt til 0,01 og denne har blitt stående. Innstillingene for simuleringene er de samme for alle beregningene som har blitt gjennomført i oppgaven.



Figur 21 viser innstillingene for simuleringene.

### 3.4.2 Daylight Factor

En av analysene som kan gjennomføres for dagslystilgang i ClimateStudio er dagslysfaktor. Her benyttes CIE standard overskyet himmel som referansemodell, og solskjerming er ikke med som en påvirkningsfaktor for resultatet. Oppsettet og input-verdiene i ClimateStudio er av et enkelt format hvor det legges inn materialer med både refleksjonsverdi, U-verdi og areal som skal beregnes. Resultatet av simuleringen blir presentert i en tabell med dagslysfaktorer for de ulike arealene som beregnes, og inneholder blant annet størrelse på rommene, gjennomsnittlig dagslysfaktor, minste dagslysfaktor og median dagslysfaktor. I tillegg vil resultatet bli visualisert i tegningen med en skala som rangerer fra 0% DF til 10%. Blå farge indikerer at det er lav dagslysfaktor, mens gul indikerer en høy verdi. Denne skalaen kan justeres på slik at fargefordelingen på tegningen endres, og i denne oppgaven har skalaen blitt justert til å vise 0% til 4%.

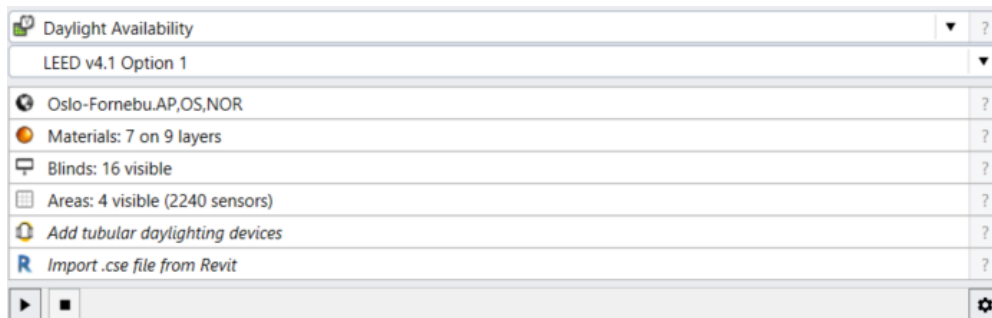


Figur 22 viser oppsett for å gjennomføre en dagslysfaktor-simulering i ClimateStudio.

### 3.4.3 LEED v4.1 Option 1

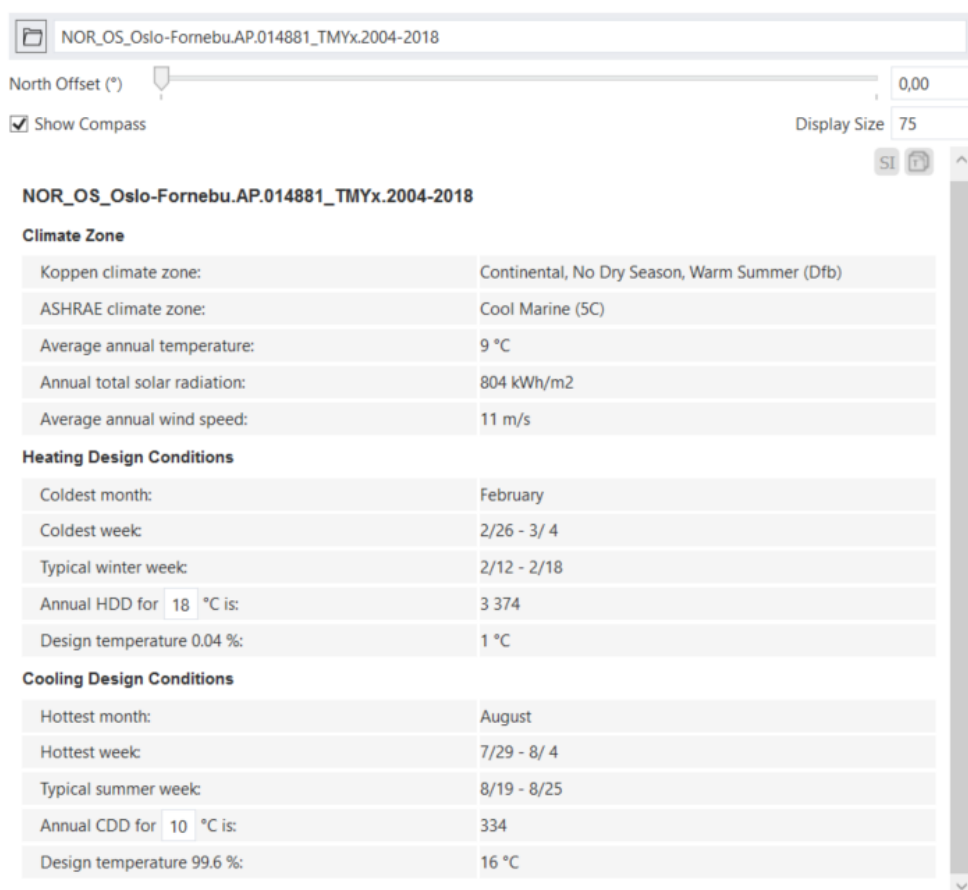
LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) er grønt evalueringssystem for bygningsdesign utviklet av US Green Building Council, og har som hensikt å kreditere designvalg som fremmer miljø og bærekraft, samt helse og velvære for menneskene som skal oppholde seg i bygget. LEED v4.1 setter en standard for blant annet energieffektivitet, materialer, dagslys og reduksjon av avfall (USGBC (2), u.d.).

I ClimateStudio finnes det to varianter av LEED v4.1; Option 1 og Option 2. Option 1 gjennomfører analyser for dagslystilgangen over et helt år, mens Option 2 kun analyserer kl. 09:00 og kl. 15:00 ved vår- og høstjevndøgn på den lyseste dagen av 15 dager i mars eller september 2021 (Solemma (5), 2020). Ettersom Option 1 simulerer for et helt år med flere tusen forskjellige himmelmodeller, vil den kunne gi et fullstendig bilde på dagslystilgangen og dermed tildele flere poeng under evalueringen (Solemma (4), 2020). Option 1 gir 1 poeng for okkuperte arealer med sDA på minst 40%, to poeng for sDA minst 55% og tre poeng for sDA på 75% og over (USGBC (1), u.d.).



Figur 23 viser oppsett for å gjennomføre en klimabasert analyse med LEED v4.1 Option 1 i ClimateStudio.

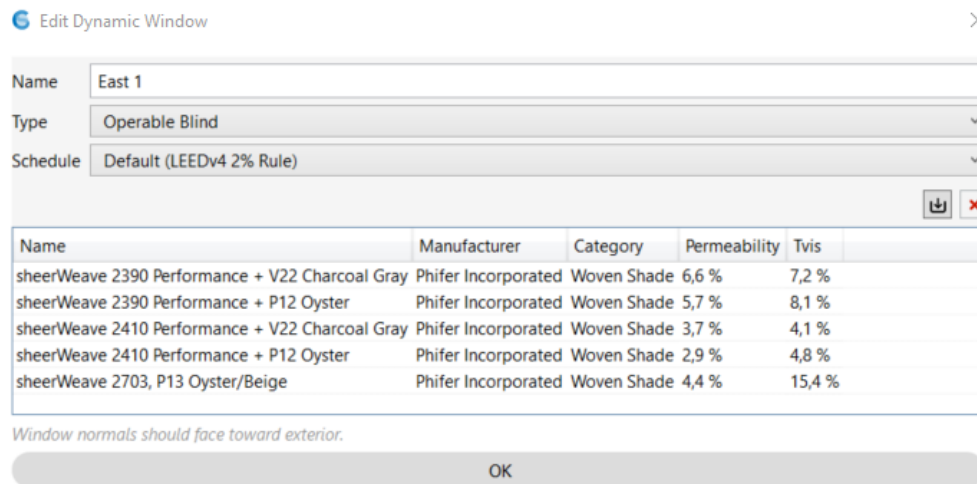
I motsetning til Daylight Factor, har LEED v4.1 to ekstra parametere som skal med i oppsettet for simuleringen. Den første er geografisk plassering av prosjektet som skal analyseres. ClimateStudio har flere tusen værdatafiler fra over hele verden som en kan velge mellom. Etter at lokasjon er valgt, vil nyttig data om stedet komme opp i en fane. Her vil blant annet data om klimasone og temperatur vises. I denne oppgaven er værdatafilene for Oslo Fornebu, Bergen Flesland og Tromsø 010260 benyttet.



Figur 24 viser hvordan fanen for geografisk plassering ser ut. Her vises både klimasone og temperaturer.



Den andre parameteren som skal inn i simuleringen er solskjerming på vinduene. Det er to mulige valg for solskjerming; operativ solskjerming (duk) og dynamisk glass. Når disse legges til kan en velge mellom flere forskjellige typer materialer med data som er hentet ut av International Glazing Database (IGDB). Ettersom dataene er hentet ut fra en offentlig database, kan en bestille disse produktene på ekte (Solemma (1), 2020).



Figur 25 viser alternativene for operativ solskjerming i ClimateStudio.

ClimateStudio har bestemte forutsetninger for bruk av solskjerming. For den operative solskjermingen er det forutsatt at de enten er fullstendig åpent eller lukket. Styringen solskjermingen følger default regel som kalles «LEEDv4 2% regel». Dersom mer enn 2% av arealet som beregnes er utsatt for over 1000 lux fra direkte sollys, vil vinduene få beskjed om å lukke solskjermingen. Det er vinduet som befinner seg der det er størst mengde direkte sollys som lukkes først, og prosessen fortsetter fram til mindre enn 2% av arealet mottar direkte sollys. Denne forutsetningen kan endres av brukeren med en egendefinert regel via en CSV fil (Solemma (1), 2020). I denne oppgaven er det imidlertid valgt å følge default regelen. Figur 25 viser de ulike typene solskjerming som kan benyttes for operativ solskjerming og hva slags styring som skal benyttes for den valgte solskjermingen.

I denne oppgaven er det valgt å bruke operativ solskjerming av typen sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gray med permeabilitet på 6,6% og lystransmisjon på 7,2%. Solfaktor, også kjent som g-verdi, forteller hvor mye solenergi som trenger gjennom et vindu eller solskjerming (Lavenergiprogrammet, 2021). Spesifikasjonene for produktene som gis i ClimateStudio følger amerikanske koeffisienter, og kalles derfor Solar Heat Gain Coefficient (SHGC), men dette er den samme verdien som benyttes i g-verdi. Produktbeskrivelsen gir skyggekoefisient (SC) på 0,41 med varmeisolerende glass (Hunter Douglas Architectural). Skyggekoefisienten tar hensyn til både g-verdi for glass og solskjerming.

For å finne SHGC/g-verdi for solskjermingen, kan følgende formel benyttes (Linshang Technology, 2019):

Formel 4

$$SHGC = \frac{SC}{0,87}$$

Hvor,

*SHGC* er det samme som g-verdi

*SC* er skyggekoefisient

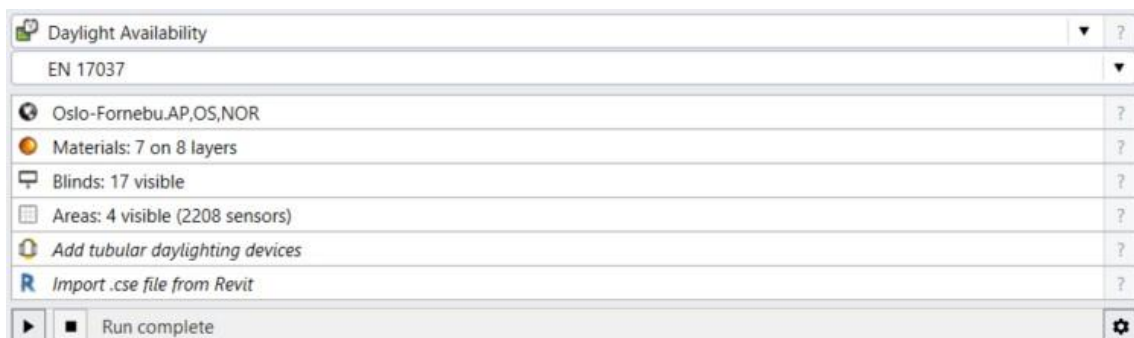
Med bruk av denne formelen, blir g-verdien for solskjermingsduken på 0,47.

#### 3.4.4 EN 17037

ClimateStudio inneholder analyseverktøy knyttet direkte opp mot den europeiske standarden EN 17037 for dagslystilgang i bygninger. Dette verktøyet opererer med de samme kriteriene som selve standarden gjør, og presenterer resultatene fra beregningene i en tabell som viser hvor stor prosentandel av gulvarealet som oppnår minimum, middels eller høyt nivå av kravene som stilles. For at bygningen eller rommet skal imøtekomme kravene som stilles i standarden, må rommet både møte et spesifikt og et minimumsnivå av illuminans (Solemma (3), 2020):

- Det spesifikke målet er på 300 lux for mer enn 50% av gulvarealet for minst 50% av tiden med dagslys.
- Minimumskravet er 100 lux for mer enn 95% av gulvarealet for minst 50% av tiden med dagslys.

Metoden tar utgangspunkt i en årlig klimabasert analyse av illuminansfordelingen time for time i et rom over 4380 timer med dagslys. Hvilke timer som blir valgt ut fra beregningen avhenger av hvor mye diffust lys som kommer fra himmelen. Det simuleres for totalt 8760 timer, hvor halvparten med sterkest horisontal diffus stråling blir inkludert i vurderingen. I beregningen vurderes rommene i sin helhet opp mot kravene. For hver time må derfor 50% av sensorene være belyst for at hele rommet skal være innenfor kravet. Dette må så gjelde for 50% av timene som er med i beregningen (Solemma (3), 2020).



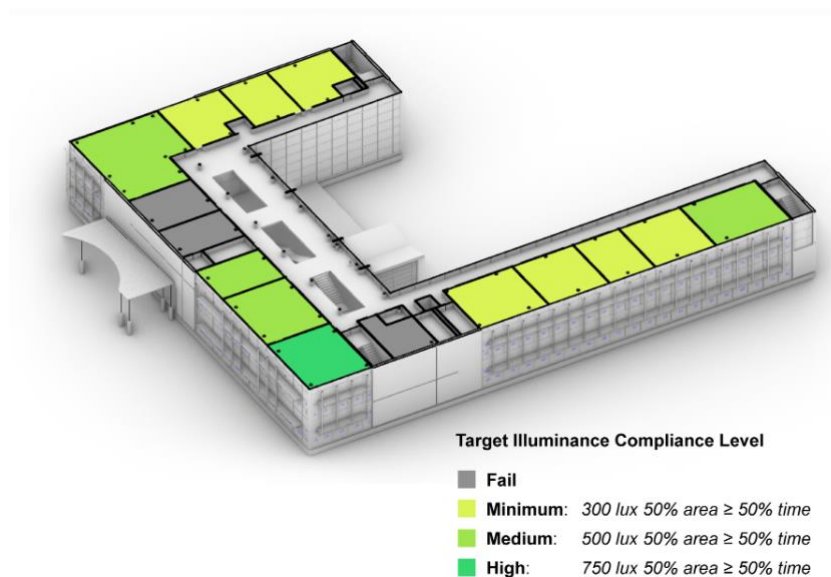
Figur 26 viser oppsett for simulering med verktøyet for EN 17037.

Resultatet fra beregningene vises både som tallverdier i en tabell og illustrer med farge på gulvarealet. Gråskala indikerer at kravet ikke er møtt. Gul farge forteller at minimumskravet er oppnådd, mens lys og mørk grønn representerer henholdsvis oppnåelse av middels og høyt nivå.

Building Compliance [% of rooms, area-weighted]

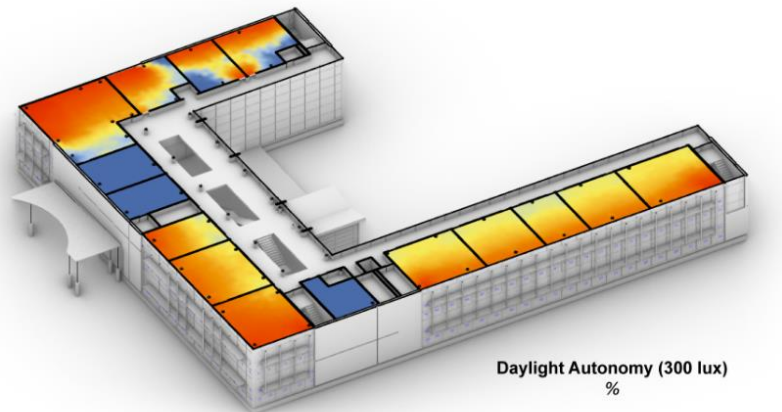
	Fail	Minimum	Medium	High
Target Level	17.0%	34.7%	26.0%	22.3%
Minimum Level	16.2%	63.2%	20.6%	0.0%

Figur 27 viser både tabell og fargeskala for oppnåelse av minimum, middels og høyt nivå av illuminans (Solemnia (3), 2020).



Figur 28 viser hvordan gulvarealene får tildelt farge ettersom hvilke krav i EN 187037 som blir oppnådd under beregningene (Solemnia (3), 2020).

Resultatet kan også visualiseres som årlig illuminans og illuminans for hver av de spesifikke kravene. Sistnevnte er imidlertid ikke utnyttet i beregningen mot kravene som stilles i NS-EN 17037, men kan være nyttig for illustrasjon av hvor store deler av et rom som blir belyst kun ved hjelp av dagslys (Solemma (3), 2020).



Figur 29 illustrerer dagslysa autonomien i en etasje for 300 lux. Rød indikerer at 300 lux er nådd og blå representerer 0 lux. Fargene gul og oransje indikerer en verdi et sted mellom 0 og 300 lux (Solemma (3), 2020).

#### 3.4.5 BREEAM International 4b

ClimateStudio inneholder analyseverktøy for BREEAM-manualen med tilhørende poengsystem for miljøvennlige valg. Det finnes to mulige analysemodeller; UK/International 4b for årlig illuminans og UK/International 4a/c for dagslysfaktor. I denne oppgaven er det verktøyet for BREEAM UK/International 4b som er benyttet for å kunne sammenlikne resultatet med de andre analysemodellene. I tillegg til valg av geografisk plassering av bygget, velges det også ut type bygg og bruksrom. Dermed er det valgt skolebygg av høyere utdanning for denne analysen. BREEAM vurderer dagslystilgangen ut ifra to krav (Solemma (2), 2020):

- Minimumskrav av gjennomsnittlig illuminans for et gitt antall timer
- Minimumskrav for illuminans for et gitt punkt i rommet over et spesifikt antall timer

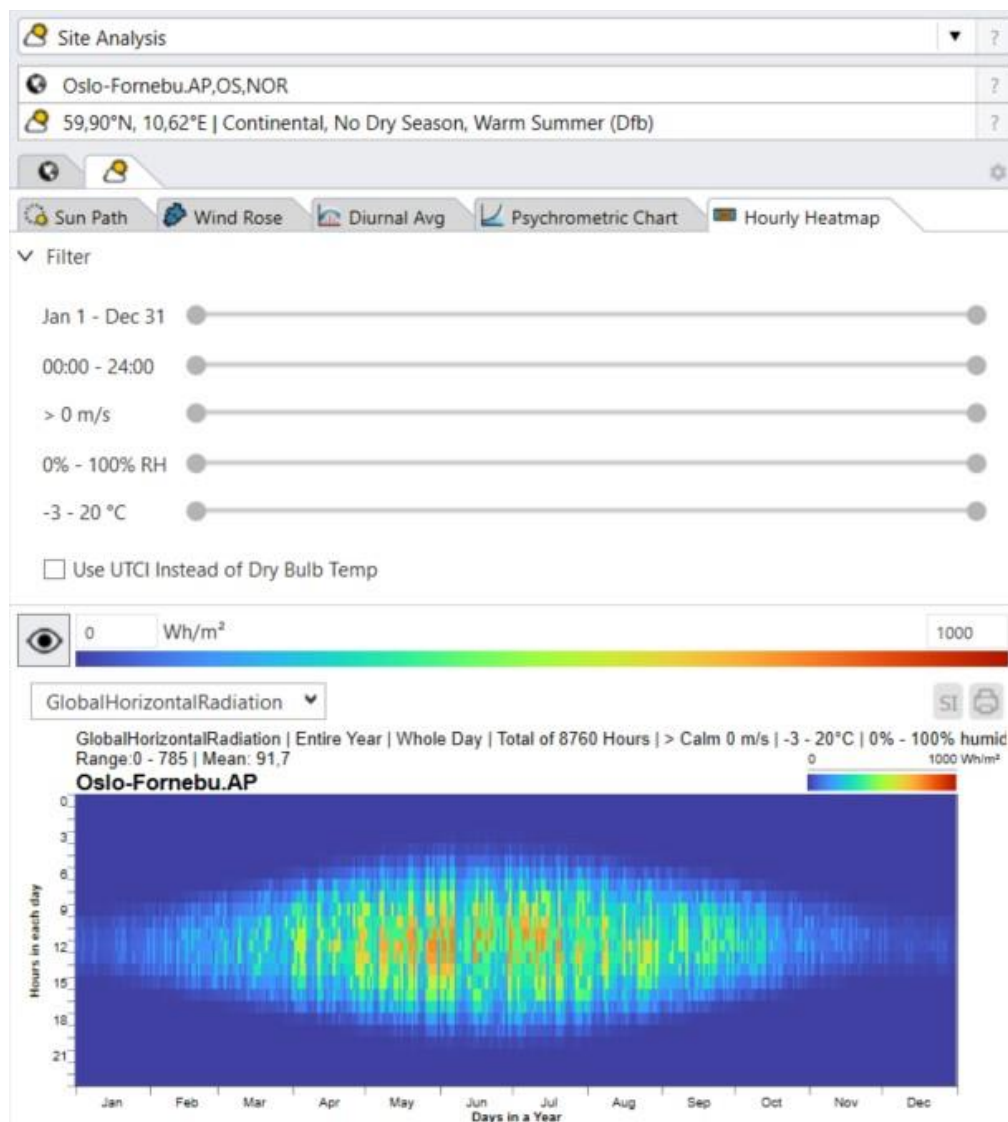
I ClimateStudio blir kravene for et klasserom (høyere utdanning) gitt som:

- Minimumskrav på gjennomsnittlig illuminans på 300 lux over 2000 timer
- Minimumskrav på illuminans for et gitt punkt i rommet på 90 lux over 2000 timer

Resultatene sorteres ut ifra type bruksrom, og må oppnå en viss prosentandel av rommene oppfylle kravene som stilles for å kunne oppnå poeng. For å få ett poeng er denne prosentandelen 75% med verktøyet i ClimateStudio, og for å oppnå 2 poeng er den 80% (Solemma (2), 2020).

### 3.4.6 Stedsanalyse

ClimateStudio har et verktøy som gjør det mulig å analysere sted og tilhørende klima, deriblant solens bevegelse, vinddiagrammer, skyggestudier og stråling. For å undersøke direkte normal stråling og global horisontal stråling for de tre byene i denne oppgaven, ble det benyttet et strålingskart som viser tidspunkter med fordeling av stråling over et helt år. Resultatet fra disse analysene kan eksporteres som bilder.



Figur 30 viser et utklipp fra ClimateStudio av oppsettet for stedsanalysene.

### 3.4.7 Input data

Input data har blitt hentet fra anbefalingene som presenteres i dagslysveilederen til RIF, og er beregningsforutsetninger for tidlig fase i byggeprosjekt. Disse standardverdiene ble benyttet i alle beregningene med unntak av analysene med optimistiske refleksjonsverdier som ble beskrevet i delkapittel 3.3 under «Endring 3 – geometri og refleksjonsverdi». Standardverdiene fra RIF gjelder hovedsakelig for innvendige vegger, gulv, himling og terreng. De optimistiske refleksjonsverdiene ble hentet fra BREEAM og Svanemerket 4.2 og gjelder for de allerede nevnte overflatene og i tillegg vinduskarm.

Tabell 4: viser refleksjonsverdi etter anbefaling i RIF (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020)

Overflate	Standardverdi
Innvendige vegger	50%
Himling	70%
Gulv	20%
Terreng	20%

Tabell 5: viser refleksjonsverdi etter anbefaling i BREEAM-NOR (Grønn Byggallianse, 2023).

Overflate	Standardverdi
Innvendige vegger	50%
Vinduskarm	80%
Himling	80%
Gulv	30%
Terreng	20%

Svanemerket 4.2 oppgir både intervaller og standardverdier for refleksjonsfaktorer. Standardverdiene skal benyttes dersom refleksjonsverdien for overflatematerialet i prosjektet er ukjent. Disse verdiene er i utgangspunktet de samme som anbefales i veilederen til RIF, men her har vinduskarm blitt inkludert. Intervallene for de ulike overflatene er presentert i tabellen under. Det er valgt å benytte mer optimistiske verdier som fortsatt er innenfor intervallene for å undersøke hvilken påvirkning dette vil ha på beregningene.

Tabell 6: Viser refleksjonsverdi etter anbefaling i Svanemerket 4.2 (Nordisk Miljømerking, 2024)

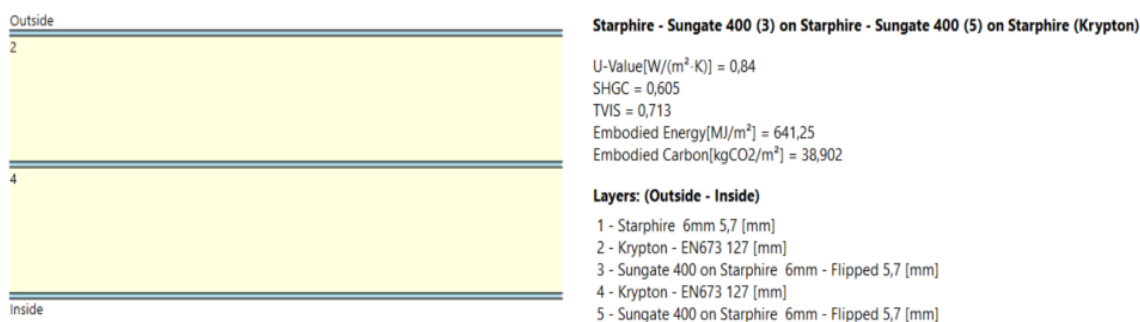
Overflate	Intervall	Standardverdi
Innvendige vegger	50 – 90%	50%
Vinduskarm	50%	50%
Himling	70 – 90%	70%
Gulv	20 – 65%	20%
Terreng	20%	20%

Hverken RIF, BREEAM eller Svanemerket 4.2 stiller krav til utvendig fasade, og dermed er det valgt ut standardverdier som finnes for fasader og vindusrammer i ClimateStudio. RIF presenterer likevel noen refleksjonsverdier som kan benyttes for spesifikke farger, deriblant lys grå på 40%. I denne oppgaven er det dermed benyttet grått fasadepanel med refleksjonsverdi på 46% (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020).

Tabell 7: Refleksjonsverdier for ulike overflater som er benyttet i beregningene.

Overflate	Refleksjonsverdi etter anbefalinger fra RIF	Refleksjonsverdi etter anbefalinger fra BREEAM	Refleksjonsverdi etter anbefalinger fra Svanemerket 4.2
Fasade	46%	46%	46%
Utvendige vinduskarmer	43%	43%	43%
Innvendige vegger	50%	50%	80%
Innvendige vinduskarmer	50%	80%	50%
Himling	70%	80%	80%
Innvendig gulv	20%	33%	33%
Omgivelser/terreng	20%	20%	20%

I modellen er det benyttet tre-lags glass med U-verdi på 0,8 som oppfyller krav til varmeisolasjon for vinduer etter TEK17. Vinduet har lystransmisjon på 0,7 og g-verdi/SHGC på 0,6. Veilederen til RIF anbefaler vinduer med lystransmisjon på rundt 65% eller kjent verdi (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2020).



Figur 31 viser utklipp fra ClimateStudio av tre-lags glasset som er benyttet i simuleringen.

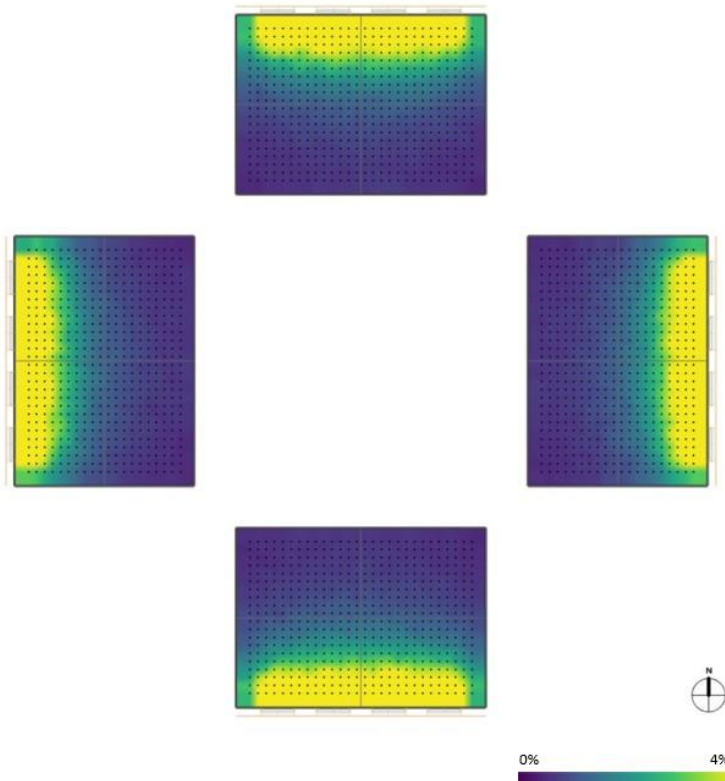
## 4 Resultater

Dette kapittelet vil ta for seg resultatene fra analysene. Det første delkapittelet kommer til å presentere resultatet fra de innledende simuleringene som ble gjort for å oppnå TEK17-kravet til dagslysfaktor. Det neste delkapittelet vil presentere og vurdere klimabaserte analyser og bygningsdesign med utgangspunkt i Oslo. Videre vil klimabaserte dagslysanalyser og lokalt klima bli vist i et nytt delkapittel. Resultater fra simuleringer med ulike refleksjonsverdier og ulike simuleringstøytøy vil også presenteres i hver sine kapitler.

Alle resultatene fra LEED v4.1 Option 1-analysene som blir presentert i dette kapittelet kan finnes som PDF-filer i vedleggene. Dette er filer som er eksportert direkte fra ClimateStudio.

### 4.1 Gjennomsnittlig dagslysfaktor

De innledende simuleringene med dagslysfaktor i ClimateStudio ga gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2,1 %. Denne verdien gjelder for alle rommene, og er dermed uavhengig av himmelretning. Figur 32 illustrerer illuminansfordelingen i rommene, og det er tydelig at det er størst tilgang på dagslys ved vinduene og minst innerst i rommet.



Figur 32 viser utklipp fra ClimateStudio av illuminansfordeling i rommet.

Tabell 8 viser de ulike rommene og resultatet fra simuleringen.

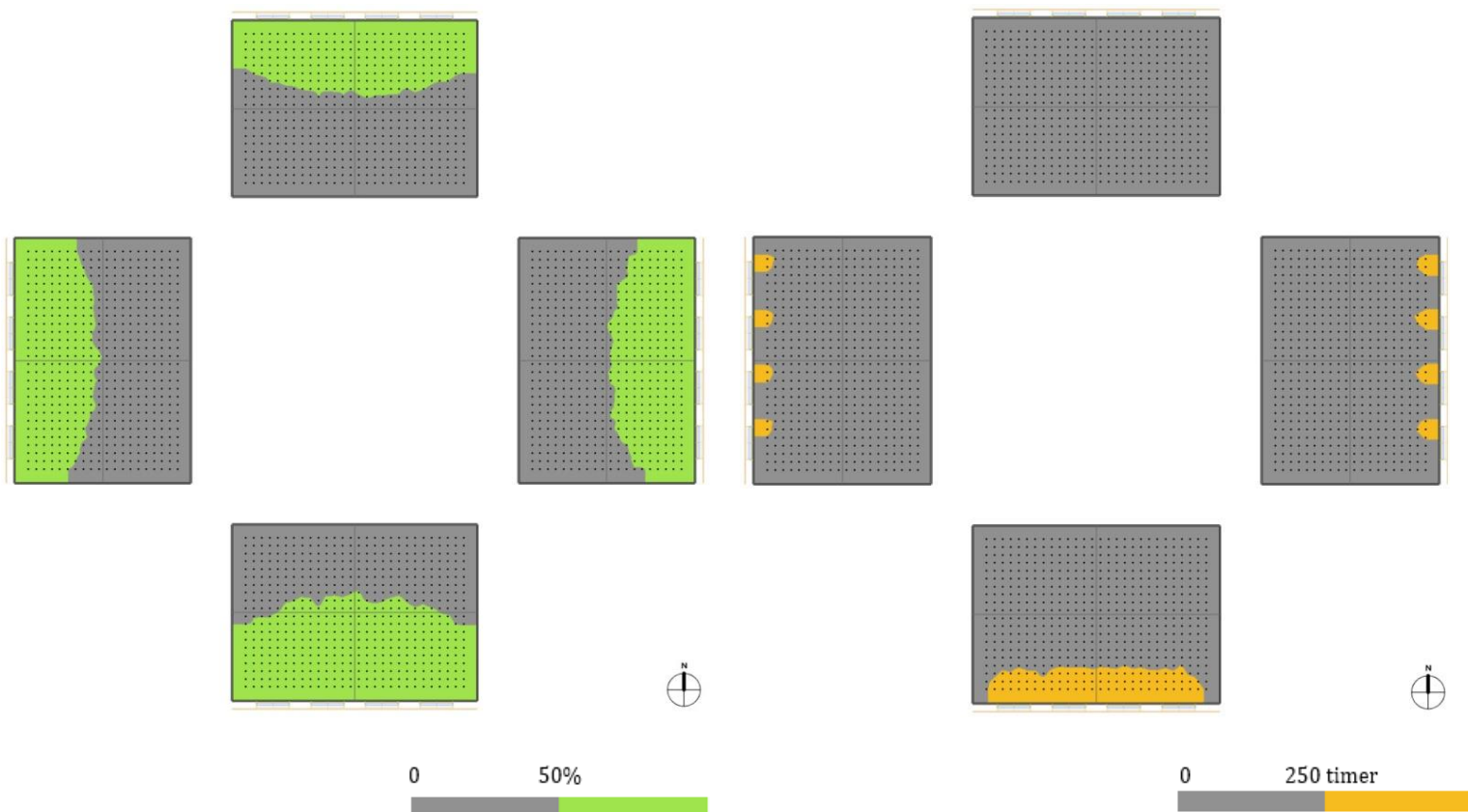
Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Formfaktor	Solskjerming	Gjennomsnittlig DF (%)
Nord	58,2	1,4	Nei	2,1
Sør	58,2	1,4	Nei	2,1
Øst	58,2	1,4	Nei	2,1
Vest	58,2	1,4	Nei	2,1



## 4.2 Klimabaserte analyser og bygningsdesign

### 4.2.1 Basisgeometri uten solskjerming

Den første klimabaserte analysen som ble gjennomført med LEED v4.1 Option 1 var identisk med den som ble brukt for gjennomsnittlig dagslysfaktor. Det er ikke benyttet solskjerming i modellen, slik at utgangspunktet for beregningen er helt lik som i gjennomsnittlig dagslysfaktor. Som tabell 9 viser er det kun rommet mot sør som har sDA-verdi på mer enn 50%. Uten solskjerming vil imidlertid det samme rommet få store utfordringer med blinding eller termisk inn klima da ASE-verdien er på over 13%. Det vil si at denne prosentandelen av rommet mottar direkte sollys (over 1000 lux) for mer enn 250 timer når rommet er i bruk. Rommene mot øst og vest har relativt lik sDA-verdi på henholdsvis 42,5% og 42%, men det østlige gulvarealet har nesten dobbelt så høy prosentandel av ASE og vil være mer utsatt for blinding. Rommet mot nord mottar minst dagslys og har lavest sDA på 37% og ASE på 0%. Figur 33 illustrerer hvilke områder av gulvarealet som mottar 300 lux for mer enn 50% av tiden rommet er i bruk ved grønn markering. ASE blir synliggjort med oransje markering.



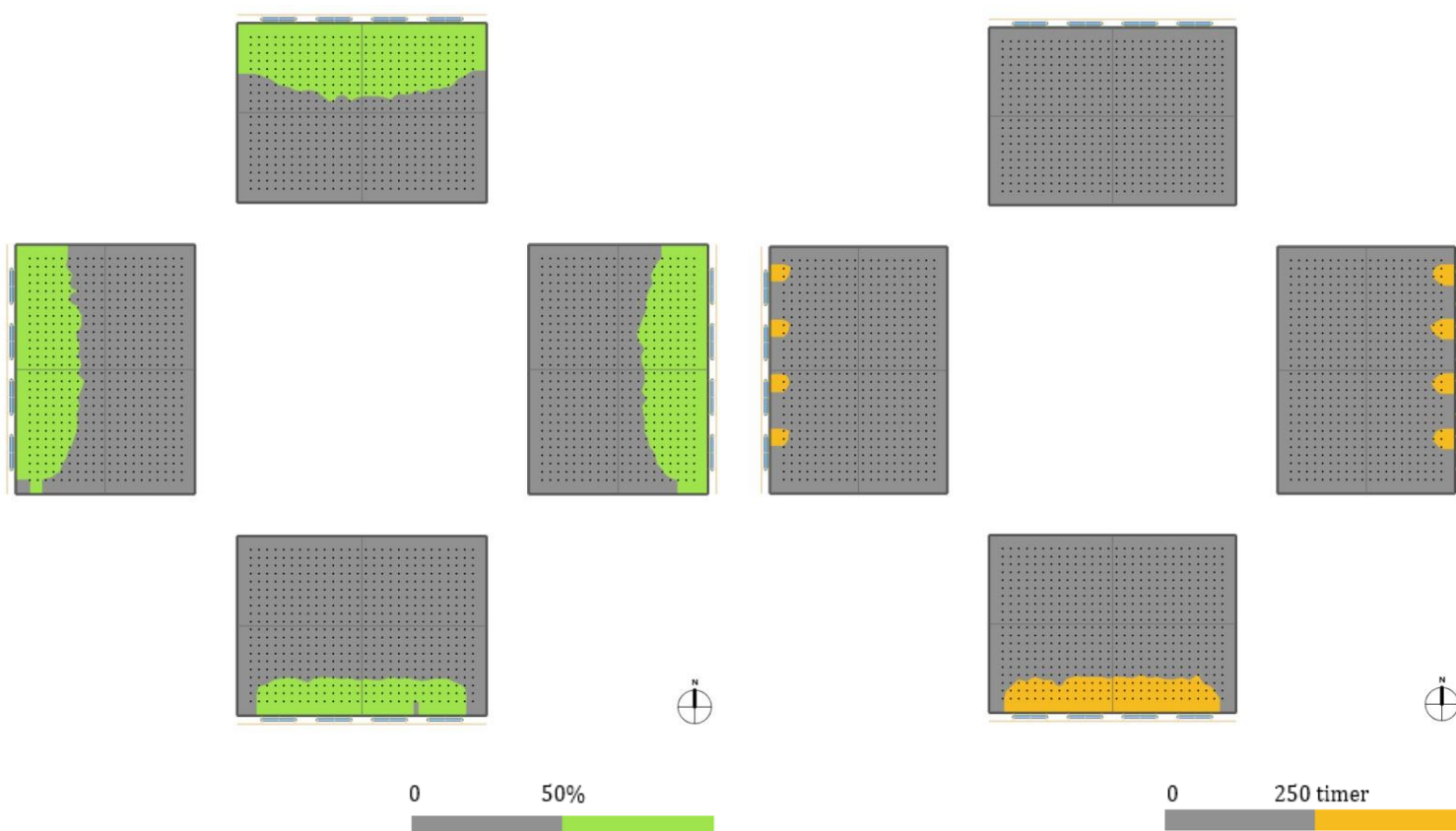
Figur 33 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$  (venstre), og områder med  $ASE_{1000,250h}$  (høyre).

Tabell 9 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)
Nord	58,2	Nei	37,0	0,0
Sør	58,2	Nei	54,3	13,6
Øst	58,2	Nei	42,5	3,0
Vest	58,2	Nei	42,0	1,6

## 4.2.2 Basisgeometri med solskjerming

Figur 34 nedenfor viser resultatet av simuleringer for samme modell med solskjerming. Ettersom geometrien er den samme, vil prosentandelen av ASE for de ulike rommene være lik. Som nevnt under teorikapittelet, skyldes dette at beregningen av ASE ikke tar hensyn til om solskjerming er aktivert. Likevel vil denne prosentandelen indikere om blendingen aktiverer solskjermingen eller ikke. Dette er synlig i tabell 10 hvor kolonnen lengst til høyre representerer ASE når solskjerming er i bruk. Den viser verdier på 0% for alle rommene. Beregningene av sDA derimot, tar hensyn til aktiveringsstatus av solskjermingen. Ettersom solskjermingen aktiveres, blir sDA-verdiene for rommene mot sør, øst og vest redusert til henholdsvis 15%, 31,4% og 30,2%. Denne reduksjonen er størst i rommet mot sør ettersom ASE-verdien er størst her og solskjermingen vil være aktivert over et større tidsrom. Prosentandelen av sDA for nord er omtrent den samme, 35,5%, men de små differansene kan skyldes nøyaktighetsforskjeller i de to beregningene.



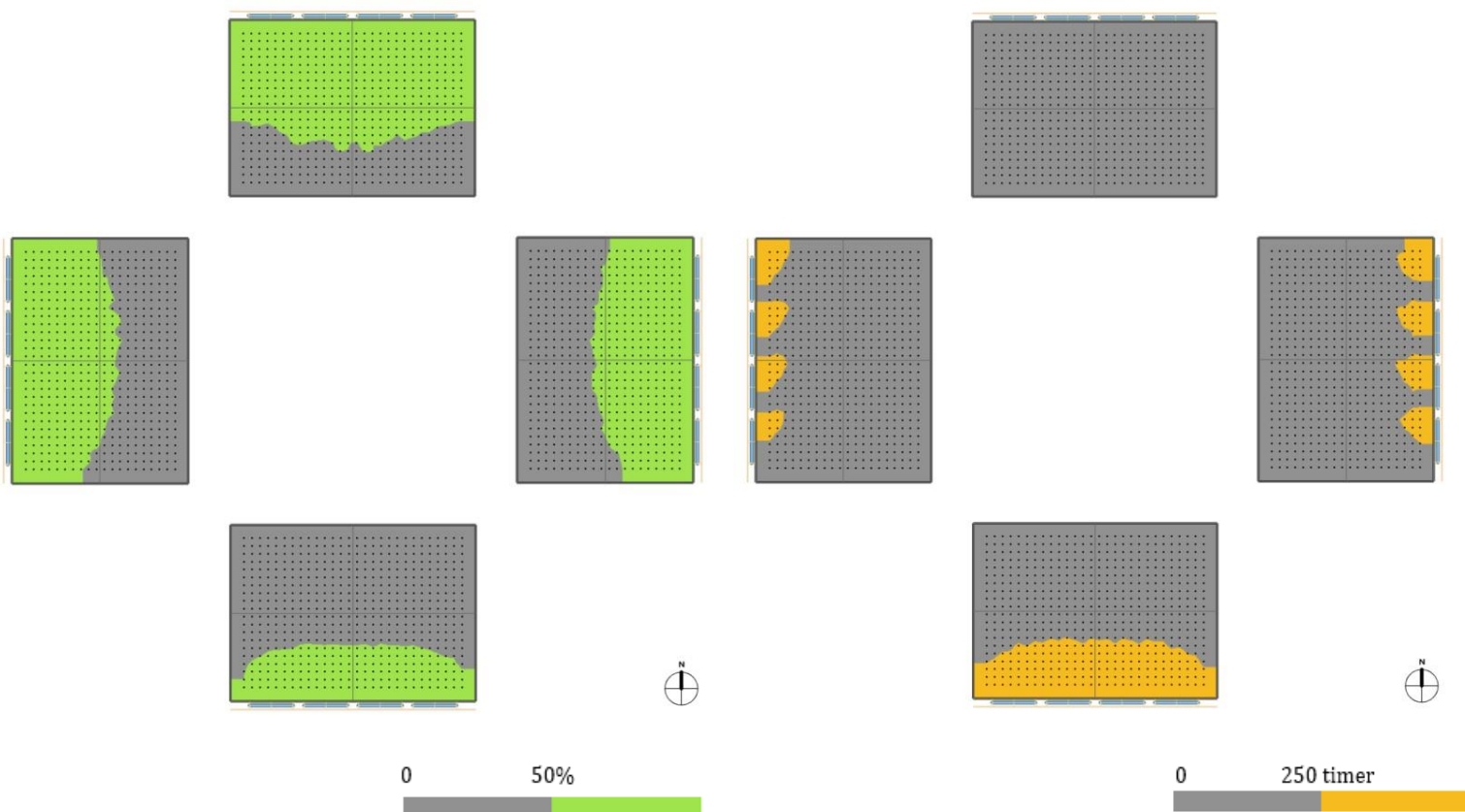
Figur 34 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt sDA<sub>300,50</sub> (venstre), og områder med ASE<sub>1000,250h</sub> (høyre).

Tabell 10 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)	ASE med blinds (%)
Nord	58,2	Ja	35,5	0,0	0,0
Sør	58,2	Ja	15,0	13,6	0,0
Øst	58,2	Ja	31,4	3,0	0,0
Vest	58,2	Ja	30,2	1,6	0,0

#### 4.2.3 Nytt bygningsdesign – endring 1

Den neste simuleringen var med et nytt bygningsdesign med større vinduer, som forklart i delkapittel 3.2.1 under endring 1. Med større vindusareal mot alle himmelretninger, ble både sDA og ASE større for alle rommene. ASE for det sørlige rommet økte til 27,9%, og førte til at større deler av rommet utsettes for blinding. Med solskjermingen aktivert, fikk det likevel en økning i sDA på 26,6%. Rommet mot nord får høyest sDA-verdi på 68,2% ettersom ASE fortsatt er på 0% og det ikke er behov for solskjerming. Rommet mot øst får ASE på 8,8% kontra det vestvendte rommet som har 5,9%. Dette gjør at øst får litt lavere sDA-verdi på 53,4% enn vest som får sDA på 56,3%. Observasjonene fra disse resultatene er at sDA-verdiene for nord, øst og vest er innenfor minimumskravet til den europeiske standarden for å oppfylle 300 lux for minst 50% av rommet.



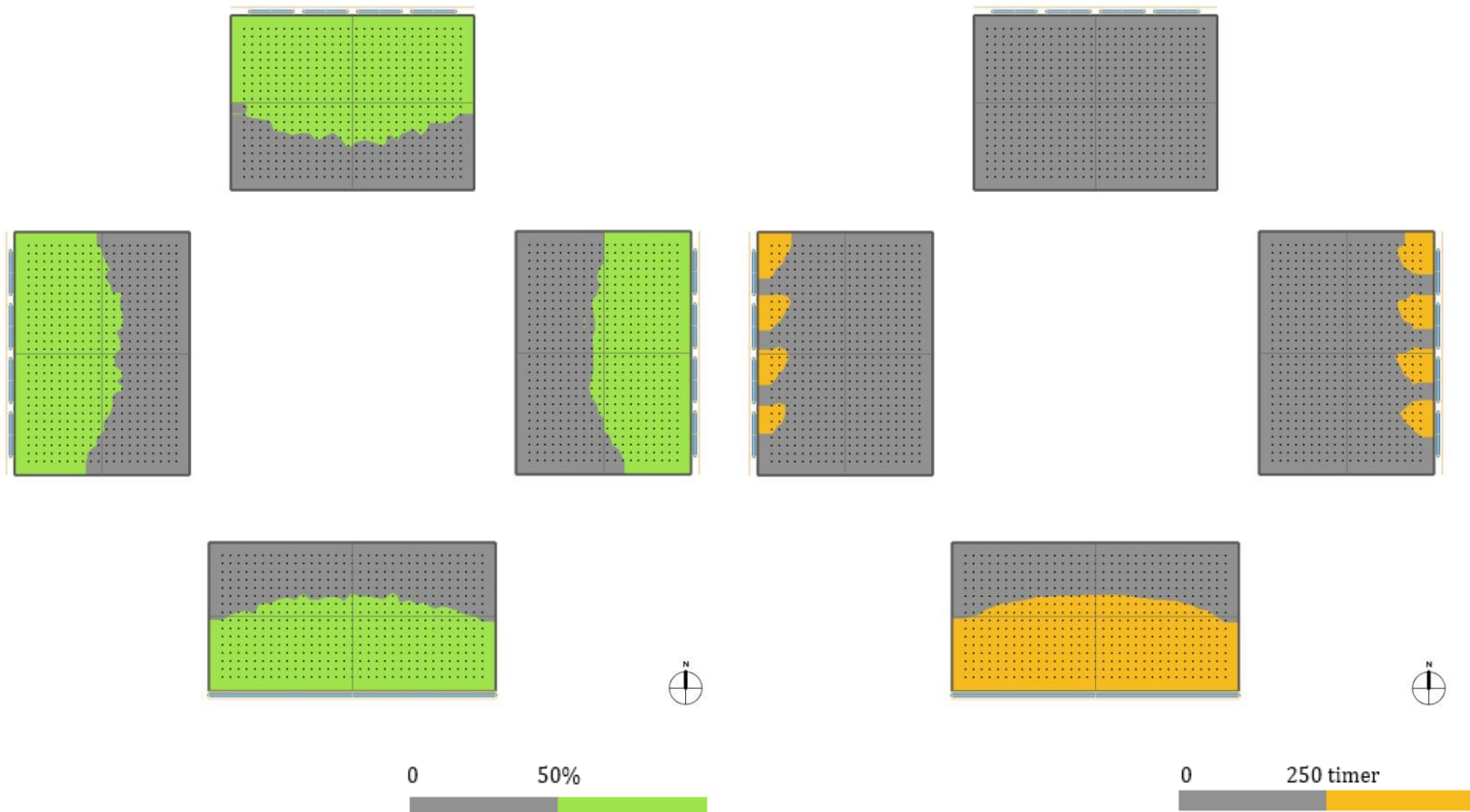
Figur 35 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$  (venstre), og områder med  $ASE_{1000,250h}$  (høyre).

Tabell 11 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)	ASE med blinds (%)
Nord	58,2	Ja	68,2	0,0	0,0
Sør	58,2	Ja	26,6	27,9	0,0
Øst	58,2	Ja	53,4	8,8	0,0
Vest	58,2	Ja	56,3	5,9	0,0

#### 4.2.4 Rom mot sør med glassfasade – endring 2

Endring 2 innebar en arealendring både for gulvet og for fasadeveggen mot sør. Med smalere rom og 74% glass på fasadeveggen, endte ASE på 61,9% og sDA på 59,7%. Glassfasaden gjør at over halvparten av rommet mottar direkte sollys og blir utsatt for blending, noe som gjør at sDA blir lavere enn ASE fordi solskjermingen er aktiv i et større tidsrom.



Figur 36 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$  (venstre), og områder med  $ASE_{1000,250h}$  (høyre).

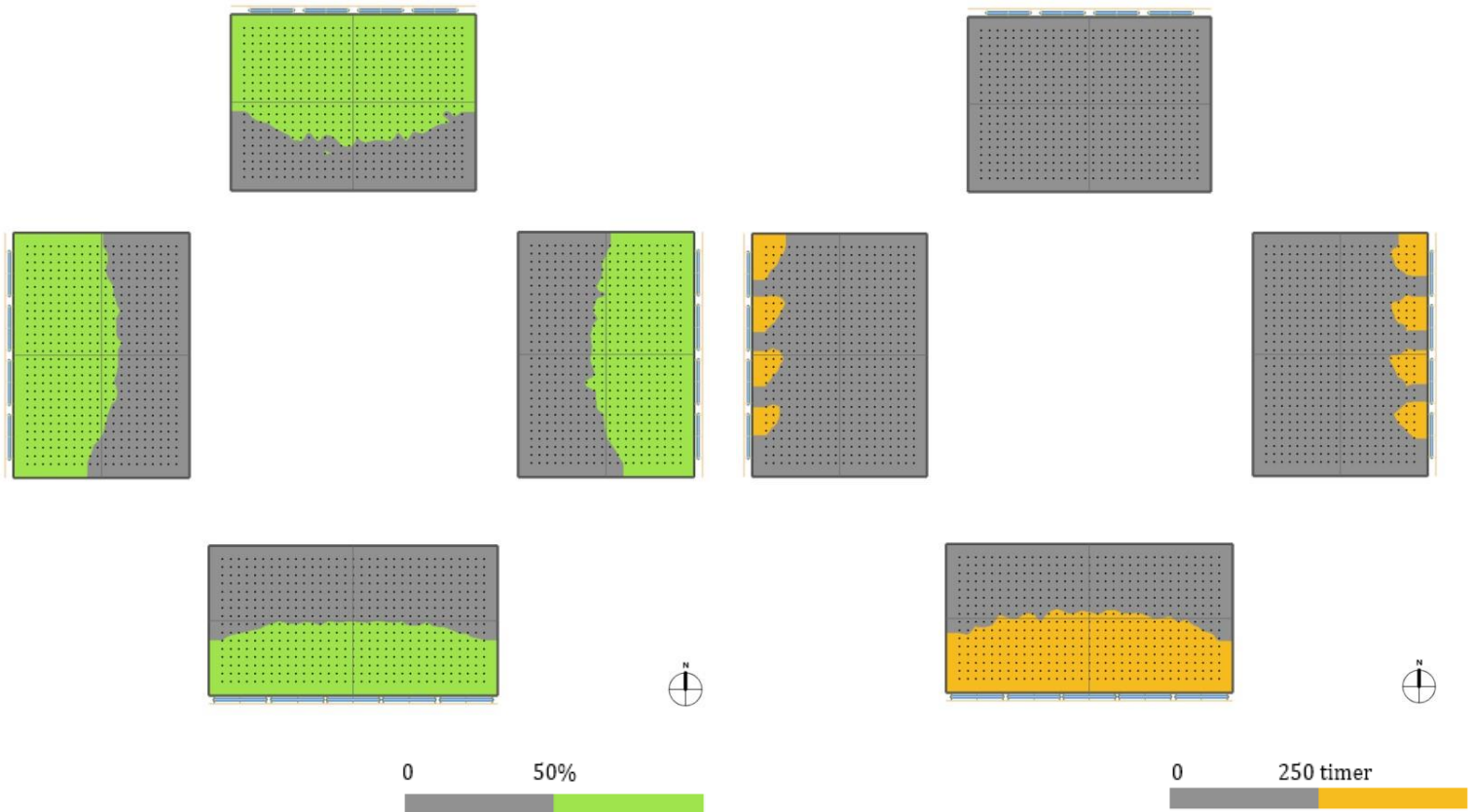
Tabell 12 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)	ASE med blinds (%)
Nord	58,2	Ja	68,8	0,0	0,0
<b>Sør</b>	<b>58,3</b>	<b>Ja</b>	<b>59,7</b>	<b>61,9</b>	<b>0,0</b>
Øst	58,2	Ja	53,2	8,8	0,0
Vest	58,2	Ja	55,4	5,9	0,0



#### 4.2.5 Rom mot sør med flere vinduer og større vindusareal – endring 3

Under endring 3 ble det forsøkt å gjøre om glassfasaden mot sør til fem store vinduer, slik at mengde glass gikk fra 74% til 55%. Dette ga lavere ASE-verdi på 49,8%, men sDA ender imidlertid på 45,6% som ikke er innenfor minimumskravet til den europeiske standarden.



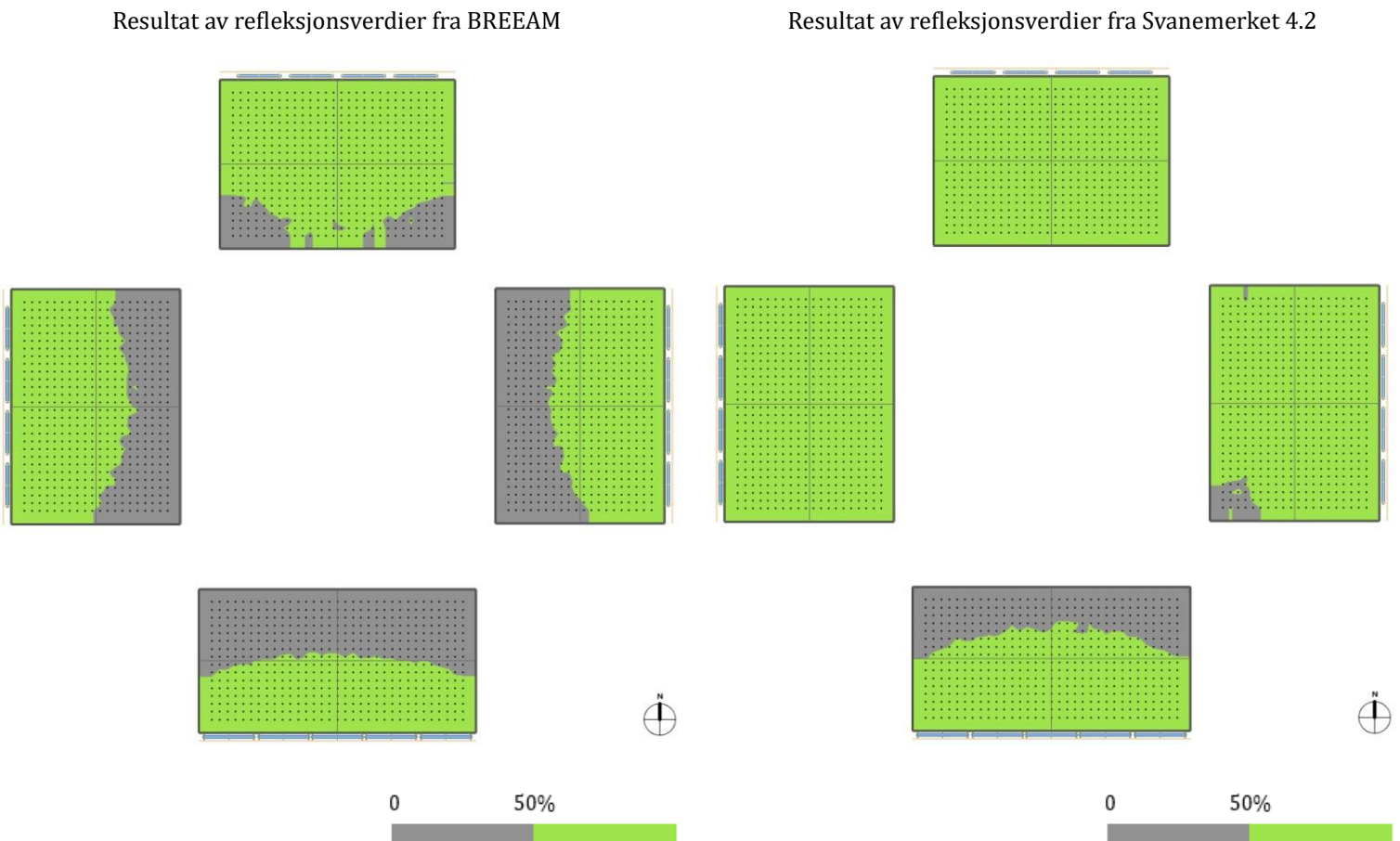
Figur 37 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$  (venstre), og områder med  $ASE_{1000,250h}$  (høyre).

Tabell 13 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)	ASE med blinds (%)
Nord	58,2	Ja	69,5	0,0	0,0
<b>Sør</b>	<b>58,3</b>	<b>Ja</b>	<b>45,6</b>	<b>49,8</b>	<b>0,0</b>
Øst	58,2	Ja	53,6	8,8	0,0
Vest	58,2	Ja	56,1	5,9	0,0

#### 4.2.6 Geometri og refleksjonsverdi

For å undersøke hvilken påvirkning refleksjonsverdier har for beregningene, ble resultatene fra simuleringer med refleksjonsverdier fra BREEAM og Svanemerket 4.2 sammenliknet. Som figur 38 illustrerer er det stor forskjell på prosentandel av rommene som oppnår minst 300 lux for 50% av brukstiden.



Figur 38 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$ .

Fra tabell 14 kan en se at ved bruk av refleksjonsverdier fra Svanemerket 4.2 vil klasserommene mot nord og vest oppnå 100% sDA. Ved bruk av refleksjonsverdier etter anbefalinger i BREEAM vil de samme rommene oppnå henholdsvis 87,3% og 65,9%. Dette er betraktelig lavere, spesielt for rommet mot vest. Det samme kan observeres for rommet mot øst, som oppnår sDA på 97,3% ved bruk av Svanemerket 4.2 og 62,7% med BREEAM. Det mest kritiske rommet er det sørlige. Ved bruk av Svanemerket 4.2 er rommet godt innenfor minimumskravet til den europeiske standarden med 68% sDA, mens med refleksjonsverdier fra BREEAM oppnår det ikke kravet ettersom det blir redusert til 49,6%.

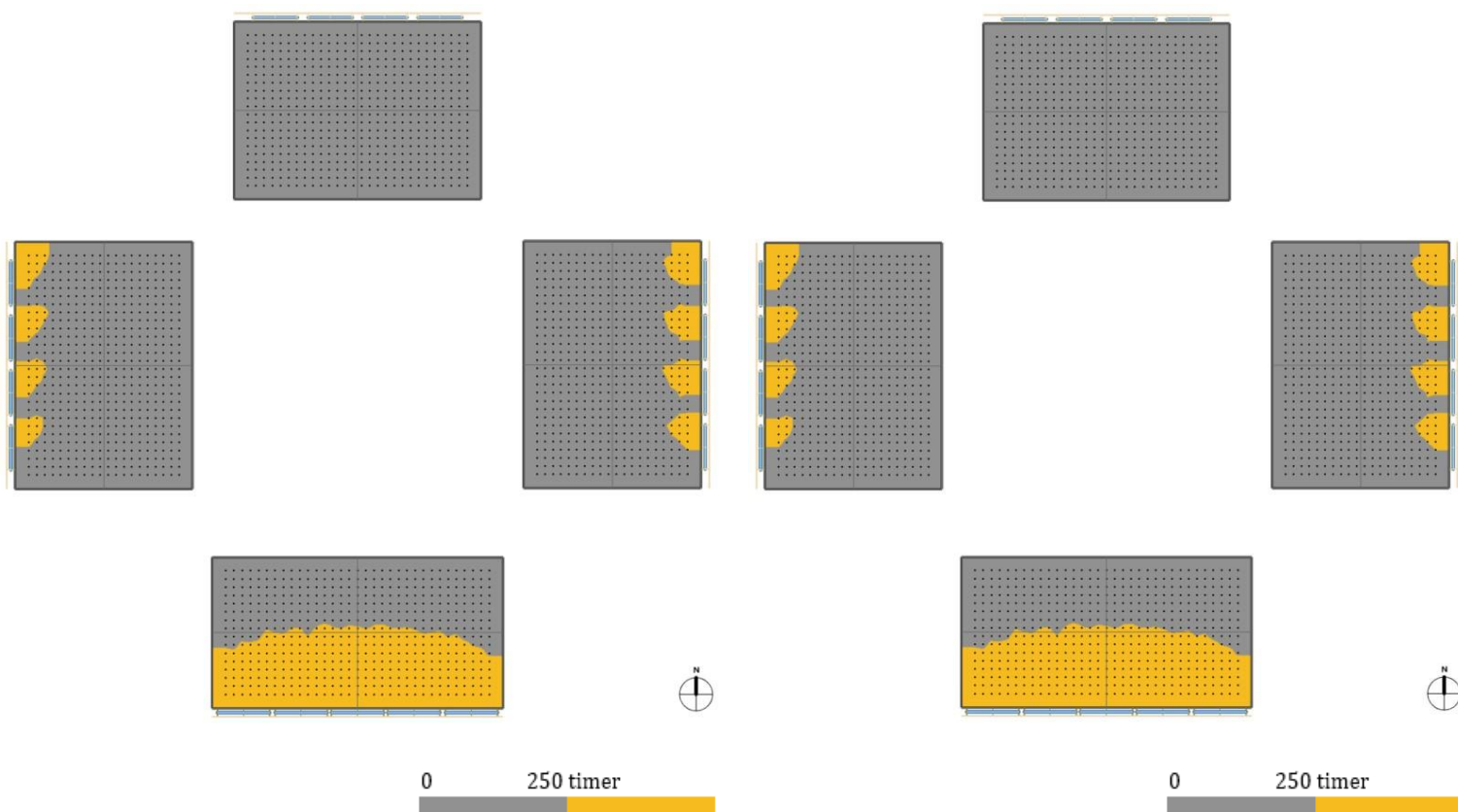
Tabell 14 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA BREEAM (%)	sDA Svanemerket 4.2 (%)
Nord	58,2	Ja	87,3	100
Sør	58,3	Ja	49,6	68,0
Øst	58,2	Ja	62,7	97,3
Vest	58,2	Ja	65,9	100

Ettersom ASE kun måler prosentandel av gulvarealet som mottar direkte sollys, vil ikke denne verdien variere under bruk av ulike refleksjonsverdier. Dette er synlig ut ifra resultatene av ASE fra de to analysene med refleksjonsverdier fra BREEAM og fra Svanemerket 4.2. ASE er dermed avhengig av geometridesign på selve rommet. Som følge av at vindusarealet og romutforming er den samme på begge, blir mengden direkte sollys den samme i de to beregningene.

Resultater av refleksjonsverdier fra BREEAM

Resultater av refleksjonsverdier fra Svanemerket 4.2



Figur 39 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med ASE<sub>1000,250h</sub> (høyre).

Tabell 15 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	ASE BREEAM (%)	ASE Svanemerket 4.2 (%)
Nord	58,2	Ja	0,0	0,00
Sør	58,3	Ja	49,8	49,8
Øst	58,2	Ja	8,8	8,8
Vest	58,2	Ja	5,9	5,9

### 4.3 Klimabaserte analyser og lokalt klima

I dette delkapittelet vil resultatene fra delkapittel 4.2.5 blir sammenliknet med beregninger gjort for Bergen og Tromsø. Det samme designet som er benyttet i delkapittelet 4.2.5 er benyttet i disse simuleringene, slik at utgangspunktet for analysene er det samme.

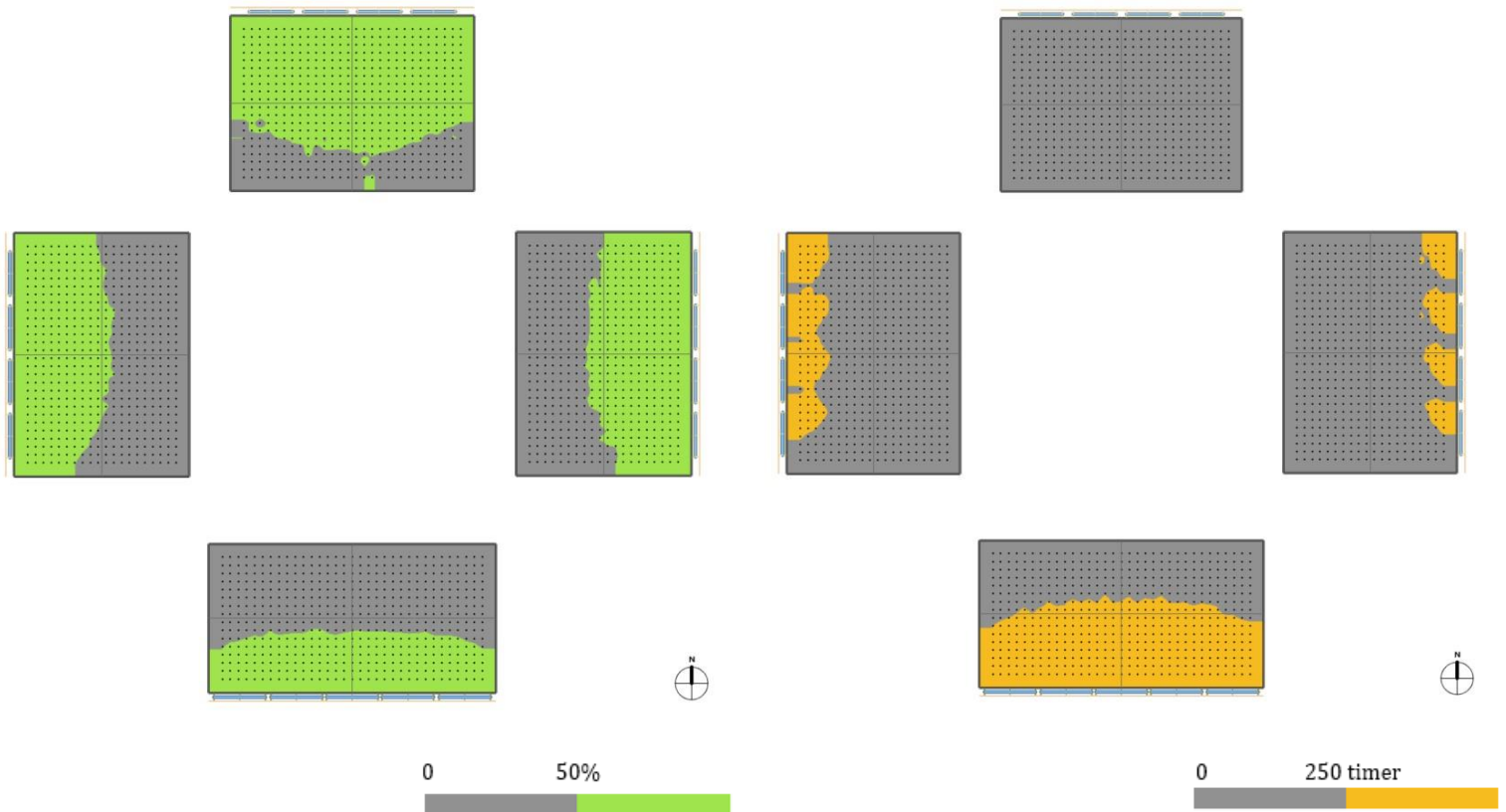
#### 4.3.1 Simuleringer med klimadata fra Bergen

Resultater fra simuleringene med samme geometri som er benyttet i endring 3 viser at rommet mot nord får en høyere sDA-verdi i Bergen med 75,2% enn i Oslo, hvor den var på 69,5%. Det motsatte kan observeres for det sørvendte klasserommet. Verdien reduseres fra 45,6% i Oslo til 36,7% i Bergen.

Det motsatte kan observeres for ASE-verdien for sørfasaden i de to ulike byene. I Oslo var ASE på 49,8%, mens i Bergen er den så høy som 55,7%. Dette fører til at solskjermingen er aktiv i en større tidsperiode i Bergen enn i Oslo, og dermed reduserer mengden dagslys i rommet.

For øst og vest er ikke kontrastene mellom Oslo og Bergen like store, men det kan likevel observeres noen ulikheter. For Oslo hadde rommet mot øst lavere sDA-verdi og høyere ASE-verdi enn mot vest. Dette resultatet er omvendt for Bergen. I Bergen har rommet mot øst en sDA-verdi på 55,7% og ASE på 7,9%, mens i Oslo er disse prosentandelene henholdsvis 53,6% og 8,8%. Kontrasten mellom Bergen og Oslo er imidlertid større for det vestvendte rommet, der Bergen har sDA på 51,1% og ASE på 13,4 %. I Oslo var de samme verdiene 56,1% og 5,9%. Dette viser at rommet mot vest vil i større grad være utsatt for blending i Bergen enn i Oslo, og at dette vil redusere mengden dagslys som trenger inn i rommet.





Figur 40 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$  (venstre), og områder med  $ASE_{1000,250h}$  (høyre).

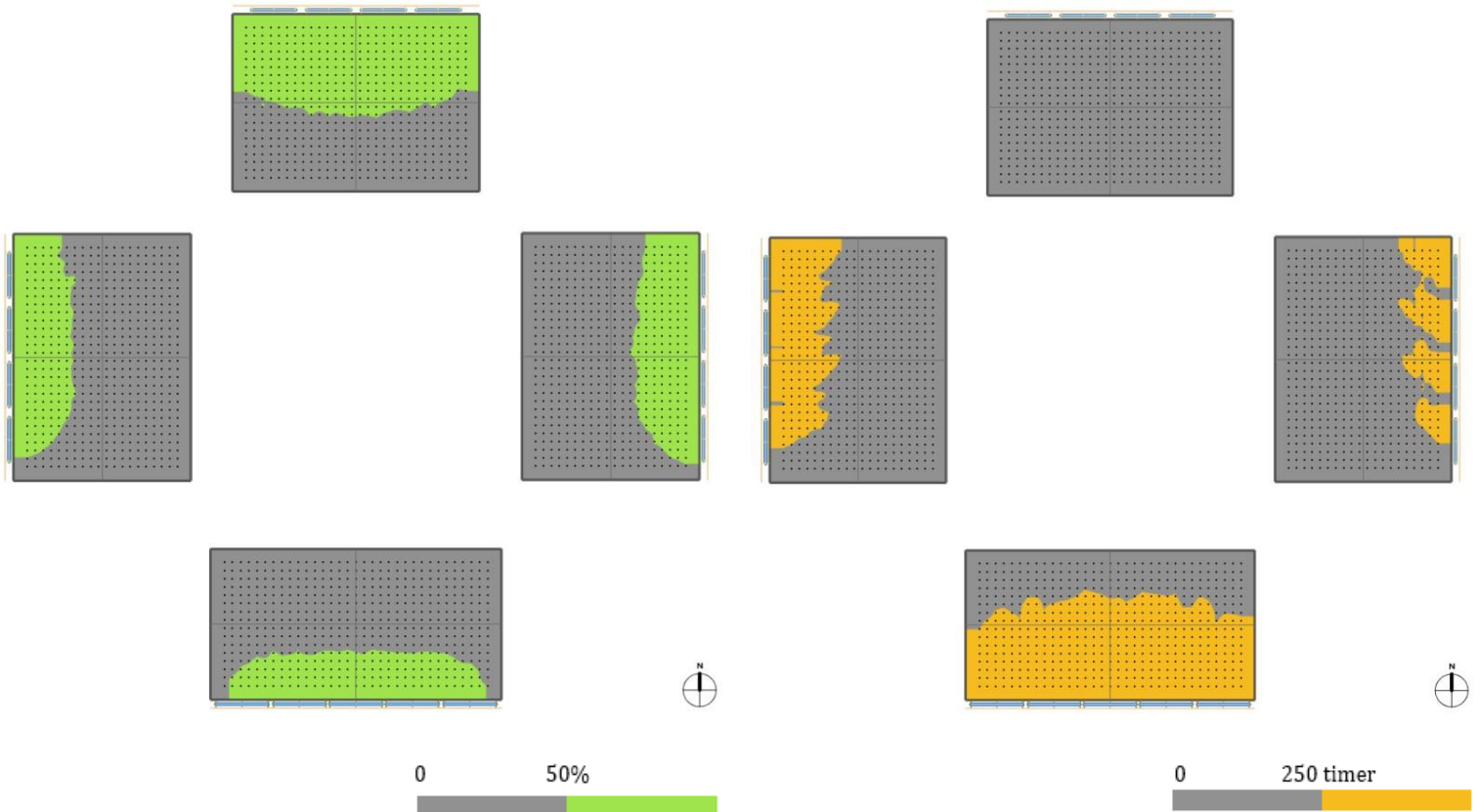
Tabell 16 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)
Nord	58,2	Nei	75,2	0,00
Sør	58,3	Nei	36,7	55,7
Øst	58,2	Nei	55,7	7,9
Vest	58,2	Nei	51,1	13,4

#### 4.3.2 Simuleringer med klimadata fra Tromsø

Resultatene fra beregningene med klimadata fra Tromsø viser at dagslystilgangen reduseres på generelt grunnlag for alle himmelretningene. For rommet mot nord reduseres sDA enda mer i forhold til Oslo og Bergen med en verdi på 53,8%. For rommet mot sør blir ASE over dobbelt så stor som sDA-verdien, og viser at 66,5% av gulvarealet mottar direkte sollys og blir blendingsutsatt. Dette gjør at sDA-verdien synker til 25,0%.

De samme observasjonene som ble gjort for rommene i øst og vest i Bergen, blir enda tydeligere i Tromsø. Dagslystilgangen for rommet mot vest synker til 26,3% og utgjør dermed bare halvparten av sDA-verdien som ble oppnådd i Bergen. Det blendingsutsatte arealet øker derimot til 25,9% som er nesten dobbelt så mye som i Bergen og over fire ganger høyere enn i Oslo. For den østvendte fasaden blir sDA noe høyere enn mot vest med en verdi på 30,0%, noe som påvirkes av en betraktelig lavere ASE-verdi på 12,1%. Disse verdiene indikerer fortsatt en dårligere dagslyskvalitet i Tromsø enn Bergen og Oslo med samme design.



Figur 41 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med oppfylt  $sDA_{300,50}$  (venstre), og områder med  $ASE_{1000,250h}$  (høyre).

Tabell 17 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

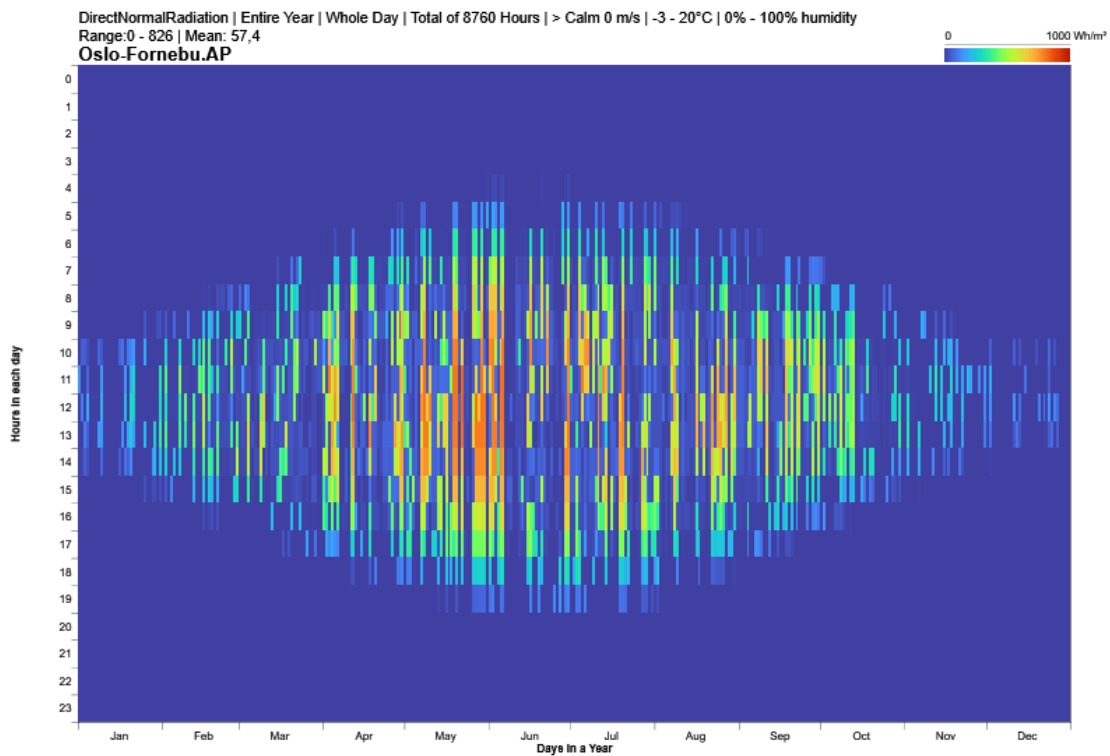
Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	sDA (%)	ASE (%)
Nord	58,2	Ja	53,8	0,0
Sør	58,3	Ja	25,0	66,5
Øst	58,2	Ja	30,0	12,1
Vest	58,2	Ja	26,3	25,9

## 4.4 Stedsanalyser

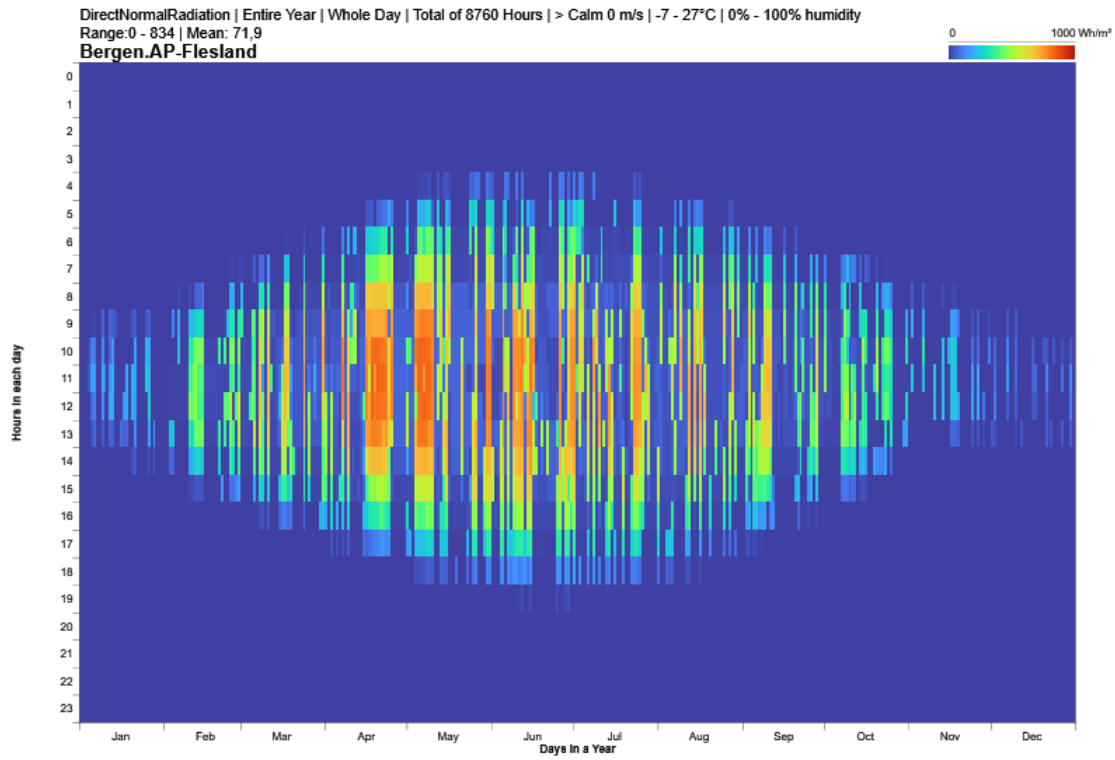
Stedsanalysene ble gjort i ClimateStudio for å undersøke hvilke forskjeller det er i direkte normal stråling og global horisontal stråling for Oslo, Bergen og Tromsø.

### 4.4.1 Direkte normal stråling

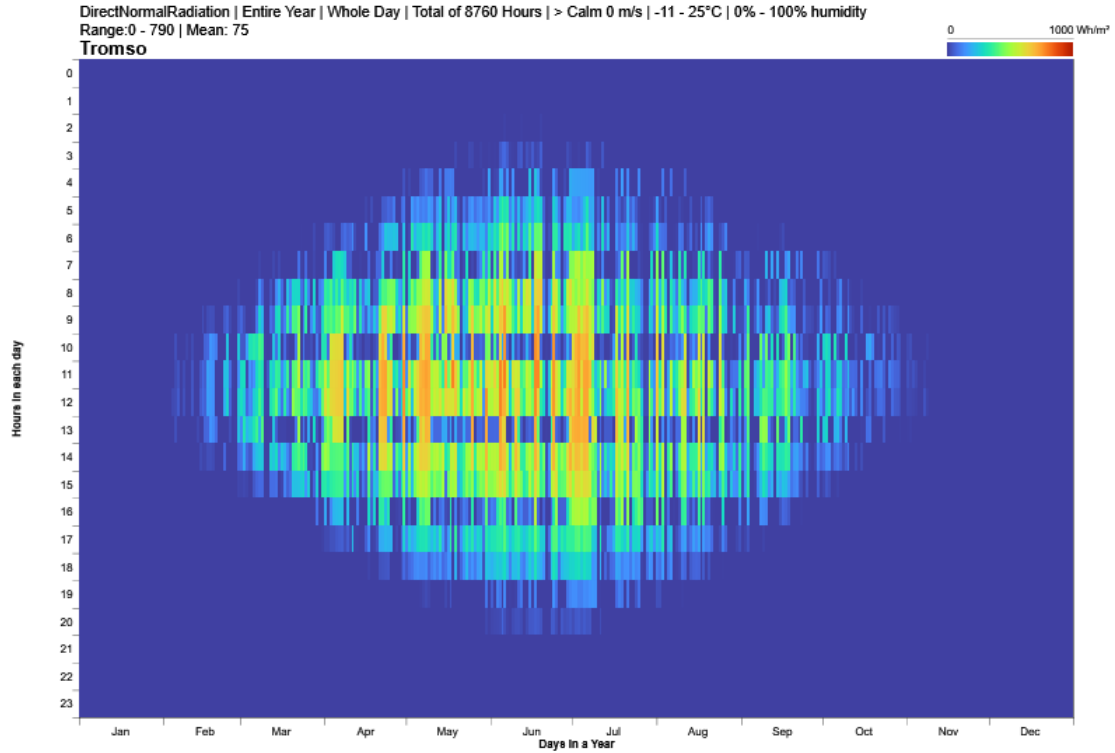
Direkte normal stråling for Oslo viser fra figur 42 et årlig gjennomsnitt på 57,4 Wh/m<sup>2</sup>, og har dermed lavest verdi av de tre byene. Strålingen er mer spredt over året enn for de andre byene, spesielt i forhold til Tromsø. Tromsø har høyest gjennomsnitt på 75 Wh/m<sup>2</sup>, og er veldig konsentrert rundt sommermånedene som figur 44 viser. I januar, november og desember er det ingen observerbar direkte normal stråling på grunn av mørketid. Bergen har en verdi på 71,9 Wh/m<sup>2</sup>, og fra figur 43 er det synlig at april og mai er månedene med høyest strålingsverdi.



Figur 42 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med direkte normal stråling for Oslo.



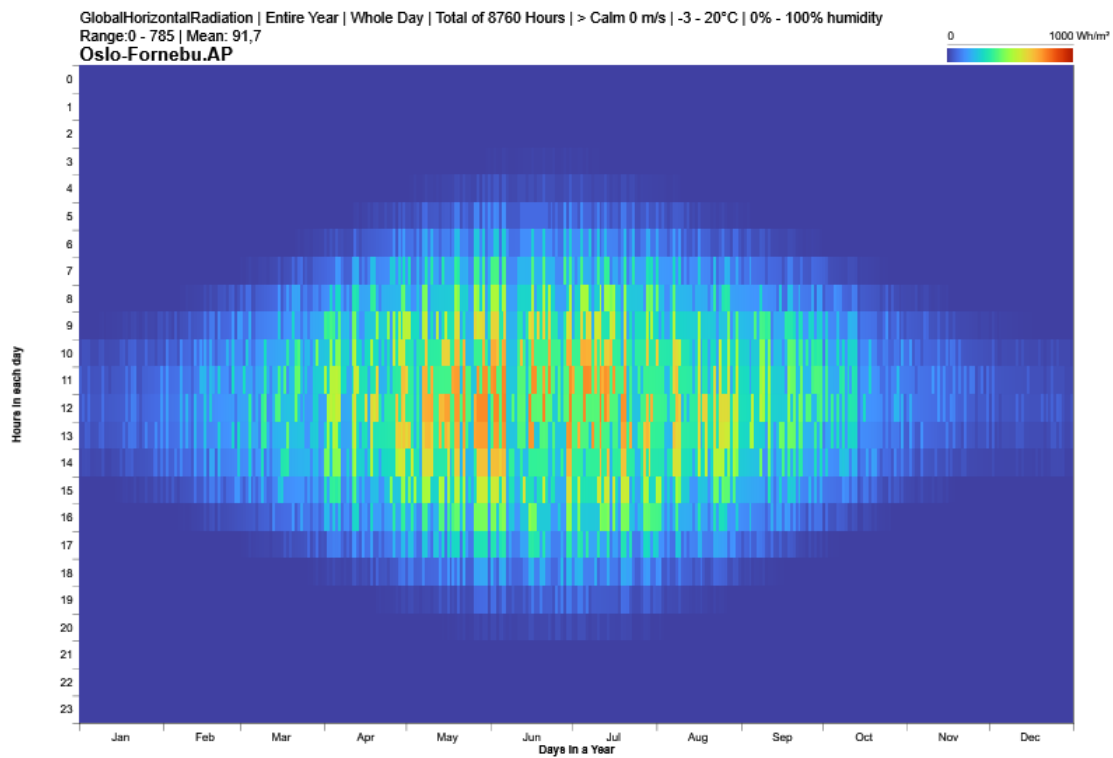
Figur 43 viser utklipp fra ClimateStudio av golvareal med direkte normal stråling for Bergen.



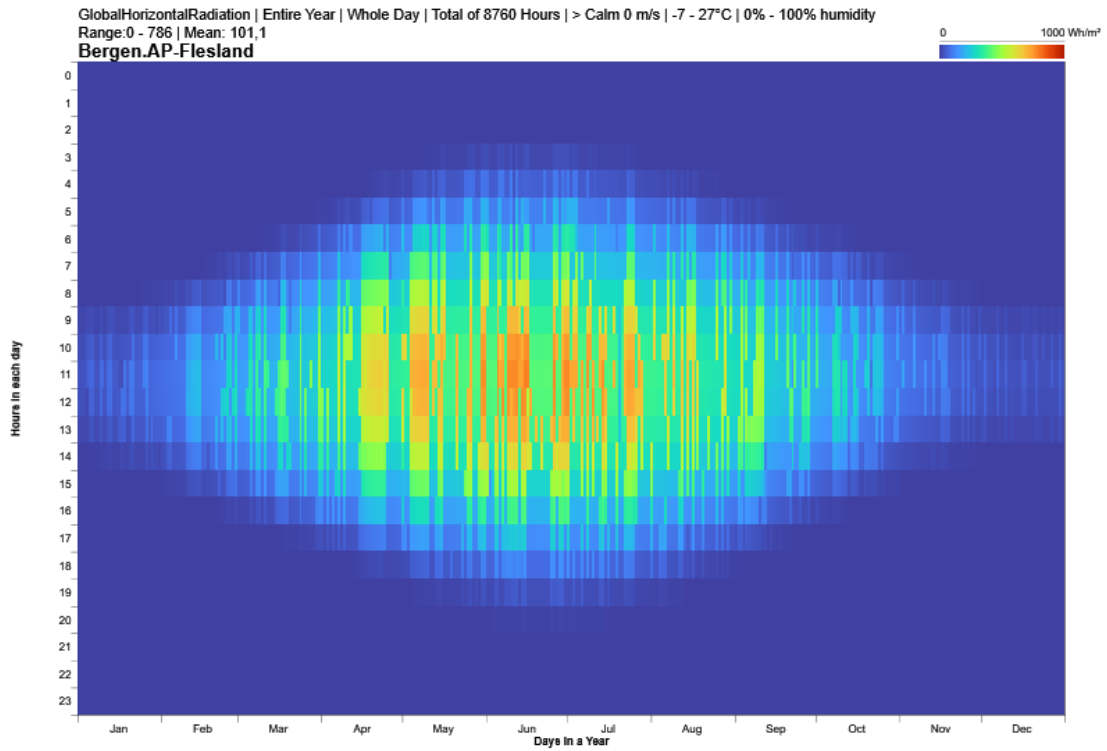
Figur 44 viser utklipp fra ClimateStudio av golvareal med direkte normal stråling for Tromsø.

#### 4.4.2 Global horisontal stråling

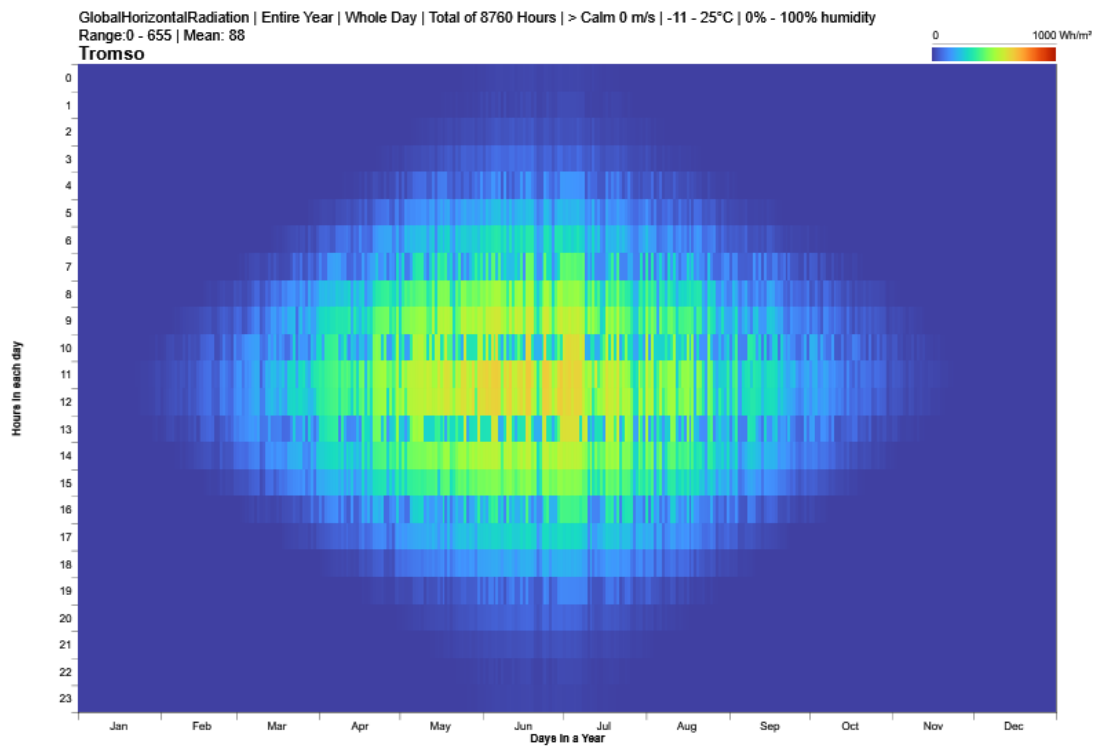
Fra figur 46 er det synlig at Bergen har høyest gjennomsnittlig verdi av global horisontal stråling på 101,1 Wh/m<sup>2</sup>, mens Tromsø har lavest med 88 Wh/m<sup>2</sup> (figur 47). Oslo har noe høyere verdi enn Tromsø på 91,7 Wh/m<sup>2</sup> (figur 45).



Figur 45 viser utklipp fra ClimateStudio av golvareal med global horisontall stråling for Oslo.



Figur 46 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med global horisontall stråling for Bergen.



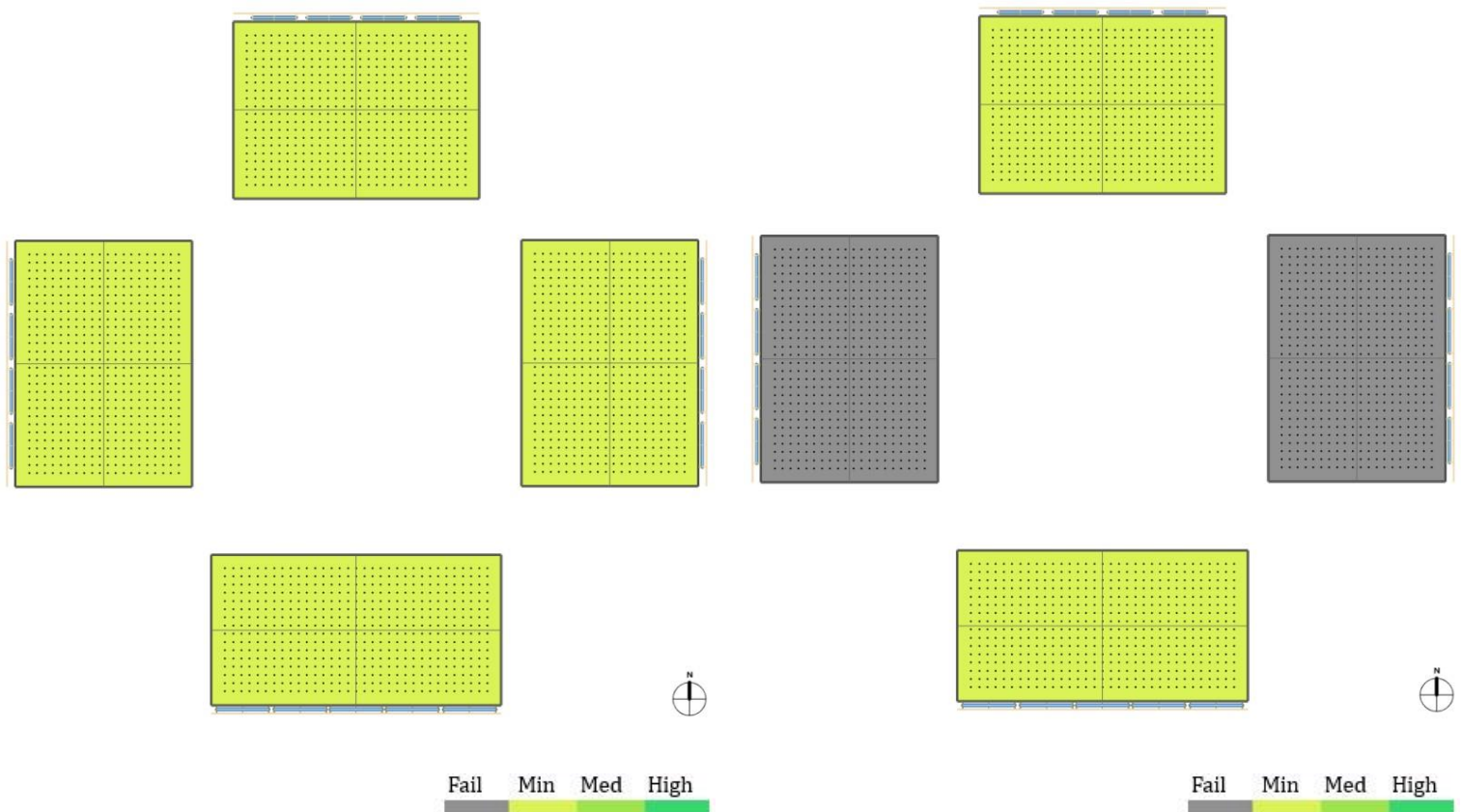
Figur 47 viser utklipp fra ClimateStudio av gulvareal med global horisontall stråling for Tromsø.

## 4.5 Sammenlikning med andre analyseverktøy

Disse simuleringene er gjort med klimadata fra Oslo, og samme design som er brukt under endring 3 (se delkapittel 3.2.2).

### 4.5.1 Simuleringer med EN 17037

Simuleringer gjort med analyseverktøyet i ClimateStudio for den europeiske standarden viser at alle klasserommene oppnår minimumsverdiene på 100 lux for 95% av gulvarealet. Rommet mot nord oppnår høyest prosentandel for både gjennomsnittlig illuminans på 56,3% og minimumsverdi på 67,2%. Det sørvendte rommet oppnår 52,1% for gjennomsnittlig lux, og 62,8% for minimumsverdi. Klasserommene mot øst og vest derimot oppnår ikke kravet til gjennomsnittlig illuminans på 300 lux for 50% av beregningsarealet ettersom de oppnår henholdsvis 48,1% og 49,4%.



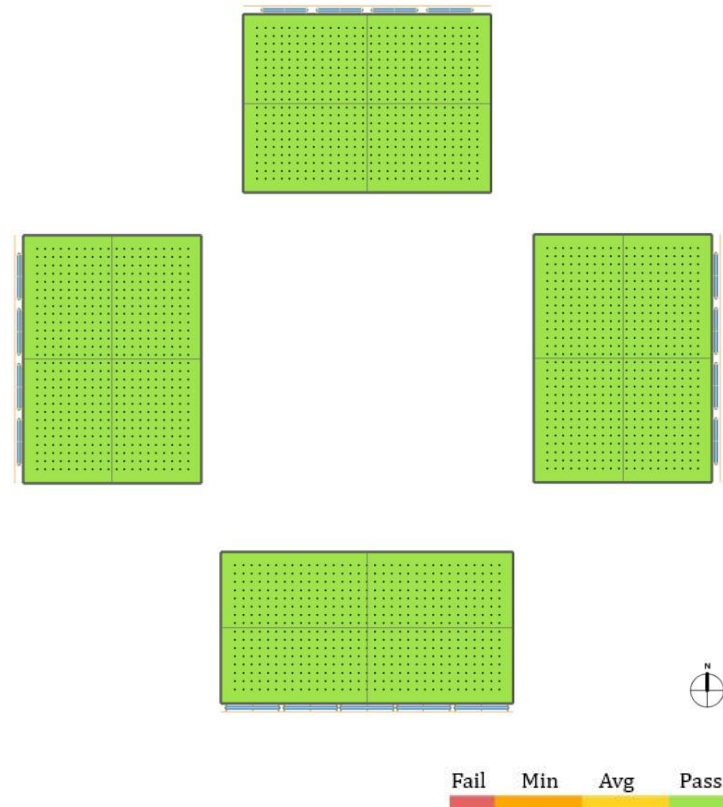
Figur 48 viser utklipp fra ClimateStudio av rom som oppnår minimumsverdi 100 lux for 95% av gulvarealet (venstre), og gjennomsnittlig illuminans 300 lux for 50% av gulvarealet (høyre).

Tabell 18 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	300 lux, 50% (%)	100 lux, 95% (%)
Nord	58,2	Ja	56,3	67,2
Sør	58,3	Ja	52,1	62,8
Øst	58,2	Ja	48,1	58,1
Vest	58,2	Ja	49,4	58,8

#### 4.5.2 Simuleringer med BREEAM UK/Int 4b

Resultatene fra beregningene gjennomført med verktøyet for BREEAM UK/Int 4b viser at alle klasserommene oppnår «pass» ettersom de oppfyller kravene både til gjennomsnittlig- og minimumsverdi av illuminans på over 2000 timer. Rommet mot nord har høyest antall timer, etterfulgt av rommet mot sør. Rommene mot øst og vest har relativ lik fordeling av timer. Den østvendte fasaden har lavere gjennomsnittlig verdi, men oppnår likevel en høyere minimumsverdi enn det vestvendte rommet.



Figur 49 viser utklipp fra ClimateStudio av rommene som oppnår «pass» av BREEAM-evalueringen.

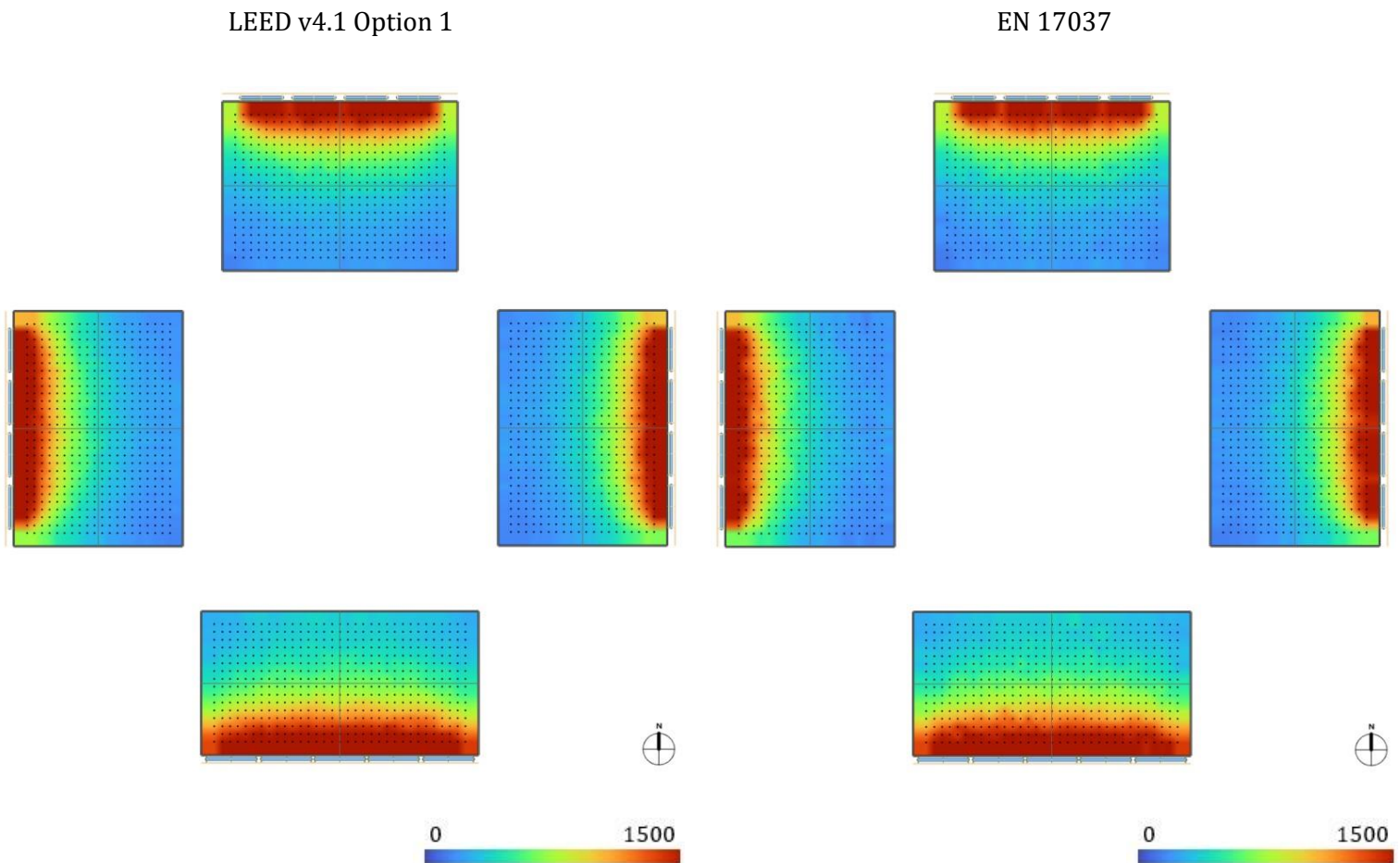
Tabell 19 viser de ulike rommene og resultatene fra simuleringene.

Himmelretning	Størrelse (m <sup>2</sup> )	Solskjerming	Snitt på 300 lux (t)	Min. på 90 lux (t)
Nord	58,2	Ja	2882	2904
Sør	58,3	Ja	2603	2488
Øst	58,2	Ja	2581	2461
Vest	58,2	Ja	2598	2452



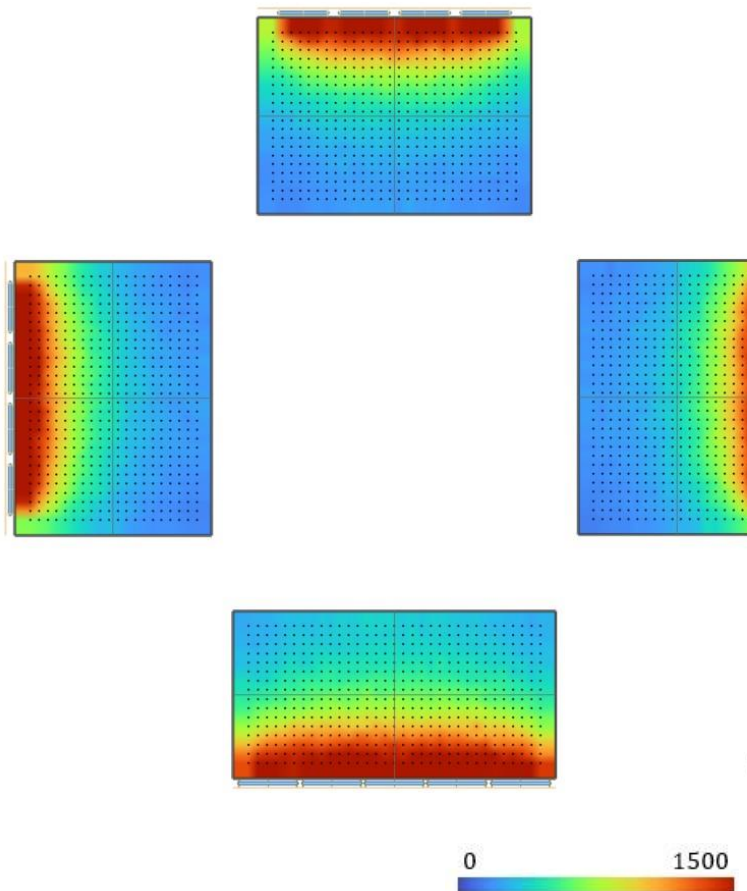
### 4.5.3 Sammenlikning av gjennomsnittlig illuminans

Alle de tre klimabaserte analyseverktøyene simulerer gjennomsnittlig illuminans for alle rommene. Disse resultatene kan bare sammenliknes ut ifra illuminansfordelingen som illustrert på figurene under ettersom de ikke benytter samme måleenheter. Likevel er det observerbart at illuminansfordelingen er relativt lik for de forskjellige beregningsverktøyene.



Figur 50 viser utklipp fra ClimateStudio av gjennomsnittlig illuminans fra beregningene med LEED v4.1 Option 1 (venstre) og EN 17037 (høyre).

## BREEAM



Figur 51 viser utklipp fra ClimateStudio av gjennomsnittlig illuminans fra beregningene med BREEAM.

## 5 Diskusjon

Dette kapittelet har som hensikt å vurdere resultatene fra simuleringene opp mot hverandre og mot teorigrunnlaget for oppgaven. I første delkapittel vil beregningen for gjennomsnittlig dagslysfaktor bli sammenliknet og vurdert opp mot de klimabaserte analysene. Deretter vil detaljeringsgrad og usikkerheter ved ClimateStudio bli drøftet i forhold til hvilken påvirkning dette har for resultatene. I det tredje delkapittelet vil det blir gjort en vurdering av virkningen av refleksjonsfaktor på dagslyskvaliteten og geometri. Til slutt vil det bli gjort en sammenlikning av resultatene fra de tre forskjellige verktøyene LEED v4.1 Option 1, EN 17037 og BREEAM.

### 5.1 Sammenlikning av analyseresultater

Utgangspunktet for basisgeometrien var et design som oppfyller kravet til gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2% i TEK17. Da den samme geometrien ble brukt i en klimabasert analyse uten solskjerming, var det kun rommet mot sør som oppnådde  $sDA_{300,50}$  på over 50% av arealet som er anbefalingen til den europeiske standarden. Uten solskjerming vil 13% av beregningsarealet for det samme rommet være utsatt for blending. Dette viser at ved å gjøre en beregning med gjennomsnittlig dagslysfaktor og CIE overskyet himmel, så vil ikke bare belyningsstyrken feilaktig vurderes til å være sterkere enn den egentlig er, men tilfeller med direkte sollys som følge av variasjoner i klima og geografiske forhold vil ikke bli vurdert og lagt til rette for. For et rom som benyttes til å utføre arbeidsoppgaver vil det være svært usannsynlig at det prosjekteres uten solskjerming, da spesielt med vinduer på en sørfasade.

Det er i tillegg store kontraster på dagslyskvaliteten med hensyn på de ulike himmelretningene under beregninger med klimabasert metode. Dette er noe som gjennomsnittlig dagslysfaktor ikke tar høyde for. Bakgrunnen for dette er at CIE overskyet himmel er isotropisk og tre ganger sterkere i senit enn i horisonten. Dette er beskrevet mer utdypende under delkapittel 2.5.1 under teori. Gjennom alle de klimabaserte simuleringene er ikke rommet mot nord utsatt for blending, og får dermed høyest  $sDA$ -verdi når solskjerming blir tatt med i beregningene. Det samme sørvendte rommet som hadde  $sDA$  på over 50% når solskjermingen ikke var med i simuleringen, endte opp med kun 15%  $sDA$  med forutsetning om solskjerming. For rommene mot øst og vest var den samme tendensen observerbar;  $sDA$  sank med 10% for begge himmelretningene ved bruk av solskjerming.

For å oppnå  $sDA$ -verdier som tilfredsstillt kravene som stilles i NS-EN 17037, ble det gjort ulike designendringer. For rommene mot nord, øst og vest var samme endring i vindusareal nok til å oppfylle kravene. Vindusstørrelsen ble økt fra 1,2 x 1,4 meter, til 1,6 x 1,8 meter, og resulterte i at  $sDA$  for rommet mot nord økte nesten dobbelt så mye. Dette henger sammen med at solskjermingen ikke behøvde å aktiveres ettersom gulvarealet ikke blir utsatt for blending. ASE økte betraktelig for rommene mot vest og øst, men selv med solskjermingen aktivert oppnådde begge arealene over 50%  $sDA$ . Rommet med størst utforming forble fortsatt rommet mot sør. Ettersom sørvendte fasader mottar mest direkte sollys, vil ASE øke i takt med  $sDA$ , noe som var observerbart gjennom alle analysene. Dette viser at dype klasserom ikke vil kunne oppnå kravet som NS-EN 17037 stiller.

For å undersøke om det i det hele tatt var mulig å oppnå kravet mot sør, ble dybden på rommet redusert og 74% av fasadeveggen ble gjort om til glass. Dette gjorde at sDA endte på 59,7%, men ga samtidig ASE på 61,9%. Selv om sDA endte opp på over 50%, var det ikke med stor margin. Det ble likevel forsøkt å gjøre om glassfasaden til fem vinduer av størrelse 1,9 x 1,9 meter. Til tross for at arealet av glass utgjorde over halvparten av fasadeveggen, endte sDA på 45,6%. Disse resultatene viser hvor utfordrende det kan være å oppnå kravene selv med et «perfekt» klasserom. I denne modellen er flere avgjørende faktorer for dagslyskvalitet sett bort ifra, slik som skjermede omgivelser, bygningsutkragninger, fasadeutforming, rominnredning og rominnredning. Dette er faktorer som vil gjøre det vanskeligere å oppnå høyere dagslyskvalitet i rommet.

En annen faktor som heller ikke har blitt tatt med i betraktning er sammenhengen mellom termisk inn klima, energieffektivitet og dagslys. Med bruk av fem vinduer på 1,9 x 1,9 meter og ASE på nesten 50% vil både energibruken og termisk komfort bli påvirket. Store glassflater vil kunne påvirke energitap gjennom vinduene, og føre til overoppvarming av rommet om sommeren og kaldras om vinteren. Derfor vil designvalg med så store vinduer kreve mer avanserte simuleringer for å undersøke hvordan dagslys, termisk inn klima og energieffektivitet påvirkes av hverandre. For å kunne gjennomføre slike beregninger, kreves det både avanserte og kostbare analyseverktøy, men også fagfolk med kompetanse til å forstå programmet. Dette reiser spørsmål om hvor avanserte dagslysberegninger bør være for bygningsingeniørene eller arkitektene som vanligvis gjennomfører disse beregningene.

Gjennomsnittlig dagslysfaktor tar ikke hensyn til geografisk plassering og lokalt klima. Fra resultatene med Bergen og Tromsø er det tydelig at blanding fra direkte sollys blir et større problem lenger vest og nord i landet. Fra stedsanalysene ble det observert at Tromsø har høyest årlig gjennomsnittsverdi av direkte normal stråling på 75 Wh/m<sup>2</sup>, etterfulgt av Bergen med 71,9 Wh/m<sup>2</sup>. Oslo derimot, har en enda lavere verdi på 57,4 Wh/m<sup>2</sup>. Dette kommer blant annet av at solhøyden er lavere i Tromsø enn den er i Oslo, og dermed vil en større andel av solstrålene skinne rett inn i rommet. Direkte normal stråling måles på en flate som står normalt på strålene, og verdien ser bort ifra diffus stråling fra atmosfæren. Styrken på den direkte strålingen avhenger av atmosfæreforholdene, skydekke, luftfuktighet og vinkel på solhøyden. Denne verdien varierer dermed over hele året, gjennom dagen og ved ulike geografiske plasseringer fordi avstanden til solen varierer.

Den globale horisontale strålingen har høyest verdi i Bergen med et gjennomsnitt på 101,1 Wh/m<sup>2</sup>, mens Oslo har snitt på 91,7 Wh/m<sup>2</sup>. Den globale horisontale strålingen tar hensyn til både direkte normal stråling og diffus stråling fra atmosfæren. Den diffuse strålingen blir målt på en horisontal flate fra alle punkter i himmelen. I Tromsø er den globale horisontale strålingen 88 Wh/m<sup>2</sup>, og 85% av dette kommer fra direkte normal stråling fra solen. Til sammenlikning, utgjør den direkte normale strålingen i Oslo bare 63%. Dette har stor påvirkning på dagslyskvalitet og bruk av solskjerming, og bør legges til grunn for designvalg. Den direkte normale strålingen blir ignorert i beregningsmetoden med gjennomsnittlig dagslysfaktor, og gir et misvisende resultat for simuleringer som blir gjort andre steder i Norge hvor dagslyskildene ser annerledes ut.

## 5.2 Usikkerheter ved ClimateStudio

Alle beregningsmetoder har en viss usikkerhetsgrad i seg på grunn av små nøyaktighetsfeil under simuleringene. For å undersøke om detaljeringsgraden av simuleringene har noe å si for nøyaktigheten, ble det gjennomført en simulering av geometrien under endring 3 med høyere detaljeringsgrad. Selv med høyere detaljeringsgrad, ble resultatet det samme med kun små avvik som skyldes at det benyttes strålinger for beregningene. Dette innebærer at strålene vil treffe tilfeldig for hver prøve. Når samme modell kjøres gjennom en ny simulering, kan derfor nøyaktigheten i resultatet variere i noen grad. Når detaljeringsgraden er høy, vil til slutt resultatet nærme seg en sann verdi. Default-verdiene i ClimateStudio er allerede satt til en høy nok detaljeringsgrad for å oppnå en sann verdi. En pdf-fil med resultatet fra denne simuleringen er lagt med som vedlegg, men har ikke fått et eget delkapittel under resultater ettersom det ikke var merkbare avvik fra resultatene med default-verdiene.

En svakhet ved LEED v4-simulering med solskjerming i ClimateStudio er at den kun kommer i form av to valg; operativ duk eller dynamisk glass. Når solskjerming aktiveres, vil den operative duken være helt lukket eller helt åpen. Dette påvirker mengden dagslys som trenger inn i rommet, og gjør at sDA-verdien blir lavere. I dag benyttes persienner i flere klasserom og andre arbeidsrom. Bruk av persienner tillater en større andel dagslys å trenge inn i rommet samtidig som risikoen for blanding fra direkte sollys blir redusert. Dersom det hadde vært mulig å simulere med persienner i ClimateStudio ville kanskje resultatene for sDA vært høyere, og det hadde ikke vært nødvendig med så store vindusarealer for å imøtekomme kravene i NS-EN 17037.

En artikkel publisert av Tekna viser at det har blitt gjennomført beregninger for kontorlandskap med ulike strategier for solskjerming innenfor tidsrommet 08-16. Resultatene fra disse beregningene viste at energibehov for elektrisk belysning uten solskjerming var 11,5 kWh/m<sup>2</sup>år for det gitte eksempelet. Ved bruk av solskjerming hele tiden økte behovet til 79%. Om det derimot benyttes automatisk solskjerming vil behovet øke med 48% fra ingen solskjerming (Lavenergiprogrammet, 2021). Når dette tas i betraktning i forhold til resultatene i denne oppgaven, kan analyser hvor det kun er mulig å beregne med bruk av solskjerming hele tiden eller ingen bruk i det hele tatt ha stor påvirkning på energieffektiviteten for rommet.

En annen ulempe med den dynamiske solskjermingen er at den kun plasseres på innsiden av vinduet. Dette kan få store konsekvenser for termisk inn klima ved at overflatetemperaturen på solskjermingen kan bli svært høy, noe som kan føre til at områdene rett ved fasadeveggen kan oppleves som veldig varme (Lavenergiprogrammet, 2021).

### 5.3 Refleksjonsfaktorer og dagslyskvalitet

Resultatene fra beregningene med ulike refleksjonsfaktorer viste store forskjeller i kvaliteten på dagslys i rommene. TEK17 stiller ingen krav til hvilke refleksjonsverdier som skal benyttes ved simuleringene, og ettersom ulike manualer og veiledere anbefaler ulike krav så praktiseres dette forskjellig.

RIF, NS-EN17037 og Svanemerket 4.2 foreslår samme standardverdier dersom spesifikke refleksjonsverdier for overflatematerialene i et prosjekt ikke er kjent, som for eksempel i tidlig fase. NS-EN 17037 og Svanemerket 4.2 gir intervaller som tillater mer optimistiske verdier, der sistnevnte godtar faktorer opp mot 90% for innervegger og er dermed høyere enn anbefalingene til EN 17037 som er 80%. BREEAM opererer også med høyere refleksjonsverdier, men benytter kun standardverdier, og angir 50% for innervegger. Forskjellen i refleksjonsverdiene på veggene viste seg å ha stor betydning. Med 80% refleksjonsfaktor på veggene var sDA-verdien godt innenfor 50%-kravet for alle himmelretningene. Selv rommet mot sør oppnådde en sDA på 68%. Ved bruk av BREEAM sine anbefalinger ble det benyttet 50% refleksjonsfaktor på veggene, men det sørlige rommet nådde akkurat ikke kravet med 49,6% sDA. Likevel økte rommene mot nord, øst og vest sDA-verdiene betraktelig, noe som tyder på at de optimistiske verdiene som ble brukt på himlingen og innvendig gulv bidro til bedre dagslystilgang. Størst påvirkning ser det imidlertid ut til at innerveggene vil ha, da kontrastene mellom resultatene for BREEAM og Svanemerket 4.2 var såpass store.

Dersom dagslysberegninger blir gjort med optimistiske verdier i tidlig fase av et prosjekt, kan det ferdige prosjektet risikere at dagslyskvaliteten ikke blir like god som antatt hvis overflatematerialene ender opp med refleksjonsfaktorer nærmere standardverdier. Dette kan føre til at designet ikke blir praktisk løsbart. Dersom simuleringene blir gjort med for pessimistiske refleksjonsverdier, kan en ende opp med å gjøre omfattende designendringer som det i realiteten ikke er behov for.

## 5.4 Sammenlikning av analyseverktøy

ClimateStudio har også analyseverktøy for BREEAM og EN 17037. Oppsettet for disse og LEED v4.1 Option 1 er relativt lik, der det velges klimasted og materialer. Likevel gir disse tre beregningsmetodene svært ulike resultater i forhold til hvilke rom som oppfyller kravene som stilles. Mulige årsaker til dette kan være at LEED v4.1 Option 1 bruker klimabaserte simuleringer fra flere tusen forskjellige himmelforhold gjennom hele året og simulerer etter LM-83 tidsplanen som er innenfor tidsrommet 08-18 hver dag. Ulempen med LM-83 tidsplanen er at den simulerer også for helgene, og da er som regel ikke klasserommene i bruk. I tillegg vil de nordiske landene få dårligere resultat om vinteren når det er færre timer med dagslys, og dette telles for den totale vurderingen av rommet. Fordelen derimot, er at de simulerte timene er relevante i forhold til når klasserommene benyttes.

I motsetning til EN 17037 og BREEAM, vurderer LEED v4.1 Option 1 ASE i tillegg til illuminans og sDA. Dette gjør at områder som er utsatt for direkte sollys over 1000 lux kan bli oppdaget og kontrollert slik at det ikke oppstår utfordringer med blanding og termisk inneklima. Selv om ASE ikke beregner DGP, kan den gi en indikasjon på områder som må ha solskjerming. EN 17037 og BREEAM simulerer ikke med operativ solskjerming. I tillegg illustrerer dette analyseverktøyet hvor store områder av rommet som oppnår kravet til sDA og hvilke områder som er påvirket av ASE. Hverken EN 17037 og BREEAM illustrerer hvilke deler av rommet som oppnår kravet eller ikke, ettersom det benyttes en jevn farge over hele rommene. Disse observasjonene ligger til grunn for valget av LEED v4.1 Option 1 som analyseverktøy for denne oppgaven.

Etter å ha sammenliknet visualiseringene av gjennomsnittlig illuminans fra de tre ulike verktøyene under delkapittel 4.5.3, ser det ut til at de er relativt like. Ettersom EN 17037 og BREEAM ikke gir oppgir illuminansen i lux, slik LEED v4.1 Option 1 gjør, er det ikke mulig å sammenlikne verdiene opp mot hverandre. Dette kan likevel tyde på at det er utvelgelse at simuleringstimer som gir forskjellige måloppnåelser.

EN 17037 analyserer modellen direkte opp mot kravene som stilles i EN 17037. Dette verktøyet beregner hvor stor prosentandelen av rommet som når «target level» og «minimum level» av illuminansen for hver time gjennom året. Klimadatafilene inneholder totalt 8760 verdier av horisontal diffus stråling, som blir rangert fra lavest verdi til høyest. Av disse blir 4380 timer med de høyeste verdiene av diffust lys fra himmelen valgt ut og brukt i beregningen. Dermed kan de utvalgte timene risikere å være irrelevante i forhold til når rommene faktisk er i bruk. Som nevnt under delkapittel 3.4.4 må minst 50% av sensorene motta gjennomsnitts- og minimumsverdien av illuminans for at hele rommet skal være godkjent. Dette må være tilfelle for minst 50% av de utvalgte timene i beregningen for at hele rommet skal være innenfor kravet. For LEED v4.1 Option 1 og BREEAM holder det med at hver individuell sensor møter kravene for 50% av brukstiden ( (Solemma (4), 2020); (Solemma (2), 2020)).

Analyseverktøyet for BREEAM har et lavere minimumskrav enn EN 17037 på 90 lux. I tillegg blir beregningene vurdert ut ifra antall timer hvor gjennomsnittlig og minimumsverdi av illuminansen blir oppnådd. Antallet timer som må oppnå disse verdiene er 2000 over et helt år. Dette er mindre enn halvparten av timene som blir brukt i analyseverktøyet for EN 17037, noe som kan være en mulig forklaring på hvorfor resultatene for alle rommene blir såpass gode.

## 6 Konklusjon

Denne oppgaven har hatt som formål å undersøke om klimabaserte dagslysanalyser er relevant for bransjen i dag. Ved bruk av tegneprogrammet Rhino 7 og analyseverktøyene i ClimateStudio for dagslysfaktor, klimabaserte analysemodeller og stedsanalyser har beregningsdata blitt sammenliknet og vurdert opp mot hverandre og mot krav som stilles i den europeiske standarden NS-EN 17037 og de grønne manualene BREEAM og Svanemerket.

Første forskningsspørsmål var som følger:

*«Hvilken påvirkning har klimabaserte analyser på bygningsdesign?»*

Etter å ha gjort en klimabasert analyse av et rom som oppfyller TEK17-krav til minimum 2% gjennomsnittlig dagslysfaktor, ble det klart at designet ikke var godt nok for å tilfredsstille kravene som NS-EN 17037 stiller til beregninger gjennomført med klimadata og illuminansnivå. Dette ble enda tydeligere ved bruk av solskjerming som GDF ikke tar hensyn til. Ettersom det kun var ett enkelt klasserom som ble analysert, ble det sett på noen utvalgte designendringer. Alle rommene i de ulike himmelretningene behøvde større vindusareal for å oppfylle  $sDA_{300,50}$  på 50% av beregningsarealet når anbefalte refleksjonsverdier fra RIF ble benyttet.

Vindusarealer på fasader som er rettet mot nord har bedre forutsetninger for å oppnå god dagslystilgang ettersom blanding ikke var et problem, dermed holdt det med å kun forstørre vinduene. Rommene med fasade mot øst og vest oppnådde ikke like god dagslystilgang som rommet mot nord ettersom det var større utfordringer med blanding. Likevel kom begge disse rommene også innenfor kravene med samme design som mot nord. Den største utfordringen oppstår med sørfasaden som oppnår høyere verdier av  $ASE_{1000,250h}$  og må benytte solskjerming i et større tidsrom for å unngå problemer med blanding. Det ble observert at dybden på rommet måtte reduseres, og selv med fem vinduer på 1,9 x 1,9 meter var ikke rommet innenfor kravet. Det var kun når 74% av fasaden bestod av glass at rommet oppfylte 50%-kravet med sDA. Dette skaper imidlertid andre utfordringer i forhold til energieffektivitet, termisk inneklima og økonomisk lønnsomhet. Bruk av standard og optimistiske refleksjonsverdier ga også store forskjeller i forhold til hvordan rommene presterte med dagslystilgangen. Høyere refleksjonsverdier gir en klar fordel under beregningene da det ikke ble like mye behov for store vindusarealer for å oppfylle kravene.

De forskjellige verktøyene for klimabaserte analyser ga ulike resultater. Med LEED v4.1 Option 1 oppnådde alle rommene utenom sør  $sDA_{300,50}$  for 50% av rommet. BREEAM krediterte alle rommene med «pass» og to poeng, mens EN 17037 kun godkjente nord og sør opp mot gjennomsnitt- og minimumsnivå for illuminans. Fra resultatene ble det klart at LEED v4.1 Option 1, EN 17037 og BREEAM i ClimateStudio har ulike forutsetninger for beregningene, som i sin tur påvirker hvilke rom som oppnår kravene som stilles. BREEAM vurderte med lavere minimumsverdier for illuminans enn de to andre. I tillegg tar de bare med halvparten så mange timer i beregningene som EN 17037 gjør. EN 17037 velger ut 4380 timer av totalt 8760, hvor det er kun timene med høyest verdi av horisontal diffus stråling og dermed risikerer å velge ut timer som ikke er relevant for brukstiden. LEED v4.1 simulerer innenfor tidsrommet 08-18, og beregner for flere tusen forskjellige himmelforhold. Dette kan være en forklaring på hvorfor de klimabaserte analysene ga ulike resultater.



Det andre forskningsspørsmål var:

*«Hvordan varierer dagslysressursen geografisk?»*

Dette forskningsspørsmålet ble undersøkt både gjennom innsamling av teori for vær og klima i Norge, hvilken påvirkning geografi har for dagslysressursen, solens bane i de utvalgte byene om sommeren og vinteren, samt fordeling av direkte normal stråling og global horisontal stråling.

Resultatet fra stedsanalysene viste at solhøyden varierer mellom de ulike byene, og at dette påvirker hvor mye direkte stråling fra solen som kommer inn i rommene. Tromsø har høyest andel direkte normal stråling, som utgjør 85% av den globale horisontale strålingen. Denne verdien var langt høyere enn for Oslo. Bergen har både høyere global horisontal stråling og direkte normal stråling enn Oslo. Bakgrunnen for dette forskningsspørsmålet er at Oslo benyttes som utgangspunkt for beregningene som gjøres med GDF i dag. Disse resultatene viser at himmelforholdene varierer stort mellom ulike steder i landet.

Det siste forskningsspørsmålet var:

*«Hvilke konsekvenser har denne dagslysressursen for bygningsdesignet?»*

Dette forskningsspørsmålet ble forsøkt besvart ved å gjennomføre beregninger for Tromsø og Bergen med samme design som ble benyttet i Oslo. Fra resultatet i Oslo var det allerede klart at selv med store vinduer som utgjorde 55% av fasadeveggen, ikke var nok for å oppfylle kravet i NS-EN 17037. Dette ble imidlertid enda vanskeligere i Bergen og Tromsø. Fra forrige forskningsspørsmål ble det klart at en stor del av strålingen i Tromsø kommer fra direkte normal stråling, og dette ble synlig i simuleringene av klasserommet. Prosentandelen med ASE var over fire ganger så høy som i Oslo, og sDA ble kun halvparten så høy som i Bergen. Dette kommer av at solskjermingen må benyttes i en større andel av tidsrommet det beregnes for.

For Bergen hadde klasserommet mot nord enda høyere sDA-verdi enn Oslo. Dette gjør at vindusarealet kan reduseres i denne himmelretningen. Det vestvendte rommet derimot var mer utsatt for blanding, noe som også kunne observeres i Tromsø i enda høyere grad. Når en kun ser på enkle designvalg som i denne oppgaven, vil dagslysressursen skape utfordringer med blanding og termisk inn klima ved bruk av for store vindusarealet. Samtidig vil mindre vindusarealer gi dårligere tilgang på dagslys og lavere sDA-verdier.

Opgavens funn viser at det er store forskjeller mellom resultatene som oppnås med gjennomsnittlig dagslysfaktor og klimabaserte dagslysanalyser. Den viser også at dagslysressursen varierer over landet, og at dagslysressursen har påvirkning på dagslyskvaliteten i rommene.

## 7 Videre arbeid

Som nevnt innledningsvis for denne oppgaven, er det mange faktorer som påvirker dagslyskvaliteten. Det er gjort en del avgrensninger for at oppgaven skulle være gjennomførbar innenfor det tidsrommet som er til rådighet. På grunn disse avgrensningene er det muligheter for å gjennomføre videre undersøkelser hvor flere faktorer blir tatt i betraktning, blant annet med et større bygg og skjermede omgivelser.

Det ble observert store forskjeller i dagslystilgangen mellom de tre byene. Dermed kan det være nyttig å undersøke videre om kravene som stilles til dagslys bør være tilpasset etter lokalt klima og geografisk plassering, og eventuelt hvilke sosiale og økonomiske kostnader dette vil gi for byggeprosjekter.

Med tanke på hvor vanskelig det var å oppfylle  $sDA_{300,50}$  for 50% av arealet i klasserommet mot sør, kunne det vært også vært aktuelt å se på om det bør anbefales høyere refleksjonsverdier for rom med sørvendt fasader der solskjermingen ofte er aktiv.

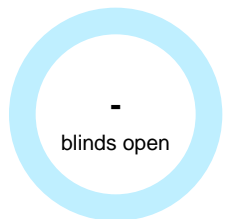
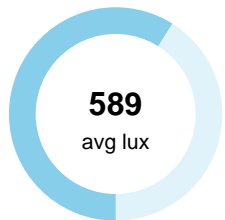
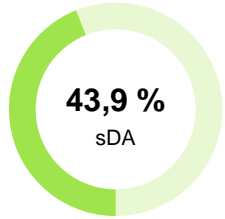
## 8 Litteratur

- Akshay. (2022, November 23). *Solar Irradiance Concepts: DNI, DHI, GHI & GTI*. Hentet fra Republic Of Solar: <https://arka360.com/ros/solar-irradiance-concepts/>
- Bjørklid, F. (2023, November 29). *Luminans*. Hentet fra Wikipedia.no: <https://no.wikipedia.org/wiki/Luminans>
- Boubekri, M. (2020, Mai 6). *The Impact of Optimized Daylight and Views on the Sleep Duration and Cognitive Performance of Office Workers*. Hentet fra National Library of Medicine: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7246601/>
- Byggforsk.no. (2018, Oktober 31). *421.626 Beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor og glassareal*. Hentet fra byggforsk.no: [https://www.byggforsk.no/dokument/3055/beregning\\_av\\_gjennomsnittlig\\_dagslysfaktor\\_og\\_glassareal](https://www.byggforsk.no/dokument/3055/beregning_av_gjennomsnittlig_dagslysfaktor_og_glassareal)
- Dannevig, P., & Harstveit, K. (2022, Oktober 2022). *Klima i Norge*. Hentet fra Store Norske Leksikon: [https://snl.no/klima\\_i\\_Norge](https://snl.no/klima_i_Norge)
- Daylight & Architecture. (2022, Desember). *Climate-based daylight simulations with VELUX Daylight Visualizer*. Hentet fra daylightandarchitecture.com: <https://www.daylightandarchitecture.com/climate-based-daylight-simulations-with-velux-daylight-visualizer/>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017, September 15). *§13-7 Lys*. Hentet fra Dibk.no: [https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/v/13-7?\\_t\\_q=dagslys](https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/v/13-7?_t_q=dagslys)
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020, Oktober 01). *Kapittel 1 Felles bestemmelser*. Hentet fra dibk.no: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/1/1-3>
- Dubois, M., Gentile, N., Laike, T., Bournas, I., & Alenius, M. (2019). *Daylighting and lighting under a nordic sky*. Studentlitteratur.
- Gemini.no. (u.d.). *Solinnstråling*. Hentet fra Gemini.no - Forskningsnytt fra NTNU og SINTEF: <https://gemini.no/2018/03/hvor-godt-virker-egentlig-solceller-i-nordisk-klima/solinnstraling/>
- Grønn Byggallianse. (2023, November 21). *BREEAM-NOR v6.1 for nybygg*. Hentet fra byggalliansen.no: [https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2024/01/BREEAM-NOR-v6.1\\_NOR.pdf](https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2024/01/BREEAM-NOR-v6.1_NOR.pdf)
- Harstveit, K. (2021, Mai 18). *Polarklima*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/polarklima>
- Hunter Douglas Architectural. (u.d.). *SheerWeave 2390*. Hentet fra Hunter Douglas Architectural: [https://assets.hunterdouglasarchitectural.com/documents/fabricGroups/12/SW2390\\_FabSpecSheet.pdf](https://assets.hunterdouglasarchitectural.com/documents/fabricGroups/12/SW2390_FabSpecSheet.pdf)
- Lavenergiprogrammet. (2021, Januar 9). *Solskjerming og energiberegninger*. Hentet fra Tekna.no: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/solskjerming-og-energiberegninger/>

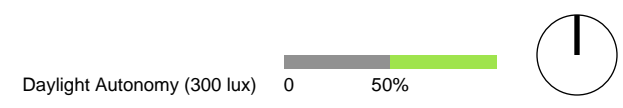
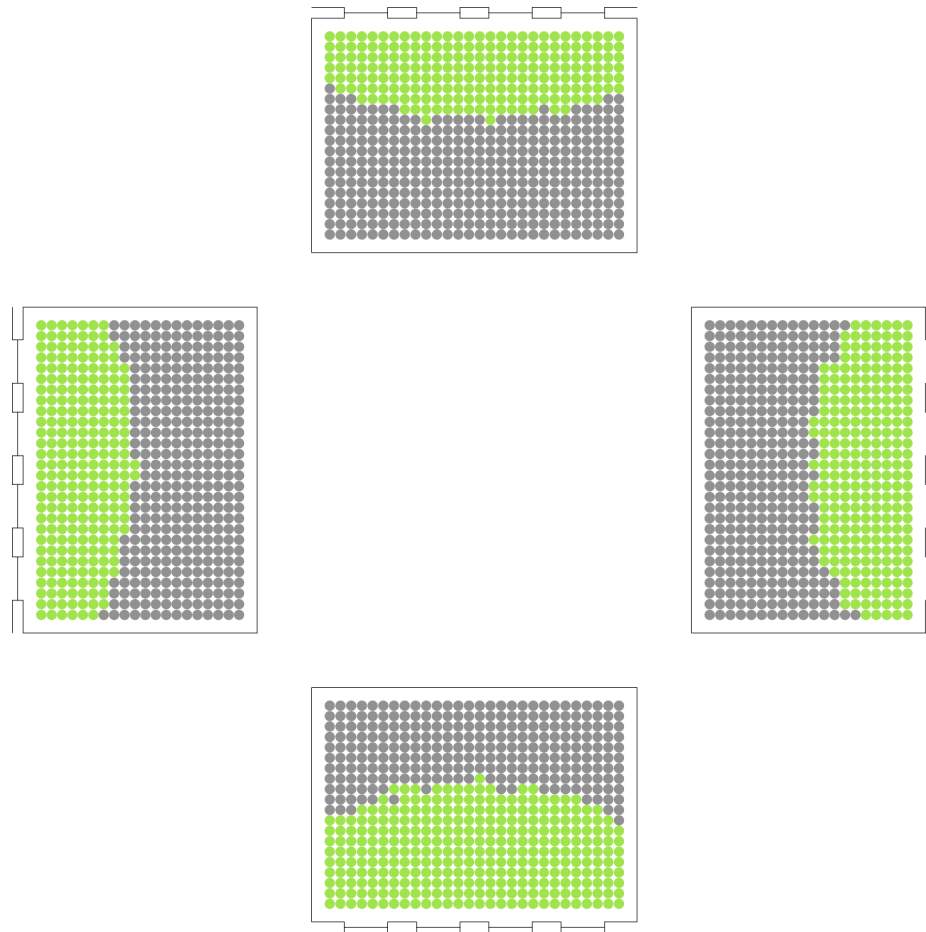
- Linshang Technology. (2019, April 23). *SHGC, TSER, SC and G-value*. Hentet fra Linshangtech.com: <https://www.linshangtech.com/tech/tech95.html>
- Nordisk Miljømerking. (2024, Mars 21). *Svanemerkets krav til bygg*. Hentet fra svanemerket.no: <https://svanemerket.no/krav/bygg/>
- Norsk Standard. (2021, September 04). *online.standard.no*. Hentet fra NS-EN 12464-1:2021 Lys og belysning: <https://online.standard.no/nb/ns-en-12464-1-2021>
- Reinhart, C. (2018). *Daylighting Handbook II*. Waterhouse Cifuentes Design.
- Reinhart, C., & Wienold, J. (2011). *The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces*. Elsevier Ltd.
- Robert McNeel & Associates. (u.d.). *Features*. Hentet fra rhino3d.com: <https://www.rhino3d.com/features/>
- Rosvold, K. A. (2018, Januar 31). *Belysningsstyrke*. Hentet fra SNL.no: <https://snl.no/belysningsstyrke>
- Rådgivende Ingeniørers Forening. (2020, Februar 11). *Dagslys i bygninger*. Hentet fra rif.no: <https://rif.no/her-finner-du-dagslysveilederen/>
- Solemma (1). (2020). *Blinds*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/blinds.html?highlight=blinds>
- Solemma (2). (2020). *BREEAM Daylight 4b*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightBREEAM4b.html>
- Solemma (3). (2020). *EN 17037 Daylight Provision*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightEN17037.html>
- Solemma (4). (2020). *LEED v4 Daylight Option 1*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightLEEDOpt1.html>
- Solemma (5). (2020). *LEED v4 Daylight Option 2*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightLEEDOpt2.html>
- Solemma (6). (2020). *Occupied Areas*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/occupiedAreas.html>
- Solemma (7). (2020). *Path-tracing Settings*. Hentet fra climatestudiodocs.com: <https://climatestudiodocs.com/docs/pathTracingSettings.html>
- Solemma (8). (2023). *ClimateStudio*. Hentet fra solemma.com: <https://www.solemma.com/climatestudio>
- Solemma (9). (2023). *Is ClimateStudio Accurate?* Hentet fra solemma.com: <https://www.solemma.com/climatestudio/accuracy>
- Standard Norge. (2022, Januar 12). *NS-EN 17037:2018+A1:2021*. Hentet fra online.standard.no: <https://online.standard.no/nb/ns-en-17037-2018a1-2021>
- USGBC (1). (u.d.). *Daylight - Indoor Environmental Quality*. Hentet fra usgbc.org: <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-schools-new-construction-retail-new-construction-data-centers-new-9>
- USGBC (2). (u.d.). *LEED v4.1*. Hentet fra usgbc.org: <https://www.usgbc.org/leed/v41>


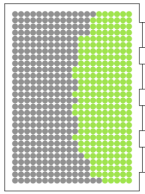
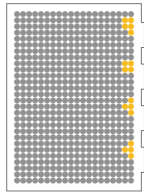
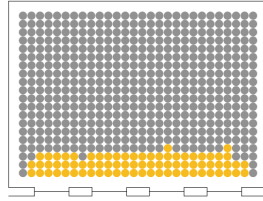
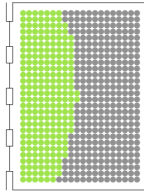
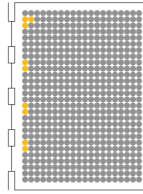
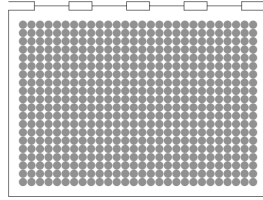
- VELUX (1). (u.d.). *1.2 Daylighting*. Hentet fra VELUX.com: <https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/daylighting>
- VELUX (2). (u.d.). *1.3 Daylighting quality*. Hentet fra VELUX.com: <https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/daylighting-quality>
- VELUX (3). (u.d.). *Daylight and energy efficient design*. Hentet fra velux.com: <https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/daylight>
- VELUX Commercial. (u.d.). *Hvorfor er dagslys så viktig i skoledesign?* Hentet fra VELUX Commercial: <https://commercial.velux.no/blogg/bygningsdesign/hvorfor-er-dagslys-saa-viktig-i-skoledesign>
- Wikipedia. (2024, March 14). *Solar irradiance*. Hentet fra Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_irradiance](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_irradiance)
- World Green Building Council. (u.d.). *(Day)Lighting the way to greener and healthier buildings*. Hentet fra worldgbc.org: <https://worldgbc.org/article/daylighting-the-way-to-greener-and-healthier-buildings/>
- Aarnes, H. (2020, Februar 24). *Daglengde og årstid*. Hentet fra Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet UIO: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/kjemi/dag.html>

# LEED v4.1 Oslo uten solskjerming



\* No dynamic shading has been modeled, and ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare as follows:  
Oslo uten solskjerming.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	0 50%		sDA	0 250 hrs		ASE
									
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	N			42,50 %		3,04 %	
Oslo South	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	N			54,29 %		13,57 %	
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	N			41,96 %		1,61 %	
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	N			36,96 %		0,00 %	
Totals	2504 ft <sup>2</sup>					43,93 %		4,55 %	

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	64	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	16	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	64	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %
Glazing	16	● Starphire - Sungate 400 (3) on Starphire - Sungate 400 (5)	18,8 %	71,3 %

### Occupancy

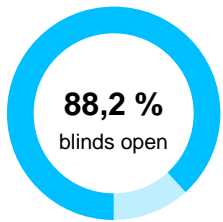
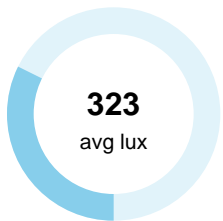
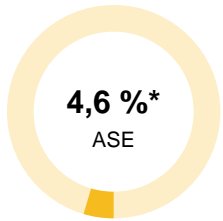
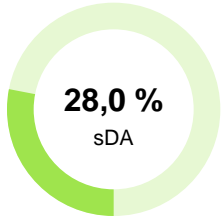
Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST



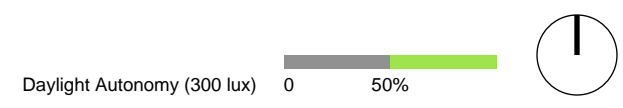
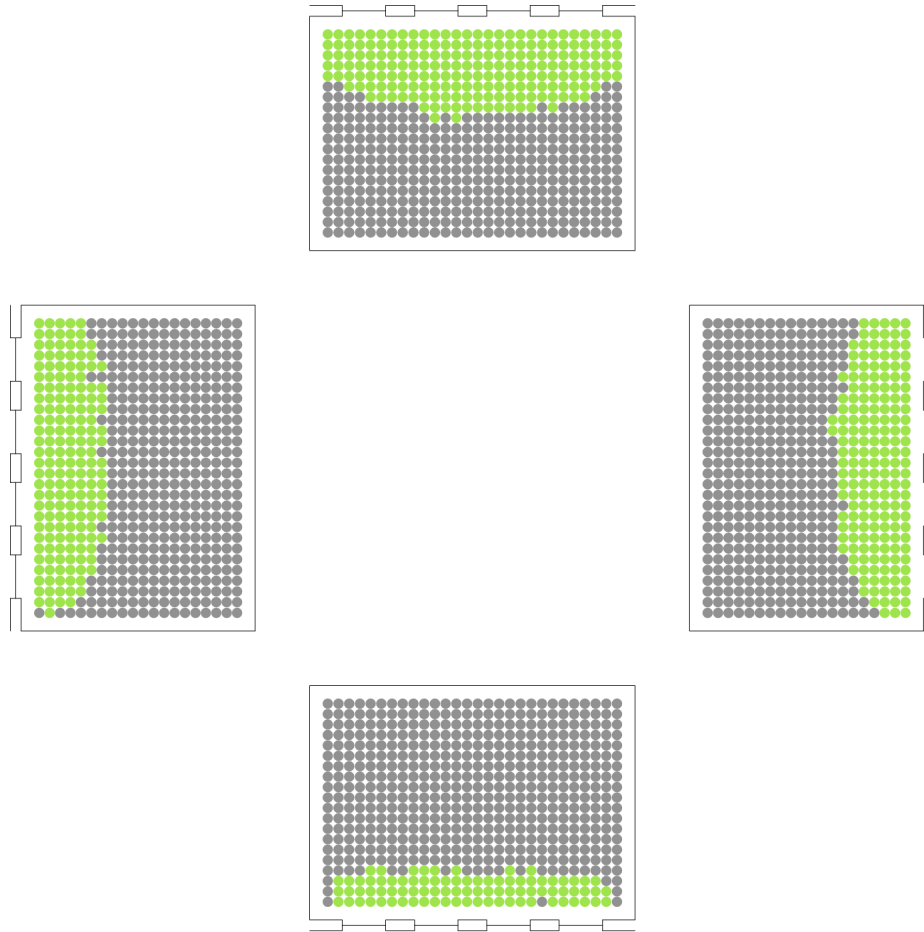
**Glossary**

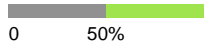

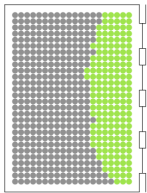
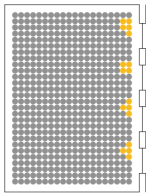
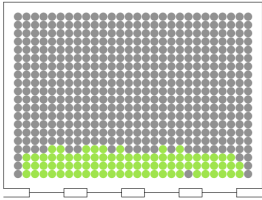
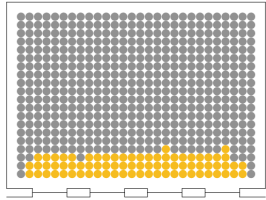
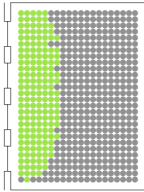
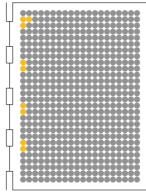
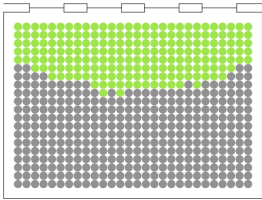
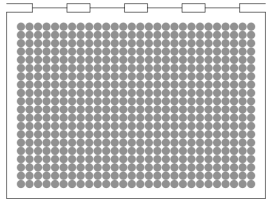
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# LEED v4.1 Oslo med solskjerming



\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:  
Oslo med solskjerming.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading		sDA		ASE
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		31,43 %		3,04 %
Oslo South	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		15,00 %		13,57 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		30,18 %		1,61 %
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		35,54 %		0,00 %
Totals	2504 ft <sup>2</sup>				28,04 %		4,55 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	64	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	16	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	64	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	72 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	90,11 %
1	Oslo	72 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
2	Oslo	72 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	90,44 %
3	Oslo	72 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	72,33 %

## Appendix

---

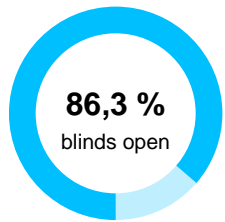
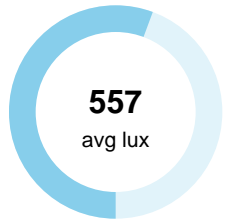
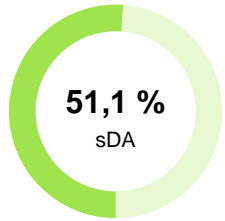
### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

### Glossary

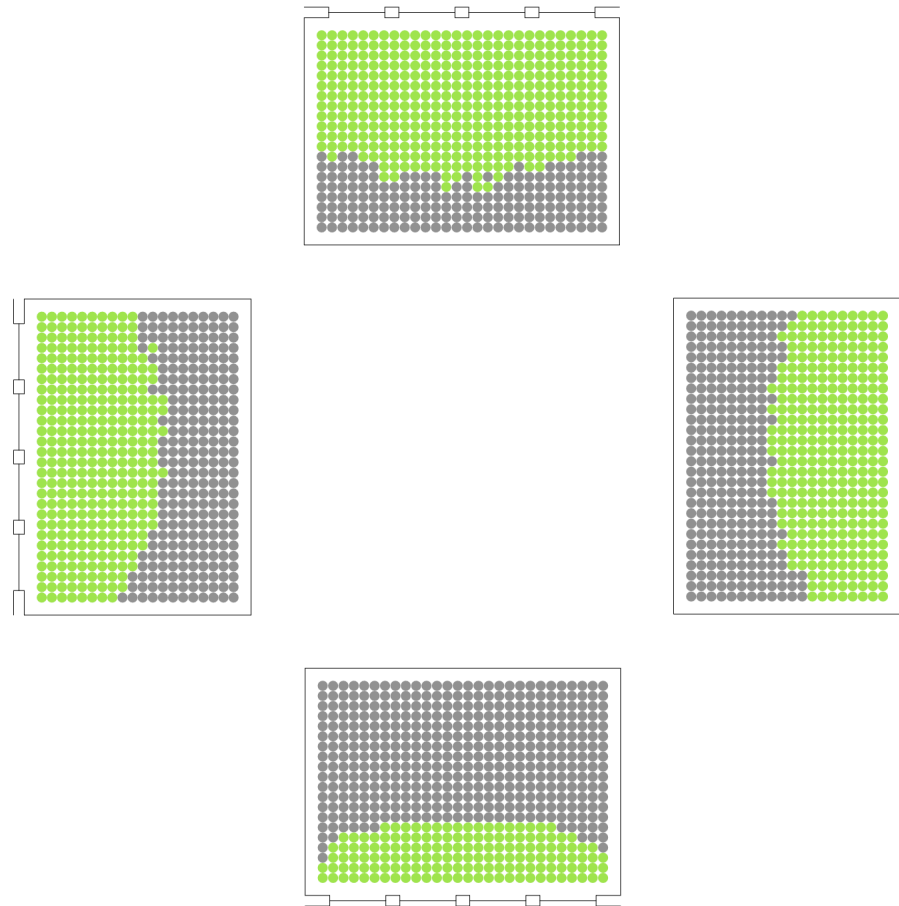
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# Oslo med endring 1 - 1,6 x 1,8 vinduer

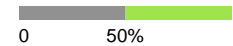


\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:

Simulering for Oslo med endring 1:  
1,6 x 1,8 meter vindu på alle rommene.



Daylight Autonomy (300 lux)



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	0 50%		sDA	0 250 hrs		ASE
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y			53,39 %			8,75 %
Oslo South	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y			26,61 %			27,86 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y			56,25 %			5,89 %
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y			68,21 %			0,00 %
Totals	2504 ft <sup>2</sup>					51,12 %			10,62 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	64	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	16	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	64	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	89,40 %
1	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
2	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,53 %
3	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	68,36 %



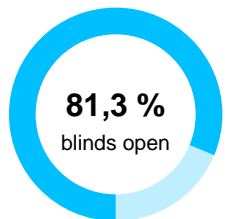
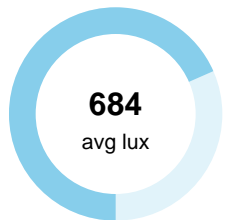
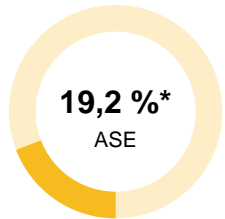
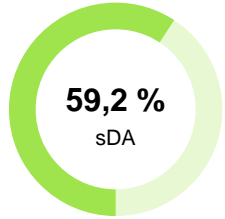
**Occupancy**

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

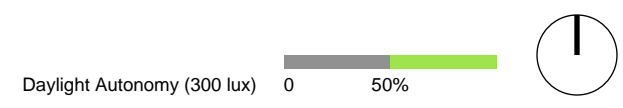
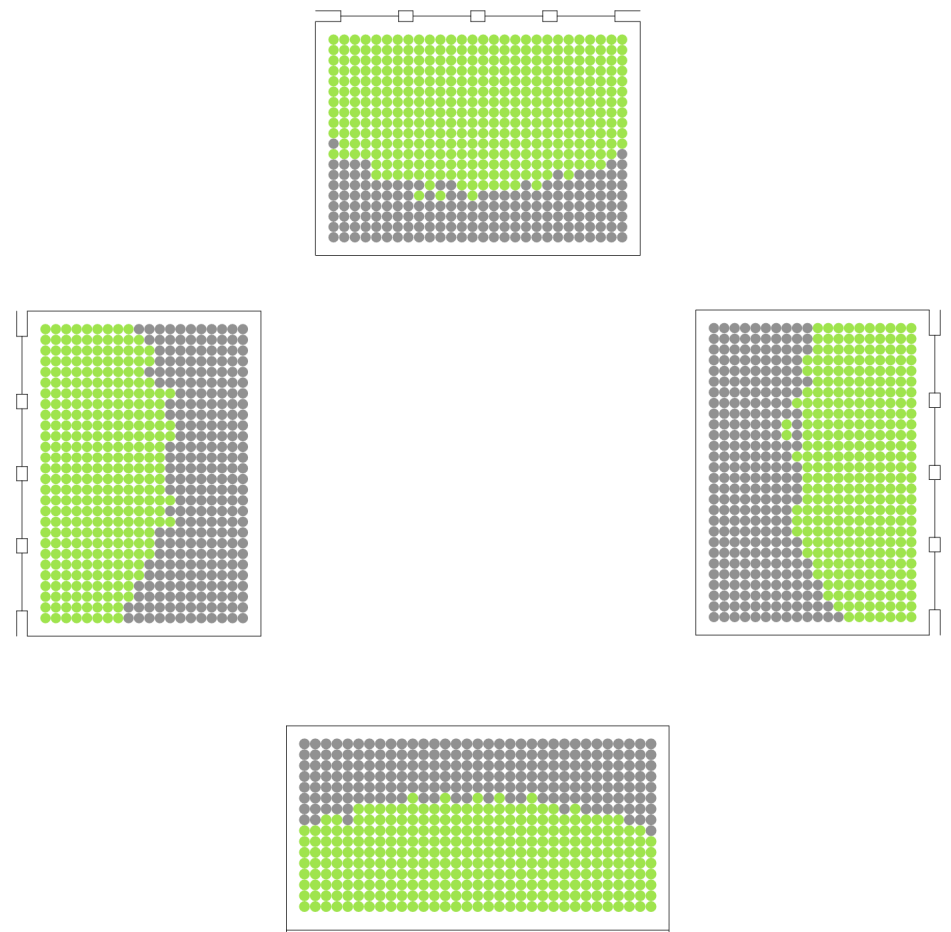
**Glossary**

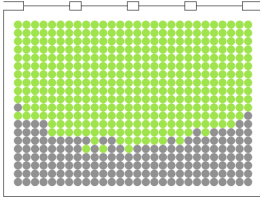
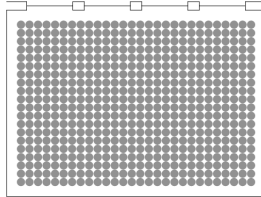
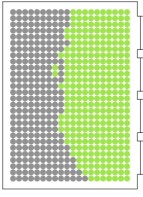
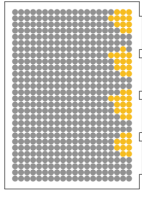
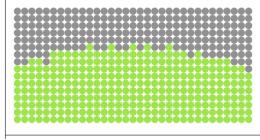
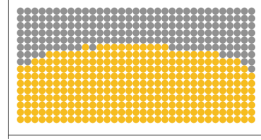
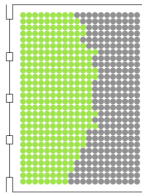
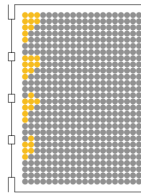
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# Oslo med glassfasade mot sør



\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:  
Oslo med glassfasade og areal på 5,5m x 10,6m.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	0 50%	sDA	0 250 hrs	ASE
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		68,75 %		0,00 %
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		53,21 %		8,75 %
Oslo South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		59,66 %		61,93 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		55,36 %		5,89 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				59,25 %		19,17 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	52	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	16	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	51	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	262 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	65,59 %
1	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	89,40 %
2	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,53 %

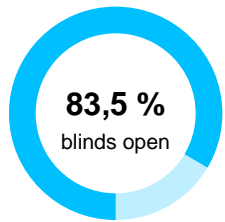
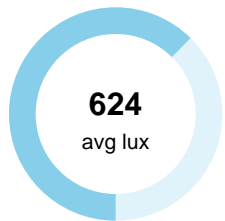
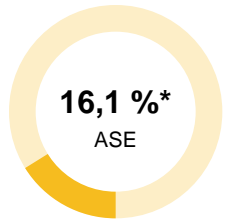
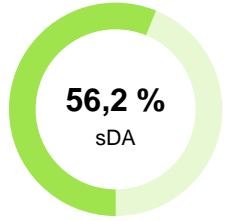
**Occupancy**

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

**Glossary**

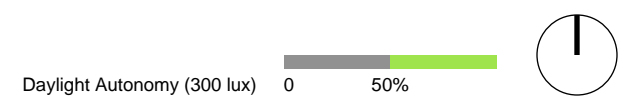
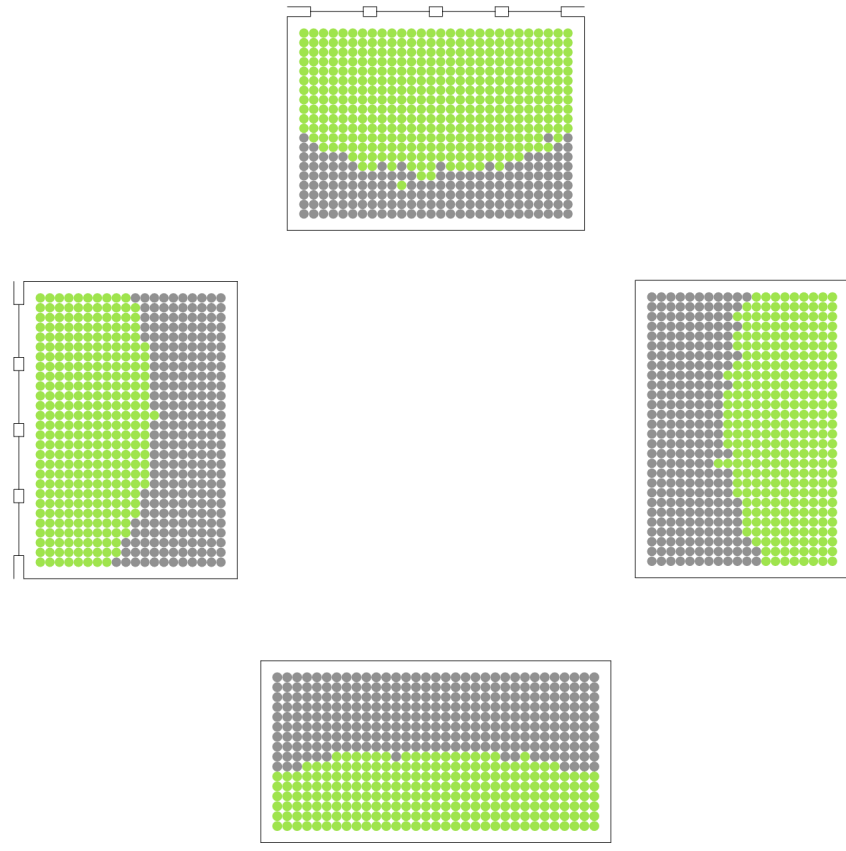
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

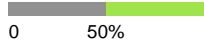
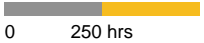
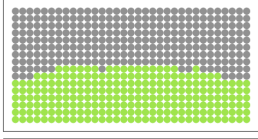
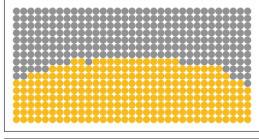
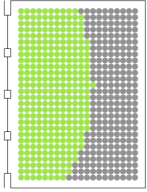
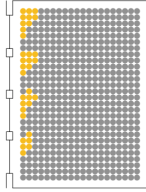
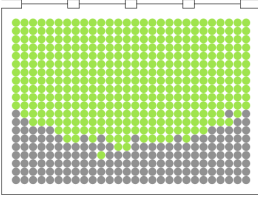
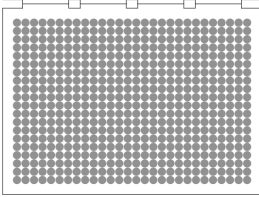
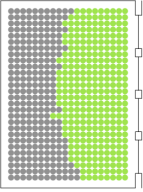
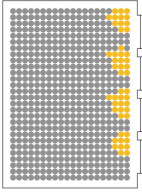
# Oslo med endring 3 - 1,9 x 1,9 vinduer



\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:

Simulering av Oslo med endring 3:  
Rommene mot nord, øst og vest forblir uendret fra endring 1.  
Følgende endring gjelder for rommet mot sør:  
5 vinduer på 1,9 x 1,9 meter og areal på 5,5m x 10,6m.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	 0 50%	sDA	 0 250 hrs	ASE
Oslo South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		45,64 %		49,81 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		56,07 %		5,89 %
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		69,46 %		0,00 %
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		53,57 %		8,75 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				56,18 %		16,13 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	48	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	36	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	48	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	194 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	66,63 %
1	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	89,40 %
2	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,53 %



## Appendix

---

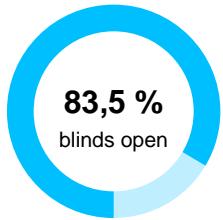
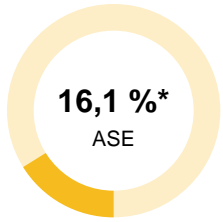
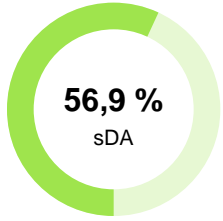
### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

### Glossary

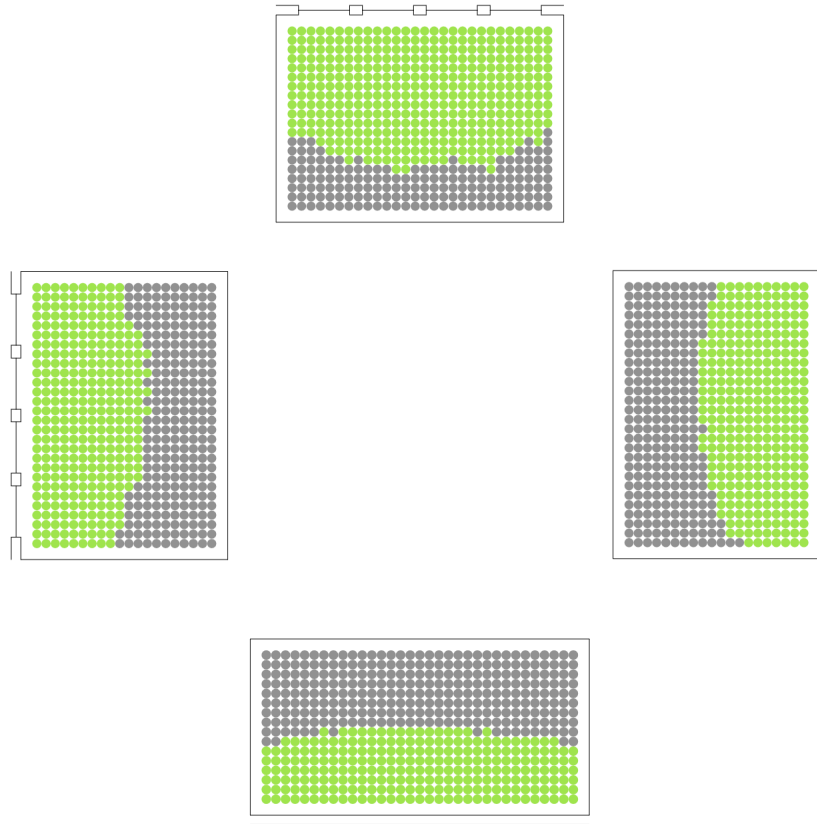
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# LEED 4.1 Option 1 med høyere detaljering



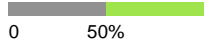
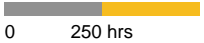
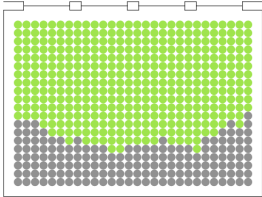
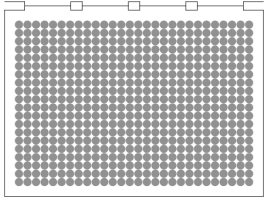
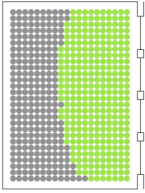
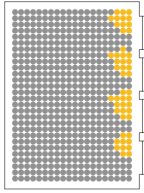
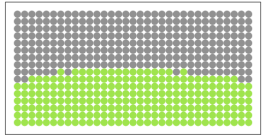
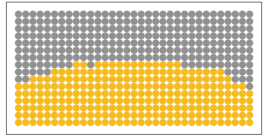
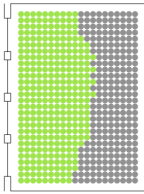
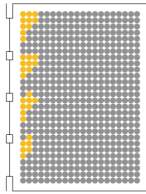
\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:

Simulering for Oslo med høyere detaljering:  
90 Samples per pass  
140 Max number of passes  
9 Ambient bounces  
0,01 Weight limit



Daylight Autonomy (300 lux) 0 50%



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	 0 50%	sDA	 0 250 hrs	ASE
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		70,54 %		0,00 %
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		54,64 %		8,75 %
Oslo South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		46,02 %		49,81 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		56,43 %		5,89 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				56,90 %		16,13 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	9
<b>Passes Completed:</b>	140
<b>Primary Ambient Samples:</b>	12600

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	48	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	36	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	48	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	194 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	66,63 %
1	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	89,40 %
2	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,53 %

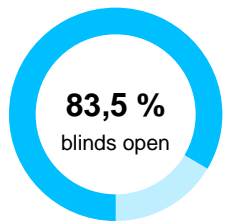
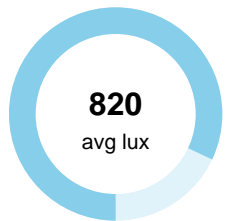
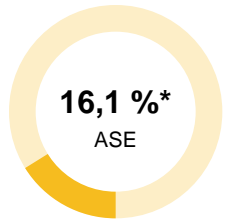
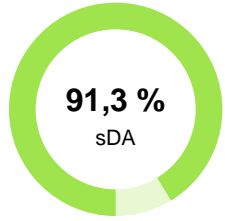
### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

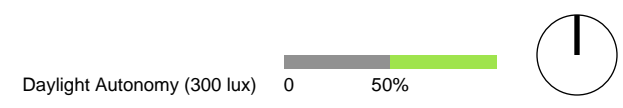
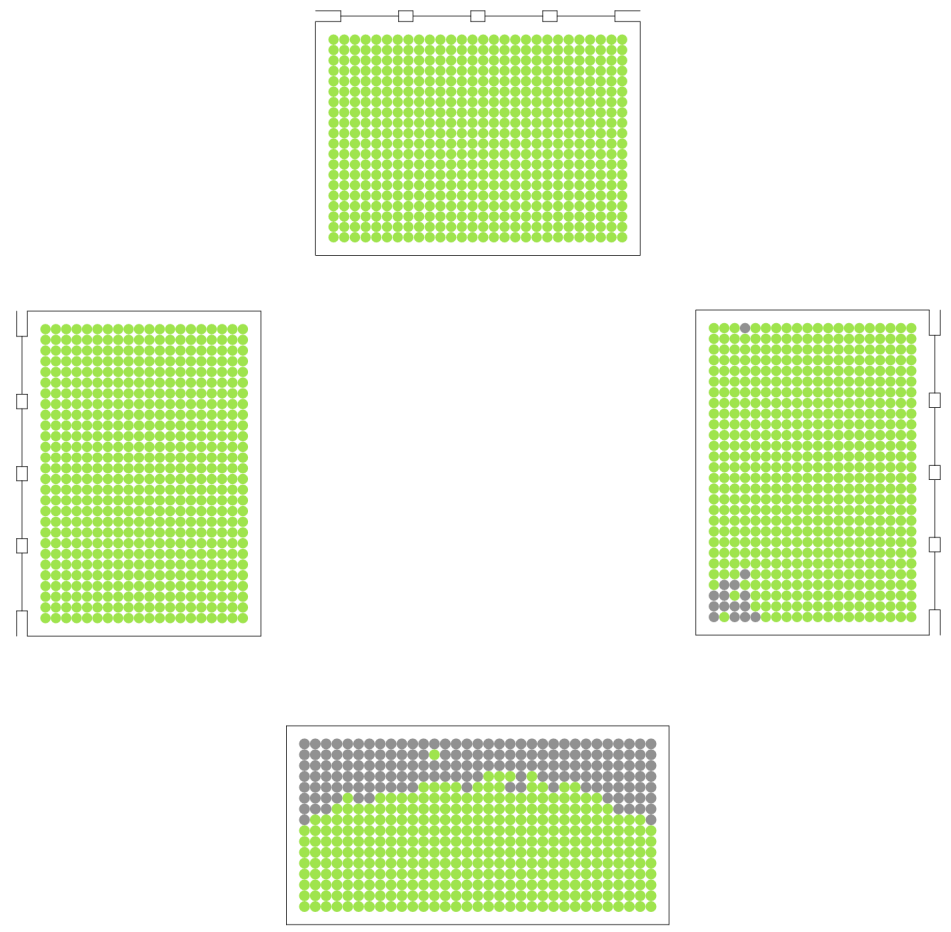
### Glossary

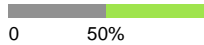

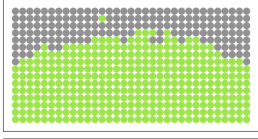
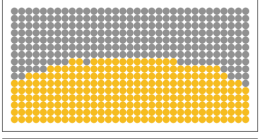
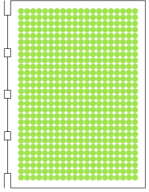
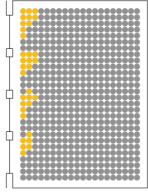
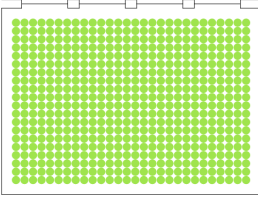
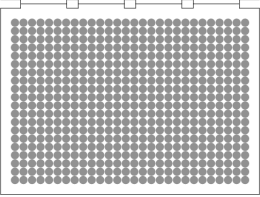
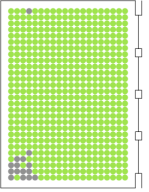
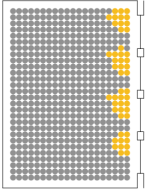
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# Optimistiske refleksjonsverdier fra Svanemerket 4.2



\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:  
Oslo med optimistiske refleksjonsverdier hentet fra Svanemerket. Geometri fra endring 3.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading		sDA		ASE
Oslo South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		67,99 %		49,81 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		100,00 %		5,89 %
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		100,00 %		0,00 %
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		97,32 %		8,75 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				91,31 %		16,13 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	48	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	36	● Whiteboard Cubicle wall	80,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	48	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Plastic Ceiling Vent E14 548	80,6 %	0,0 %
Floor	4	● Beige Ceramic Tile floor	33,7 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	194 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	66,63 %
1	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	89,40 %
2	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,53 %



## Appendix

---

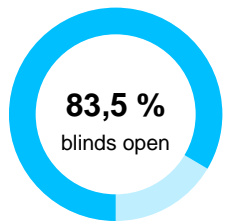
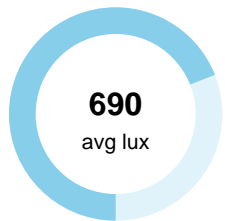
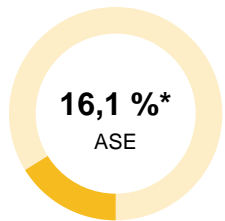
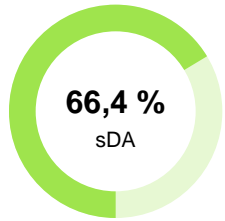
### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

### Glossary

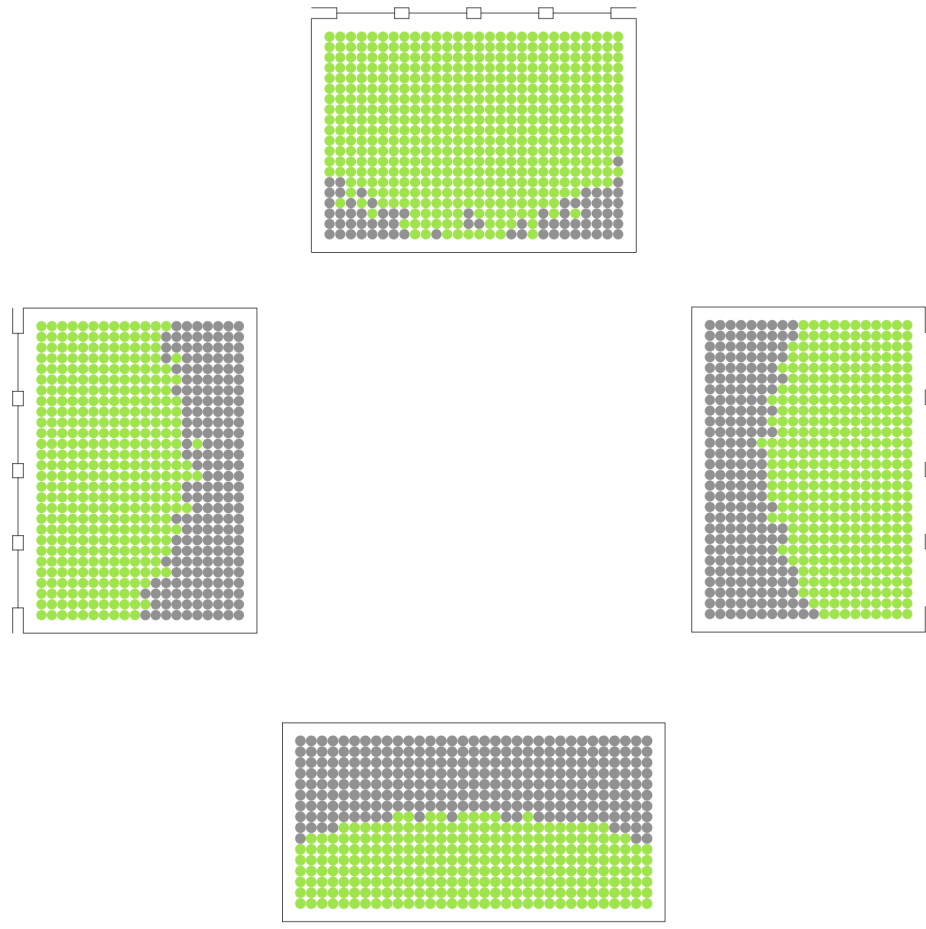
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# Optimistiske verdier fra BREEAM

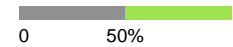


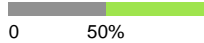
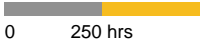
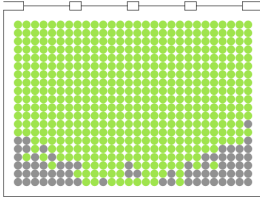
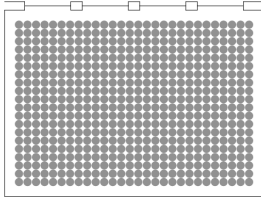
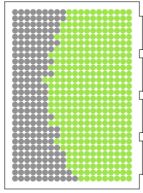
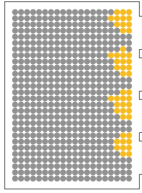
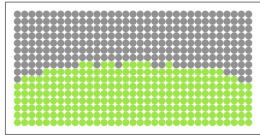
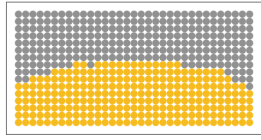
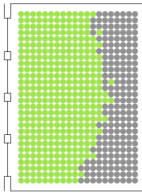
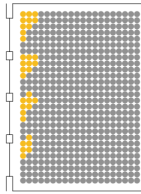
\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:

Oslo med optimistiske refleksjonsverdier hentet fra BREEAM. Geometri fra ending 3.



Daylight Autonomy (300 lux)



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	 0 50%	sDA	 0 250 hrs	ASE
Oslo North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		87,32 %		0,00 %
Oslo East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		62,68 %		8,75 %
Oslo South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		49,62 %		49,81 %
Oslo West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		65,89 %		5,89 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				66,37 %		16,13 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_OS_Oslo-Fornebu.AP.014881_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	48	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	36	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	48	● Whiteboard Cubicle wall	80,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Plastic Ceiling Vent E14 548	80,6 %	0,0 %
Floor	4	● Beige Ceramic Tile floor	33,7 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Oslo	194 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	66,63 %
1	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	89,40 %
2	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Oslo	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,53 %

## Appendix

---

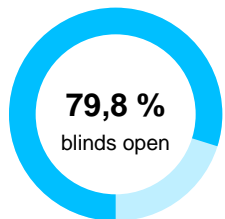
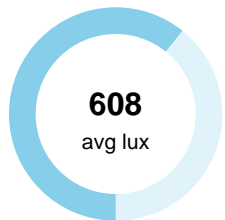
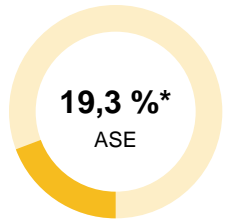
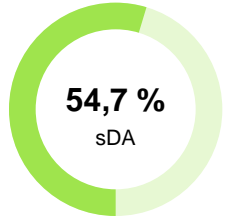
### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST
Oslo	8am-6pm with DST

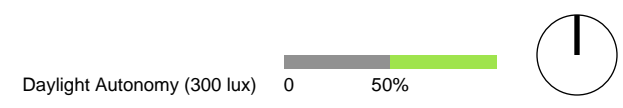
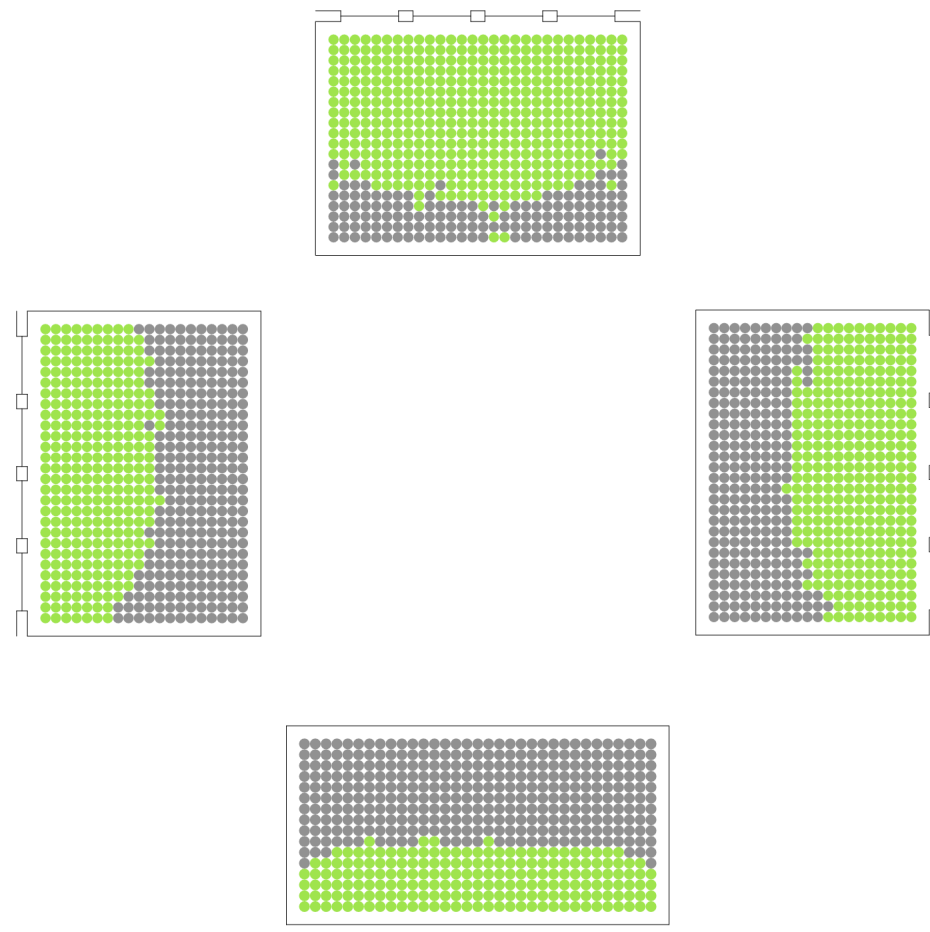
### Glossary

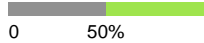
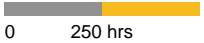
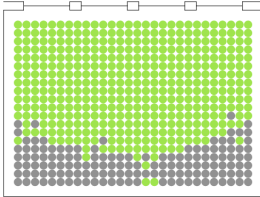
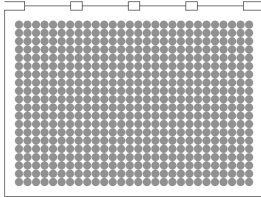
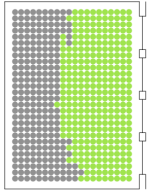
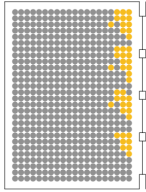
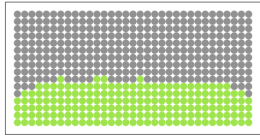
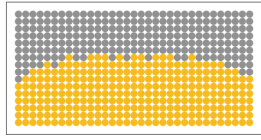
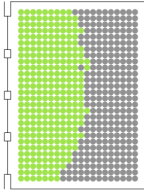
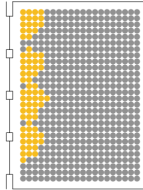
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# Bergen med 1,9 x 1,9 vinduer



\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:  
Bergen med 1,9 x1,9 meter vinduer mot sør og 1,6 x 1,8 meter vinduer mot nord, øst og vest.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	 0 50%	sDA	 0 250 hrs	ASE
Bergen North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		75,18 %		0,00 %
Bergen East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		55,71 %		7,86 %
Bergen South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		36,74 %		55,68 %
Bergen West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		51,07 %		13,39 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				54,67 %		19,25 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_HO_Bergen.AP-Flesland.013110_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	48	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	36	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	48	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Bergen	194 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	58,90 %
1	Bergen	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	84,36 %
2	Bergen	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Bergen	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,97 %



## Appendix

---

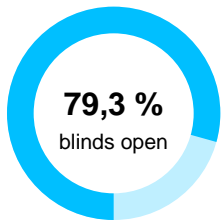
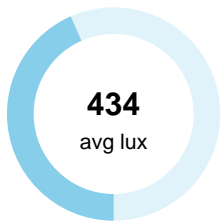
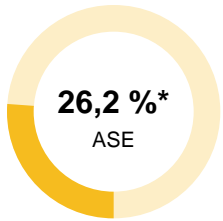
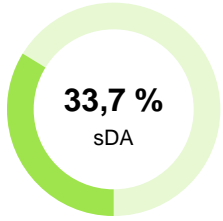
### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Bergen	8am-6pm with DST
Bergen	8am-6pm with DST
Bergen	8am-6pm with DST
Bergen	8am-6pm with DST

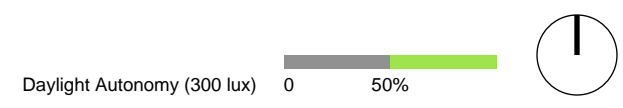
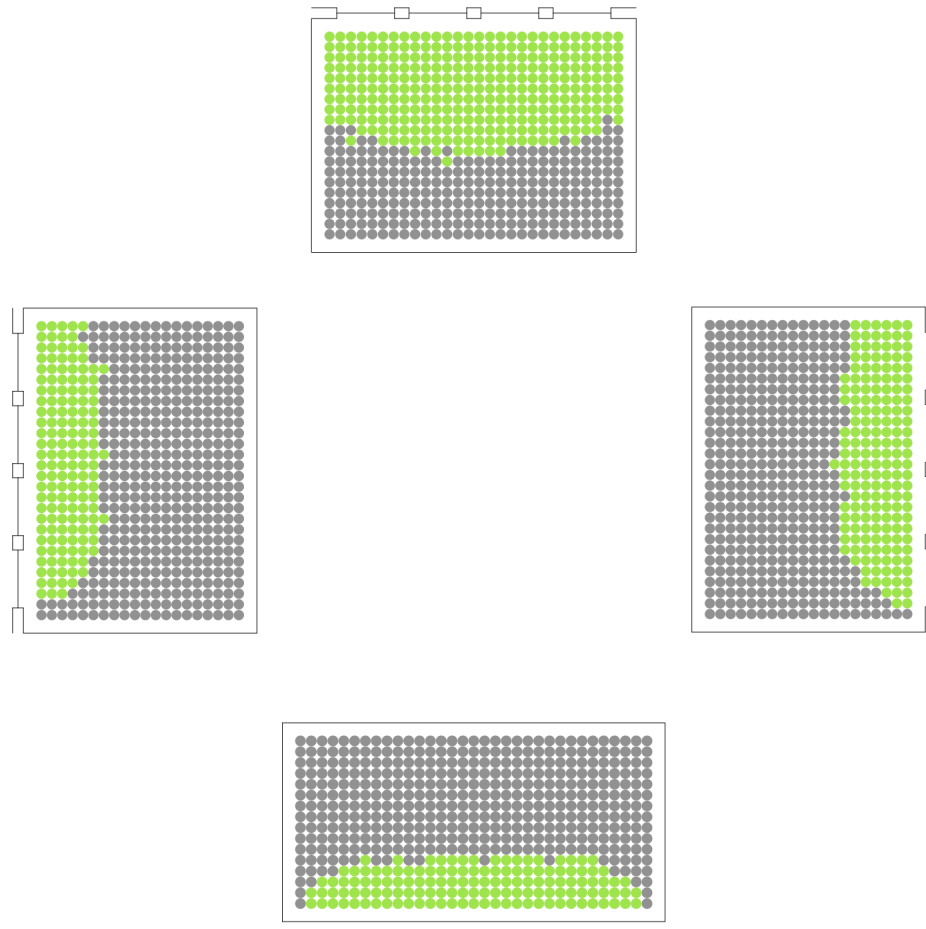
### Glossary

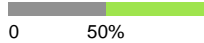
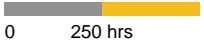
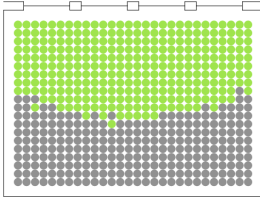
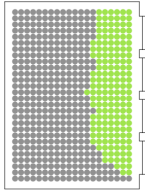
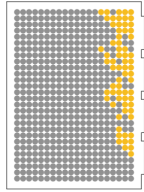
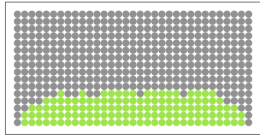
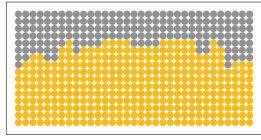
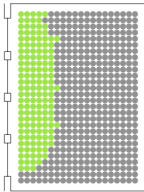
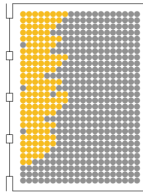
- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.

# Tromsø med 1,9 x 1,9 vinduer



\* ASE > 10% in one or more spaces. The design addresses glare in these areas as follows:  
Tromsø med 1,9m x 1,9m vinduer mot sør og 1,6m x 1,8 m vinduer mot nord, øst og vest.



Space ID & Description	Area	Spacing	Shading	 0 50%	sDA	 0 250 hrs	ASE
Tromsø North	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		53,75 %		0,00 %
Tromsø East	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		30,00 %		12,14 %
Tromsø South	628 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		25,00 %		66,48 %
Tromsø West	626 ft <sup>2</sup>	1,0 ft	Y		26,25 %		25,89 %
Totals	2506 ft <sup>2</sup>				33,74 %		26,15 %

<b>Software:</b>	ClimateStudio v1.9.8389.21977
<b>Engine:</b>	Radiance 5.3
<b>Weather:</b>	NOR_TR_Tromso.010260_TMYx.2004-2018.epw
<b>North Offset:</b>	0°
<b>Ambient Bounces:</b>	7
<b>Passes Completed:</b>	100
<b>Primary Ambient Samples:</b>	6500

### Layer Materials

Layer	Objects	Material	Rvis	Tvis
External wall	4	● Grey Exterior Facade Panels	46,2 %	0,0 %
External wall::Windowsill	48	● Grey Aluminium Window Frame	43,3 %	0,0 %
Internal wall	36	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Internal wall::Windowsill	48	● Wall LM83	50,0 %	0,0 %
Ceiling	4	● Ceiling LM83	70,0 %	0,0 %
Floor	4	● Dark Grey Floor Tiles	20,1 %	0,0 %
Ground	1	● Bark 3	20,6 %	0,0 %

### Window Groups

ID	Space ID	Area	Material	Tvis	Shade Material	Operation	Blinds Open
0	Tromsø	194 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	58,68 %
1	Tromsø	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	83,21 %
2	Tromsø	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	100,00 %
3	Tromsø	124 ft²	● Starphire - Sungate 400 (3) on St	71,3 %	sheerWeave 2390 Performance + V22 Charcoal Gr	Default (LEEDv4 2% Rule)	87,12 %

### Occupancy

Space ID	Occupancy Schedule
Tromsø	8am-6pm with DST
Tromsø	8am-6pm with DST
Tromsø	8am-6pm with DST
Tromsø	8am-6pm with DST

### Glossary

- sDA:** Spatial Daylight Autonomy: Percent of space receiving at least 300 lux for at least 50% of occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- ASE:** Annual Sunlight Exposure: Percent of space receiving at least 1000 lux direct sun for at least 250 occupied hours. Calculation excludes dynamic shading.
- Avg Lux:** Mean workplane illuminance during occupied hours. Calculation includes dynamic shading if modeled.
- Blinds open:** Percent of occupied hours blinds are open (or dynamic glass is in clearest state). Building total is window-area weighted.
- Shading:** (Y/N) Does the space have dynamic blinds or dynamic glazing? If yes, shading operation affects sDA but not ASE. The value must be yes for all perimeter spaces -- otherwise an explanation must be supplied via written addendum.



**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway