

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet  
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi  
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014  
30 stp

# Dagslys og energiforhold i kompakte skoler - En case studie

Daylight and Energy Conditions  
in Compact Schools - A Case Study

Magnus Gåseby Gjerde



## I. Forord

Oppgaven er skrevet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er gjennomført våren 2014 og markerer avslutningen på en mastergrad innen Byggeteknikk og arkitektur.

Dagslys i skoler og sammenheng med energieffektive bygg virket å være et meget spennende tema, og jeg ble inspirert til å ta fatt på denne oppgaven av min professor og veileder Leif Daniel Houck. Gjennom arbeidet med oppgaven har jeg tilegnet meg mye ny kunnskap innen et spennende felt jeg tidligere ikke hadde utdypende kjennskap til.

Tema for oppgaven har vært å analysere forskjeller i dagslysforhold mellom et vridd klasserom typisk for kompakte skolebygg og et alternativt forslag som er mindre dypt. Dette er gjort ved hjelp av en case studie av et referanseprosjekt. Oppgaven undersøker videre effekten en alternativ form på klasserommet kan ha for den helhetlige planløsningen og bygningskroppen. Til slutt sammenlignes energibehovet for den nye bygningskropp med energibehovet for det eksisterende referanseprosjekt.

Hver og en som har bidratt under arbeidet med denne oppgaven fortjener en stor takk. Jeg ønsker spesielt å takke min veileder ved NMBU, Leif Daniel Houck, for god veiledning og støtte. En stor takk til Dimitrios Kraniotis som har vært en god hjelp og diskusjonspartner vedrørende energirelaterte aspekter. Fra Estia i Sveits fortjener Bernard Paule og Julien Boutillier en takk for å ha vært gode diskusjonspartnere i forbindelse med simulering av dagslys. Til slutt vil jeg takke min mor og far for god moralsk støtte gjennom hele arbeidet med oppgaven.

Ås, 14. mai 2014

---

Magnus Gåseby Gjerde

## II. Sammendrag

*IMT-rapport nr. 46* fra 2012 fant fellestrekk mellom mange av vinnerprosjektene i arkitektkonkurranser for skoler rundt om i landet. Mange prosjekter var preget av såkalte vridde klasserom med en av kortveggene som fasadevegg. (Houck 2012)

Denne oppgaven har undersøkt hvordan dagslysforholdene kan være i et slikt representativt dypt og vridt klasserom. Videre er det undersøkt den energimessige effekten av en alternativ helhetlig utforming med dagslys som prioritet. Dette ble gjort gjennom en case studie basert på et eksisterende referanseprosjekt. Dagslysforholdene er vurdert ved bruk av den klimatisk baserte målemetoden Useful Daylight Illuminance. Dynamiske simuleringer tar med stedsavhengige, årlige variasjoner i sol og himmelforhold i betraktning. Et alternativt forslag til klasseromsutforming med tilnærmet lik gjennomsnittlig dagslysfaktor er utsatt for de samme simuleringer. Resultatene viser at de innerste deler av et klasserom med tilnærmet 9,3 meter dybde kan oppnå belyningsnivåer innenfor intervallet Useful Daylight Illuminance (100-2000 lux) for så lite som 21 % av de årlige timer undersøkt. Den årlige prosentandelen Useful Daylight Illuminance falt til under 50 % i en omtrentlig dybde av 5,3 – 6,3 meter avhengig av himmelretning. Anslagsvis 32 – 43 % av rommets areal oppnådde Useful Daylight Illuminance for under halvparten av de årlige timene undersøkt avhengig av himmelretning. Alternativt rom med redusert dybde oppnådde bedre resultater for de indre deler av rommet. Oppgavens simuleringer viser hvordan dagslysforholdene i klasserommet varierer med de årlige variasjoner i vær, samt er avhengig av faktorer som himmelretning, eventuell skyggeanordning, og lystransmisjon i vinduer.

Romprogram for referanseprosjekt er løst med en alternativ form på klasserommet, samt prioritering av dagslys til grupperom, som styrende faktorer før utformingsprosessen er igangsatt. Endringene i utforming ga konsekvenser for bygningskroppen som en helhet. Klasserom ble tildelt et større antall fasademeter og 14 grupperom ble gitt tilgang til fasadevegg. Endringene medførte en 14,8 % økning i totalt areal for prosjektet. Energibehovet for den alternative utformingen ble simulert med tekniske variabler beholdt tilnærmet likt som for referanseprosjekt. Det samlede forventede energibehov økte med 8,9 %. Deles energibehovet på de respektive totale areal resulterte alternativ løsning i en økning på 6,2 %. Alternativt forslag oppnådde energikarakter A ved energimerking i likhet med referanseprosjekt.



### III. Abstract

*IMT report number 46* from 2012 found similarities between several winning projects in architectural competitions for schools around the country. Many projects were characterized by so-called twisted classrooms with windows on one of the short walls of the room. (Houck 2012)

This thesis has examined the possible daylight conditions in such a representative deep and twisted classroom. Furthermore it investigated how an alternative building proposal prioritizing daylight may affect the energy consumption. This was done through a case study based on a chosen existing school. The daylight conditions were evaluated with the climate based daylight metric Useful Daylight Illuminance. Dynamic simulations take into account annual variations in sun and sky conditions. An alternative proposal for classroom dimensions with an approximately equal average daylight factor was subjected to the same simulations.

The results show that the inner parts of a classroom with an approximate depth of 9,3 meters can achieve lighting levels within the interval Useful Daylight Illuminance (100-2000 lux) for as little as 21 % of annual hours simulated. The annual percentages Useful Daylight Illuminance fall below 50 % at an approximate depth of 5,3 – 6,3 meters depending on the orientation. An estimated 32 – 43 % of the room achieves Useful Daylight Illuminance for less than half of the annual hours simulated depending on orientation. The alternative classroom with a reduced depth achieves better results for the inner parts of the room. The simulations show how the daylight conditions can vary with the variations in weather and depend on factors such as orientation, shading device, and the light transmittance of windows.

The room program for the chosen case school was solved with the alternative classroom, and achieving daylight in group rooms, as a first priority in the design process. The changes in design led to an increase in square meters, shape, and subsequently simulated energy consumption. Changes resulted in an approximate 14,8 % increase in total square meters. Energy simulations with technical factors kept equal to the existing case yielded an approximate 8,9 % increase in total annual energy consumption. When dividing the total consumption by the respective size of the heated areas of the buildings the value increased by approximately 6,2 % for the alternative. In terms of assigning an energy grade the alternative proposal achieved a grade A, which was the same as that achieved by the existing case.

## IV. Innholdsfortegnelse

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.    | Forord.....   | 1  |
| II.   | Sammendrag .....  | 2  |
| III.  | Abstract.....   | 3  |
| IV.   | Innholdsfortegnelse .....   | 4  |
| V.    | Figurliste.....   | 6  |
| VI.   | Tabelliste.....   | 9  |
| 1.    | Innledning.....   | 10 |
| 1.1   | Bakgrunn.....   | 10 |
| 1.2   | Problemstilling.....  | 11 |
| 1.3   | Målsetting.....   | 12 |
| 1.4   | Oppgavens oppbygning .....  | 12 |
| 2.    | Teori (Litteraturstudie).....                                       | 13 |
| 2.1   | Dagslys .....   | 13 |
| 2.1.1 | Prinsipper knyttet til dagslys .....                                | 14 |
| 2.1.2 | Kildene for dagslys.....  | 15 |
| 2.1.3 | Fundamentale aspekter å ta hensyn til i en designprosess .....      | 16 |
| 2.1.4 | Forbedret ytelse blant elever .....                                 | 19 |
| 2.1.5 | Det norske lovverket om dagslys og skolemiljø.....                  | 20 |
| 2.1.6 | Analysemetoder for dagslys.....                                     | 21 |
| 2.1.7 | Benyttet programvare og prinsipper for simuleringer .....           | 25 |
| 2.2   | Utformingen av skole.....   | 29 |
| 2.2.1 | Klasserommets dimensjoner og størrelse .....                        | 29 |
| 2.2.2 | Baseskoleprinsippet.....  | 32 |
| 2.2.3 | Funksjoner og arealer i skolen.....                                 | 32 |
| 2.2.4 | Organisering og arbeidsformer i skolen.....                         | 33 |
| 2.3   | Energibehov og energiberegning.....                                 | 34 |
| 2.3.1 | Bygningsfysiske egenskaper .....                                    | 34 |
| 2.3.2 | SIMIEN og NS 3031:2007 Beregninger av bygningers energiytelse ..... | 36 |
| 2.3.3 | Energimerking av bygninger .....                                    | 37 |
| 3.    | Metode.....   | 38 |
| 3.1   | Generelt om metode.....   | 38 |
| 3.2   | Referanseprosjekt – Haukerød Skole, Sandefjord.....                 | 39 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.3   | Arealmessige endringer på bygning.....  | 39  |
| 3.4   | Dagslysberegninger .....  | 41  |
| 3.5   | Energiberegninger.....  | 50  |
| 3.6   | Sammenlignbare verdier ved analyse av resultater.....   | 54  |
| 4.    | Resultater og analyser .....  | 56  |
| 4.1   | Analyse av referanseprosjekt.....   | 56  |
| 4.1.1 | Generell form og funksjonsplan.....   | 56  |
| 4.1.2 | Fasadetildeling i baser.....  | 57  |
| 4.1.3 | Klasserom og andre læringsarealer .....   | 57  |
| 4.1.4 | Dagslyssimuleringer av referanseklasserom .....   | 62  |
| 4.1.5 | Energirapport for referanseprosjekt.....  | 68  |
| 4.1.6 | Test av lystransmisjon for utvalgt vindu.....   | 68  |
| 4.2   | Alternativt løsningsforslag.....  | 69  |
| 4.2.1 | Alternativt forslag til planløsning.....  | 69  |
| 4.2.2 | Dagslyssimuleringer av alternativt klasserom .....  | 72  |
| 4.2.3 | Energisimulering for alternativt skolebygg.....   | 78  |
| 4.3   | Sammenligning av romstørrelser for fire himmelretninger og to lystransmisjoner.....                       | 80  |
| 4.4   | Sammenligning av resultater avhengig av himmelretning.....  | 84  |
| 4.5   | Oppsummerende sammenligning av utvalgte arealmessige endringer, energibehov og oppnådde energimerke ..... | 86  |
| 5.    | Diskusjon .....   | 88  |
| 5.1   | Dagslys .....   | 88  |
| 5.2   | Arealplaner .....   | 96  |
| 5.3   | Energibehov .....   | 98  |
| 6.    | Konklusjon .....  | 100 |
| 7.    | Litteraturliste.....  | 102 |
| 8.    | Vedlegg.....  | 104 |
| 8.1   | Fullstendige DAYSIM-resultater for samtlige simuleringer .....  | 104 |
| 8.2   | Plantegninger for alternativ løsning og referanseprosjekt .....   | 119 |

## V. Figurliste

|  |    |
|--|----|
| Figur 2.1.1 Eksempel på kalkulasjonspunkter for daglyssimulering (Nabil & Mardaljevic 2005) .....  | 21 |
| Figur 2.1.2 Effekten av lystransmisjon og himmelretning på resultatene for UDI (Nabil & Mardaljevic 2005) .....  | 23 |
| Figur 2.1.3 Effekten av bevegelige persienner på resultatene for UDI (Nabil & Mardaljevic 2005) .....  | 24 |
| Figur 2.1.4 illustrasjon av definisjonen på en dagslyskoeffisient (Reinhart & Walkenhorst 2001) .....  | 27 |
| Figur 2.1.5 Himmelinndeling i segmenter som benyttes i DAYSIM (Bourgeois et al. 2008) .....  | 27 |
| Figur 2.1.6 Skjematisk fremstilling av fremgangsmetode ved simulering i DAYSIM (Reinhart & Walkenhorst 2001) .....   | 28 |
| Figur 2.2.1 Dagslysforholdene avtar i dybden (venstre). Mulig oversiktsproblemer i tilnærmet kvadratiske klasserom (høyre) (Brantenberg 1980).....   | 29 |
| Figur 2.2.2 Klasserom på 6*10 meter kan organiseres med to soner. Dagslyset er her ikke prioritert som hovedbelysning (Brantenberg 1980).....  | 30 |
| Figur 2.2.3 Klasserom på 6*10 meter organisert for informasjonsundervisning eller gruppearbeid. Denne løsningen har ikke dagslyset som hovedbelysning som hovedprioritet (Brantenberg 1980)..... | 30 |
| Figur 2.2.4 Klasserom (5,2*11,5 meter) der primært dagslyset vil kunne være en kilde til arbeidslys. Vinduer plassert på langside (Brantenberg 1980).....  | 31 |
| Figur 2.3.1 Illustrasjon av karaktergivning for energimerking .....  | 37 |
| Figur 3.4.1 måleinstrument Konica Minolta Illuminance meter T-10A (body only) .....  | 46 |
| Figur 3.4.2 Rutenett for målepunkter i referanserom ovenifra .....   | 47 |
| Figur 3.4.3 Rutenett med målepunkter for alternativt klasserom ovenifra .....  | 47 |
| Figur 3.4.4 Snitt i SketchUp-modell for referanserom. Målepunkter i høyde 0,72 meter   | 47 |
| Figur 3.4.5 Snitt i SketchUp-modell for alternativt rom. Målepunkter i høyde 0,72 meter .....  | 47 |
| Figur 3.4.6 Simuleringsparametere i DAYSIM; "Scene Complexity 2" .....   | 48 |
| Figur 3.4.7 Modell for referanserom utenifra med dimensjoner for vinduer.....  | 49 |
| Figur 3.4.8 Modell for alternativt rom utenifra med dimensjoner for vinduer.....   | 49 |
| Figur 4.1.1 Tildeling av fasade til klasserom (grønt), og garderober (gult). Fellesarealer samt gruppe rom for baser er ikke tildelt fasade (rødt) .....   | 57 |
| Figur 4.1.2 organisering med rygg til vindu samt møblering som dekker for deler av vindu (foto: Magnus G. Gjerde) .....  | 58 |
| Figur 4.1.3 Observert organisering tilnærmet med lys fra siden (foto: Magnus G. Gjerde) .....  | 58 |
| Figur 4.1.4 Observert eksempel av organisering i et klasserom tilsvarende referanserom (foto: Magnus G. Gjerde) .....  | 58 |
| Figur 4.1.5 Observert eksempel på organisering i et klasserom tilsvarende referanserom (foto: Magnus G. Gjerde) .....  | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Figur 4.1.6 Funksjoner i 2. etasje referansebygg. Baser (grønt), administrasjon (oransje), og SFO/forsterket plassert tett rundt kjernen.....            | 59 |
| Figur 4.1.7 Undervisningsarealer i 1. etasje referansebygg med (grønt).....  | 59 |
| Figur 4.1.8 Funksjoner i 3. etasje referansebygg. Tre baser (grønt) plassert tett rundt kjernen.....   | 60 |
| Figur 4.1.9 Observert fellesareal for base (foto: Magnus G. Gjerde).....   | 60 |
| Figur 4.1.10 Observert fellesareal for base (foto: Magnus G. Gjerde).....  | 60 |
| Figur 4.1.11 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i nordvendt referanserom med 51 % LT .....  | 62 |
| Figur 4.1.12 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år.....  | 62 |
| Figur 4.1.13 Fargekart for simulerte verdier for nordvendte rom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala .....       | 62 |
| Figur 4.1.14 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i østvendt referanserom med 51 % LT .....   | 63 |
| Figur 4.1.15 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år.....  | 63 |
| Figur 4.1.16 Fargekart for simulerte verdier i østvendt referanserom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala .....  | 63 |
| Figur 4.1.17 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i vestvendt referanserom med 51 % LT .....  | 64 |
| Figur 4.1.18 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år.....  | 64 |
| Figur 4.1.19 Fargekart for simulerte verdier i vestvendt referanserom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala ..... | 64 |
| Figur 4.1.20 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i sørvendt referanserom med 51 % LT .....   | 65 |
| Figur 4.1.22 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år.....  | 65 |
| Figur 4.1.21 Fargekart for simulerte verdier i sørvendt referanserom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala .....  | 65 |
| Figur 4.1.23 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i nordvendt referanserom med 72 % LT .....  | 66 |
| Figur 4.1.24 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i østvendt referanserom med 72 % LT .....   | 66 |
| Figur 4.1.25 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i vestvendt referanserom med 72 % LT .....  | 67 |
| Figur 4.1.26 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i sørvendt referanserom med 72 % LT .....   | 68 |
| Figur 4.1.27 Oppnådde energimerke for referanseprosjekt ( <a href="http://www.energimerking.no">www.energimerking.no</a> )...                            | 68 |
| Figur 4.2.1 Funksjoner 1. etasje alternativ løsning. Undervisningsrom med fasade (grønt).....  | 70 |

|  |    |
|--|----|
| Figur 4.2.2 Funksjoner 3. etasje alternativ løsning med tre baser (grønt) rundt skolens kjerne .....   | 71 |
| Figur 4.2.3 Funksjoner 2. etasje alternativ løsning med baser (grønt) Administrasjon (oransje) og SFO/forsterket (lilla) rundt skolens kjerne.....                   | 71 |
| Figur 4.2.4 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i nordvendt alternativt rom med 51 % LT .....   | 72 |
| Figur 4.2.5 Fargekart over simulerte verdier i nordvendt alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala .....     | 72 |
| Figur 4.2.6 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i østvendt alternativt rom med 51 % LT .....  | 73 |
| Figur 4.2.7 Fargekart for simulerte verdier i det østvendte alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala .....  | 73 |
| Figur 4.2.8 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i vestvendt alternativt rom med 51 % LT .....   | 74 |
| Figur 4.2.9 Fargekart for simulerte verdier i det vestvendte alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala ..... | 74 |
| Figur 4.2.10 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i sørvendt alternativt rom med 51 % LT .....   | 75 |
| Figur 4.2.11 Fargekart for simulerte verdier i det sørvendte alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala ..... | 75 |
| Figur 4.2.12 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i nordvendt alternativt rom med 72% LT.....  | 76 |
| Figur 4.2.13 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i østvendt alternativt rom med 72 % LT .....   | 76 |
| Figur 4.2.14 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i vestvendt alternativt rom med 72 % LT .....  | 77 |
| Figur 4.2.15 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i sørvendt alternativt rom med 72 % LT .....   | 77 |
| Figur 4.2.16 Oppnådd energikarakter for alternativt bygningsforslag.....   | 78 |
| Figur 4.2.17 Forventet levert energi for alternativ bygning.....   | 78 |
| Figur 4.2.18 Beregnet spesifikk levert energi for alternativ bygning .....   | 78 |
| Figur 4.2.19 Sentrale inndata for simulering av alternativ bygning (3) .....   | 79 |
| Figur 4.2.20 Sentrale inndata for simulering av alternativ bygning (2) .....   | 79 |
| Figur 4.2.21 Sentrale inndatafor simulering av alternativ bygning (1) .....  | 79 |
| Figur 4.3.1 Sammenligning av prosentandeler UDI for utvalgte punkter i de to undersøkte rom med nordlig himmelretning og 51 % LT .....                               | 80 |
| Figur 4.3.2 Sammenligning av årlige prosentandeler UDI for de to undersøkte rom med nordlig himmelretning og 72 % LT .....   | 80 |
| Figur 4.3.3 Sammenligning av de to undersøkte rom med østlig himmelretning og 51 % LT .....  | 81 |
| Figur 4.3.4 Sammenligning av de to undersøkte rom med østlig himmelretning og 72 % LT .....  | 81 |

|  |    |
|--|----|
| Figur 4.3.5 Sammenligning av de to undersøkte rom med vestlig himmelretning og 51 % LT .....         | 82 |
| Figur 4.3.6 Sammenligning av de to undersøkte rom med vestlig himmelretning og 72 % LT .....         | 82 |
| Figur 4.3.7 Sammenligning av de to undersøkte rom med sørlig himmelretning og 51 % LT .....          | 83 |
| Figur 4.3.8 viser en sammenligning av de to undersøkte rom med sørlig himmelretning og 72 % LT ..... | 83 |
| Figur 4.4.1 Sammenligning av ulike himmelretninger for referanserom med 51 % LT... 84                |    |
| Figur 4.4.2 Sammenligning av de ulike himmelretninger for referanserom med 72 % LT .....             | 84 |
| Figur 4.4.3 Sammenligning av himmelretninger for alternativt rom med 51 % LT.....                    | 85 |
| Figur 4.4.4 Sammenligning av himmelretninger for alternativt rom med 72 % LT.....                    | 85 |
| Figur 4.5.1 Omtrentlig totalt areal (BRA) for referansebygg og alternativ løsning.....               | 86 |
| Figur 4.5.2 Sammenligning av forventet levert energi (kWh/år).....                                   | 87 |
| Figur 4.5.3 Sammenligning av forventet spesifikke energibehov (kWh/m <sup>2</sup> år).....           | 87 |

## VI. Tabelliste

|  |    |
|--|----|
| Tabell 1 Tabelloversikt over de øvre grenseverdiene for oppnåelse av de ulike energikarakterer (Energimerking 2014b) .....   | 37 |
| Tabell 2 Dimensjoner for de to klasserom som vil analyseres med hensyn på dagslys ...  | 42 |
| Tabell 3 Vindusstørrelser som benyttes for referanseklasserom .....  | 42 |
| Tabell 4 Vindusstørrelser som benyttes for alternativt klasserom .....   | 42 |
| Tabell 5 Refleksjonsverdier for overflater i og utenfor klasserom som undersøkes.....  | 43 |
| Tabell 6 Sentrale inndata tilsvarende verdier fra energiattest for referanseprosjekt ved simulering i SIMIEN.....  | 51 |
| Tabell 7 Luftmengder for soner ved simulering i SIMIEN.....  | 53 |
| Tabell 8 Internlaster ved simulering i SIMIEN.....   | 53 |
| Tabell 9 Arealer i romprogram samt tilsvarende prosjekterte arealer for referanseprosjekt. Verdier hentet fra forprosjektrapport (datert 08.04.2011) tilgjengelig på internett. .... | 61 |
| Tabell 10 Resultater for vindusmålinger .....  | 68 |
| Tabell 11 Fasadelengde for klasseromstypene undersøkt.....   | 86 |
| Tabell 12 Antall grupperom knyttet til baser med tilgang på dagslys.....   | 86 |



## 1. Innledning

### 1.1 Bakgrunn

I *IMT-rapport nr 46* fra 2012 fant professor Leif Daniel Houck, ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet, fellestrekk mellom mange av vinnerprosjektene i arkitektkonkurranser for skoler rundt om i landet. I 6 av 10 konkurranser var vinneren det prosjektet med færrest antall løpemeter fasade per klasse i forhold til øvrige prosjekter i konkurransen. Mange prosjekter var preget av såkalte vridde klasserom med en av kortveggene som fasadevegg. Videre viste rapporten at i 6 av 10 tilfeller var undervisningsareal per klasse uten dagslys størst for vinnerprosjektet. For vinnerprosjektene i plan- og designkonkurranser hadde 18 % av grupperommene i skolene tilgang på dagslys, mot 41 % for taperprosjektene. For noen av vinnerprosjektene ble det og registrert ned mot 5,5 løpemeter fasade per klasserom. (Houck 2012)

På bakgrunn av funnene i denne rapport har det vært ønskelig å undersøke hvordan dagslysforholdene kan være i slike dype, vridde klasserom. Videre var det ønskelig å vurdere dagslysforholdene ut i fra dynamiske simuleringer med stedsavhengige sol og himmelforhold gjennom året tatt i betraktning.

Endringer i utforming av klasserommene vil kunne endre bygningskroppen som en helhet. En undersøkelse av den energimessige effekten av en utforming med klasserom med redusert dybde og flere funksjoner med tilgang til dagslys ble derfor også vurdert som interessant.



## 1.2 Problemstilling

Resultatene i *IMT-rapport nr. 46* viser en tendens til at skoler som utformes kompakt, og hvor klasserommene blir dype og smale med dagslys fra rommets kortside, kommer seirende ut i arkitektkonkurranser. Hvordan kan dagslysforholdene være i slike smale og dype klasserom? Hvor mye bedre vil en mindre dyp løsning kunne prestere?

Det kan videre spekuleres i om den kompakte klasseromsformen delvis er et resultat av økt fokus på energieffektive bygningsmasser. Er det slik at fokus på energieffektivitet nødvendigvis må gå på bekostning av et godt innemiljø med tilstrekkelig dagslys?

Oppgaven søker å finne svar på følgende spørsmål:

- Hvordan vil en typisk klasseromsform fra en kompakt skole prestere ved dynamisk dagslyssimuleringer basert på stedsbestemte årlige klimadata sammenlignet med en alternativ form?
- Hvordan vil alternative klasseromsdimensjoner kunne påvirke bygningskroppen som en helhet?
- Hvor stor betydning vil en endring i klasseromsform, og derfor også bygningskropp, kunne ha for bygningens energibehov?

### 1.3 Målsetting

Ved å se på et valgt representativt skolebygg med kompakt utforming søker oppgaven å finne svar på de nevnte spørsmålene.

Oppgaven skal ved bruk av simuleringsprogram og målemetode basert på årlige klimatiske data analysere hvordan dagslysforholdene kan være i et typisk dypt klasserom. Resultatene sammenlignes med et alternativt klasserom av en mindre dyp variant.

Videre kan det tenkes å være avgjørende for resultatet i slike komplekse utformingsprosesser at kriterier for dagslys inkorporeres så tidlig som mulig i prosessen ved å inngå som en del av kravspesifikasjonene i konkurransene. I den forbindelse søker oppgaven å illustrere i hvor stor grad arealmessige endringer som øker tilgangen på dagslys kan påvirke bygningens helhetlige form. Dette gjøres ved å utarbeide et helhetlig alternativt forslag som sammenlignes med det eksisterende forprosjekt for det valgte referanseprosjekt.

Da endringer i bygningskropp antas å påvirke energibehovet søker oppgaven å undersøke betydningen en alternativ utforming vil ha for bygningens energibehov.

### 1.4 Oppgavens oppbygning

I kapittel 2 belyses relevant teori. Her presenteres også simuleringsprogrammer som vil benyttes i oppgaven. I kapittel 3 presenteres metode for arealmessige endringer i bygning, dagslysberegninger, samt energiberegning. Her presenteres også hvilke resultater og sammenhenger som vil være sentrale å presentere i oppgavens resultatkapittel. Kapittel 4 presenterer de ulike analyser som er utført og resultater fra simuleringer og endringer i arealer. I kapittel 5 diskuteres resultatene knyttet til dagslys, arealer og energi. Avslutningsvis inneholder kapittel 6 konklusjon og forslag til videre arbeid.

## 2. Teori (Litteraturstudie)

Ved oppgavens start ble det utført en litteraturstudie av relevant teori. I søket etter relevant litteratur er det blant annet benyttet følgende kanaler:

- Google Scholar
- Web of science
- Generell internettsøk
- BIBSYS
- Byggforskserien
- Anbefalte artikler og publikasjoner

Sentrale søkeord benyttet:

Daylight, dagslys, UDI, Useful Daylight Illuminance, energy efficiency, daylight metrics, DAYSIM, daylight simulation, lighting, dagslys i skole, utforming av skolebygg

### 2.1 Dagslys

Dagslys kommer av stråling fra solen som passerer gjennom atmosfæren. Det lys som defineres som synlig lys er del av det elektromagnetiske spekteret, og har bølgelengder i intervallet 0,40-0,76 mikrometer. (Moore 1991; Store Norske Leksikon 2014)

#### Lumen, candela og lux

Lumen er måleenheten for det som kalles lysstrøm. En lumen vil si den lystrømmen som utstråles fra en lyskilde, i form av et punkt, innenfor en romvinkel som har en uniform lysstyrke på én candela. (Moore 1991)

Candela er SI-enheten for lysstyrke, som beskriver mengden lysstrøm i en viss retning. Én candela tilsvarer én lumen per steradian. (Moore 1991)

En overflate sies å bli belyst når den treffes av en lysstrøm. Belysningsstyrke vil si tettheten av lysstrømmen som treffer en flate. Måleenheten for belysningsstyrke er lux, som vil si lumens per kvadratmeter. (Moore 1991)

### 2.1.1 Prinsipper knyttet til dagslys

#### Hvordan lys brer seg

I likhet med all stråling er retningen til en hver lysstrøm fra en punktkilde alltid rett vekk fra kilden. Følgelig vil ikke retningen av strålene være parallell. Dette medfører at belyningsstyrke sies å ha en invers kvadratisk sammenheng med avstanden fra kilden. Dobles avstanden fra en lyskilde med konstant lysstrøm vil følgelig en like stor lysstrøm spres over en overflate som er fire ganger så stor. I et slikt tilfelle kan belyningsstyrken sies å være redusert til 25 % av styrken ved den opprinnelige lengde. (Moore 1991)

Mengden lys som treffer en overflate er blant annet avhengig av overflatens vinkel i forhold til lysets retning. En flate treffes av størst mengde lysstrøm når den er orientert vinkelrett på lysets retning. Dersom overflaten har en annen vinkel i forhold til det innfallende lyset vil et mindre område eksponeres. Dermed treffer færre lumen overflaten og belyningsstyrken reduseres. (Moore 1991)

Når en lysstrøm treffer en overflate vil en andel av lyset kunne absorberes og en andel reflekteres. En overflate som har en viss grad av gjennomsiktighet vil i tillegg kunne slippe en viss mengde lysstrøm gjennom materialet. Refleksjonen for en overflate sier noe om forholdet mellom innfallende lysstrøm på flaten og reflektert lysstrøm. På samme måte sier absorpsjonen noe om forholdet mellom den absorberte lysstrømmen og innfallende lysstrøm på overflaten. Ved gjennomslipp av lysstrøm gjennom et gjennomsiktig materiale sier transmisjonen for materialet noe om forholdet mellom lysstrøm som treffer overflaten og lysstrømmen som slippes gjennom materialet. (Moore 1991)

Reflektert luminans er et mål for den lysstyrken som reflekteres av en gitt overflate. (Moore 1991) I forbindelse med reflektert lysstrøm av en overflate kan det også snakkes om subjektiv lysstyrke. Dette har sammenheng med at menneskets oppfatning av lys er avhengig av øyets tilpasning til lyset. Luminans er det foretrukne begrep når det er snakk om lysmengder, da lysstyrke henger mer sammen med det subjektive synet. Luminans måles i candela per kvadratmeter. (Moore 1991)

Luminans fra en overflate som reflekterer en viss mengde lys er avhengig av den innfallende lysmengden og refleksjonsfaktoren for overflaten. En overflate med en refleksjonsfaktor på 50 %, som treffes av en viss lysmengde, vil ha en luminans på halvparten av den mengden som traff overflaten. (Moore 1991)

### Overflaters tekstur

I følge Moore har tekturen til en overflate betydning for hvordan lyset reflekteres videre av overflaten. Overflatetekturen kan være av en slik karakter at lyset reflekteres likt i alle retninger. Dette kalles en matt overflate, og det er her snakk om en diffus refleksjon. I den andre enden av skalaen kan overflaten være av en slik karakter at lystrålen reflekteres videre i én retning. Det er da snakk om en blank overflate. Disse to tilfellene kan sies å være to ytterpunkter for hvordan lyset reflekteres av en overflate. Refleksjonen for en overflate vil og kunne ha en blanding av disse som karakteristikk. En slik overflaterrefleksjon kan sies å ha en semi-diffus refleksjon. (Moore 1991)

### Gjennomsiktige overflaters transmisjon av lys

Materialer med en viss gjennomsiktighet kan slippe gjennom en lysstrøm både spekulært, diffust, eller på en semi-diffus måte. (Moore 1991)

#### 2.1.2 Kildene for dagslys

Kildene for dagslys deles inn i direkte og indirekte kilder. Direkte kilder vil si direkte stråling fra sola og direkte diffust lys fra himmelen. Indirekte kilder for dagslys omfatter lys som er reflektert av, eller sluppet gjennom, én eller flere overflater. (Moore 1991)

#### Direkte solly

Solens posisjon på himmelen er av betydning for det direkte og indirekte sollyset. Solens bevegelse over himmelen til ulike tider av året kan kartlegges og visualiseres ved hjelp av en tenkt halvkule som representerer himmelen. (Moore 1991)

Solens posisjon til en hver tid kan beskrives ved hjelp av en vertikal vinkel fra bakkeplan og opp til solen samt en horisontal vinkel fra sør til solens posisjon. Førstnevnte kalles en høydevinkel og sistnevnte en azimutvinkel. (Moore 1991)

### **Direkte lys fra himmelen**

Sollys som entrer atmosfæren reflekteres og brytes på vei mot jorden. Himmellys er diffust lys som er et resultat av disse refleksjonene og brytningene i atmosfæren. (Moore 1991)

Lys fra en overskyet eller en klar himmel må betraktes som en lyskilde fordelt over et areal. Belysningen fra en slik kilde kan i følge Moore (1991) karakteriseres som en ikke fullt så skarp belysning som er relativt skyggefri. Til sammenligning er sollyset en punktkilde for lys. (Moore 1991)

### **Indirekte lyskilder**

En hvit overflate av en matt karakter, som belyses av sollyset eller diffust lys fra himmelen, gjøre den til en mulig indirekte kilde for belysning. Kvaliteten og fordelingen av lyset er, på grunn av at lyset er fordelt på og reflekteres av en flate, tilnærmet likt som for direkte diffust lys fra himmelen som slippes gjennom en åpning av tilsvarende størrelse. (Moore 1991)

### **Diffuse reflektorer**

Dersom en diffus reflektor skal reflektere lys fra en kilde til et mottakspunkt vil den optimale vinkelen, som gir størst belysningsstyrke av mottakspunktet, være et kompromiss mellom to sentrale vinkler. Disse to er vinkelen mellom lyskilde og reflektor, samt vinkelen mellom reflektoren og mottakspunktet. Den tilsynelatende størrelsen på reflektoroverflaten, sett fra mottakspunktet, vil være størst dersom flaten er vinklet normalt med hensyn til mottakeren. Likeledes vil optimal reflektorluminans inntreffe når reflektorflaten er normalt stilt i forhold til lysstrømmen fra kilden. Slik blir den optimale vinkelen den som gir den samme vinkelen mellom lyskilde og reflektor, som mellom reflektor og mottakspunkt. (Moore 1991)

### **2.1.3 Fundamentale aspekter å ta hensyn til i en designprosess**

Vinkelen på det innfallende lys har betydning for belysningen av en flate. Til sammenligning vil et takvindu over en horisontal arbeidsflate gi en større belysning av

flaten enn for et vertikalt vindu med samme størrelse og avstand fra arbeidsflaten. Her må det allikevel tas med i betraktning at dagslys ovenifra har større sannsynlighet for å forårsake uønsket blending via arbeidsflaten. (Moore 1991)

Blending via arbeidsflaten oppstår lettere for punktkilder for lys. Blendingen kan for eksempel oppstå dersom det konsentrerte lyset fra en punktkilde reflekteres av flaten og direkte til leserens øye. Kilder med en større overflate fordeler lyset mer og gir en mer uniform belysning. (Moore 1991)

Den mest sentrale måten å sørge for innslipp av daglys i en bygning er vinduer. Det bør ved bestemmelse av plassering og størrelse på vinduer blant annet søkes å slippe inn tilstrekkelige mengder daglys i rommet, sørge for en god fordeling av lyset i rommet, samt unngå problemer med blending. (Nersveen 2001)

Høyere plasserte vinduer vil sørge for en økt mengde lys og en bedre inntrengning i rommet. Dette har sammenheng med at rommet eksponeres for en større del av himmelen. Samtidig bør en økt sannsynlighet for blending vurderes. (Nersveen 2001)

Størrelsen på åpningen(e) vil ha betydning for hvordan lyset slippes inn og spres i rommet. Gitt at den totale lysmengden som slippes inn holdes konstant, vil et større åpningsareal føre til en mer uniform fordeling av lyset, en reduksjon av overflateblending, og i tillegg redusere skygger og kontraster. (Moore 1991)

Lysstråler som treffer et objekt vil kunne kaste skygge. Skygge som dannes avhenger av skarpheten til lyset fra kilden samt den tilsynelatende størrelsen av kilden. Skygger med skarpe kanter kan oppstå for lyskilder som for eksempel direkte sollys. Skyggene får mindre skarpe kanter i takt med økningen av størrelsen på lyskilden. Ved belysning fra en punktkilde vil kontrasten mellom overflater som er utsatt, eller ikke utsatt, for direkte lysstrøm forsterkes. Dette har med øyets tilpasning til forskjellene i belysningen av de ulike flatene. (Moore 1991)

Dersom dybden av et rom ikke overskrider det dobbelte av himlingshøyden i rommet vil det normalt sett bli belyst i tilstrekkelig grad med vinduer på én side av rommet. Kunstig belysning må tas i bruk for rom med en større dybde. Tekniske distribusjonssystemer kan også sørge for at lysnivåene forbedres i rommets dybde og sørge for bedre fordeling.

Refleksjonsegenskapene for overflater i rommet blir av en bedre karakter dersom lyse farger benyttes. (Nersveen 2001)

Tekniske innretninger som justerbare persiener påvirker hvordan lyset entrer et rom. Form, overflaterrefleksjon, og vinkling av bladene er alle av betydning for hvordan lyset brytes og spres inn i rommet. Justerbare persiener gjør det mulig å optimalisere innslippet av lys i rommet avhengig av de utvendige lysforholdene til en hver tid. (Moore 1991)

### **Betydningen av vindustype**

Det er med tiden utviklet en stor mengde ulike vinduskomposisjoner med ulike mål/hensikt. Vinduer har ikke bare den funksjon at de slipper til lys og gir mulighet for innsyn/utsyn og nærhet til det utvendige. De har i tillegg den funksjon at de blokkerer eller slipper inn solvarme i et bygg, samtidig som de hindrer eller muliggjør utslipp av stråling innenfra. (Moore 1991)

I den forbindelse deles gjerne strålingspekteret inn i tre sentrale områder av interesse for bygningsdesign. Det er her snakk om det synlige lys (0,4-0,7 mikrometer), infrarød stråling fra sollys (0,7-4,0 mikrometer), samt infrarød stråling fra rommets indre (0,3-0,4 mikrometer). Ulike vinduskomposisjoner er utviklet for å slippe gjennom ønskelige mengder av de ulike strålingstypene. (Moore 1991)

### **Lystransmisjon (LT)**

Lystransmisjon oppgis gjerne i prosent, eller et tall mellom null og én, og beskriver mengden lys som slippes gjennom et gjennomsiktig materiale som for eksempel et vindu. (Nersveen 2001)

### **Dagslysfaktor (DF)**

Dagslysfaktoren beskriver forholdet mellom belyningsstyrken på en horisontal flate inne i et rom og belyningsstyrken ute på en tilsvarende horisontal flate.

Belyningsstyrkene beregnes ut i fra en overskyet og uhindret himmel. Den relative luminansdistribusjonen for en slik overskyet himmel er konstant over tid. Eksempelvis vil et innvendig punkt, som sies å ha en dagslysfaktor på 10 %, motta en tidel av den



belysningsstyrken som mottas i et tilsvarende punkt under en uhindret himmel. (Moore 1991)

#### 2.1.4 Forbedret ytelse blant elever

En undersøkelse utført av Lisa Heschong, Roger L. Wright og Stacia Okura i 2002 fant en statistisk overbevisende sammenheng mellom tilstedeværelse av dagslys og elevers ytelse i skolebygninger. Undersøkelsen benyttet seg av multivariabel lineær regresjonsanalyse, som gjorde det mulig å analysere effekten av flere variabler og bestemme hvilke variabler som ikke hadde noen signifikant effekt. Studien omfattet elever fra 2. til 5. klasse, med hovedsaklig samme lærer i samme klasserom gjennom året. Elevene fulgte et standardisert pensum og deres fremgang ble deretter testet med standardiserte tester. (Heschong et al. 2002)

Undersøkelsen omfattet til sammen tre ulike skoledistrikter i USA; Orange County, California; Seattle, Washington; og Fort Collins, Connecticut. De tre distriktene hadde ulike pensum, læringsstiler, bygningsdesign, og klima. Slik kunne de se om det fantes noen sammenheng på tvers av ulike forhold. Til sammen ble det sett på 6000-8000 elever fra hvert distrikt, og til sammen 2000 klasserom ble klassifisert. (Heschong et al. 2002)

Hvert klasserom ble tildelt en karakter innen tre kategorier; Vinduenes størrelse og gjennomskinnelighet, hvor mye og hvilken type vinduer som ble benyttet, og tilslutt hvor mye dagslys som samlet sett kunne forventes i klasserommet. (Heschong et al. 2002)

For Capistrano-distriktet fant forskerne at klasserommene med høyest score for variabler knyttet til vinduer ble assosiert med 15 % raskere forbedring i matematikk samt 23 % raskere forbedring i lesing over en ett års periode sammenlignet med klasserommene med dårligst score for vinduer. Tilsvarende resultater for Seattle var henholdsvis 13 % og 15 %. Resultater for Fort Collins ble 18 % og 14 %. (Heschong et al. 2002)

Samsvaret mellom funnene på tvers av de tre distriktene antyder en statistisk overbevisende tendens til at det er en viktig sammenheng mellom gode dagslysforhold og ytelse blant elever. Det er allikevel viktig å merke seg at denne studien ikke gir noen

direkte forklaring på hvorfor en slik sammenheng oppstår. Det er ikke utelukkende bevist at det er dagslyset som er årsaken til de observerte effektene. Ei heller er lærernes utdanning eller erfaring tatt med som variabler. (Heschong et al. 2002)

### 2.1.5 Det norske lovverket om dagslys og skolemiljø

Dagslyskrav i Norge i dag som beskrevet i TEK10 (Byggteknisk forskrift):

#### § 13-12.Lys

*”(1) Byggverk skal ha tilfredsstillende tilgang på lys uten sjenerende varmebelastning.”*

*”(2) Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende tilgang på dagslys, med mindre virksomheten tilsier noe annet.”*

#### § 13-13.Utsyn

*”Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn med mindre virksomheten tilsier noe annet.”*

I Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK10) står følgende skrevet:

*”Med rom for varig opphold forstås stue, kjøkken, soverom og arbeidsrom i boenhet. I byggverk for publikum og arbeidsbygning vil i tillegg alle arbeidsrom og publikumsrom være rom for varig opphold. Arbeidsrom og spiserom i arbeidslokaler skal ha tilfredsstillende dagslys når ikke hensynet til oppholds- og arbeidssituasjonen tilsier noe annet.” (Direktoratet for byggkvalitet 2014)*

Videre definerer veiledningen preaksepterte ytelser:

*”Krav til dagslys kan verifiseres enten ved beregning som bekrefter at gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet er minimum 2 %, eller ved at rommets dagslysflate utgjør minimum 10 % av bruksarealet. Ved bruk av gjennomsnittsverdi for dagslysfaktor oppnås et godt utgangspunkt for tilfredsstillende tilgang på dagslys i alle typer rom, uavhengig av størrelse.”*

(Direktoratet for byggkvalitet 2014)

Elevombudet for Oslo sier på sine nettsider følgende:

*”Det bør være minst 2 m<sup>2</sup> plass per elev – helst mer”*

*”...undervisningsrom bør ha minst 300 lux på pulten og 500 lux på tavlen”*

(Elevombud 2014)

## 2.1.6 Analysemetoder for dagslys

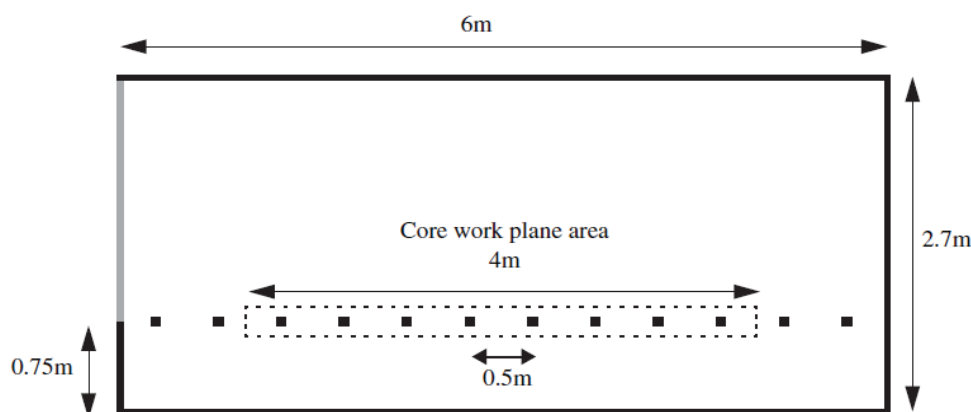
### Useful Daylight Illuminance (UDI)

Useful Daylight Illuminance er en måte å analysere dagslysforhold på som ble introdusert i 2005 av Nabil og Mardaljevic ved Institute of Energy and Sustainable Development (IESD), De Montfort University. (Nabil & Mardaljevic 2005)

I motsetning til dagslysfaktoren, som bruker en såkalt "CIE standard overcast sky", altså en standardisert konstant overskyet himmel med diffust lys, bygger Useful Daylight Illuminance på årlige absolutte luminansverdier som er beregnet/forutsett ut i fra stedavhengige meteorologiske datasett. Meteorologiske data kan hentes ut for intervaller på en time eller mindre for det aktuelle sted. Således kan man simulere belysningsstyrker for aktuelle kalkulasjonspunkter for hver time. (Nabil & Mardaljevic 2005)

I følge Nabil og Mardaljevic er den beste måten å analysere dataene å ta med alle beregningene med en times intervall for et helt år. Bare dette vil kunne få med både lengre og kortere variasjoner i sol- og himmelforholdene. Videre kan man begrense beregningene til kun å ta for seg et visst antall timer per dag, som for eksempel en arbeidsdag. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Useful Daylight Illuminance kan i følge Nabil og Mardaljevic sies å ivareta noe av den enkelheten som gjorde dagslysfaktoren til et så mye brukt begrep. Nabil og Mardaljevic angir noen aktuelle måter å analysere samt behandle de simulerte dataene. Figur 2.1.1 gjengir hvordan en linje målepunkter kan bestemmes for et bestemt rom. (Nabil & Mardaljevic 2005)



Figur 2.1.1 Eksempel på kalkulasjonspunkter for daglyssimulering (Nabil & Mardaljevic 2005)

Her er punktene plassert på en rett linje bakover i rommet med en innbyrdes avstand på 0,5 meter. De åtte midterste punkter ble ansett som kjernepunktene for analyse. For dette eksempelet ble veggene, himling og gulv gitt henholdsvis 0.7, 0.8, og 0.2 som refleksjonsfaktor for overflatene. Vinduet hadde en lystransmisjon på 76 %, og de undersøkte punktene lå i en høyde av 0,75 meter over gulvet. Det ble så simulert dagslyskoeffisienter for de ulike punktene, hvor himmel- og solforhold ble hentet fra direkte normale og diffuse horisontale bestrålingsdata i et test-referanse-år. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Belysningsstyrker over en arbeidsflate i et gitt rom kan variere mye fra et punkt nær et vindu til et punkt lenger inn i rommet. For å ivareta hensynet til realistiske tidsavhengige data for dagslys må derfor den ensidige grensen på 500 lux gås bort i fra. Det må bestemmes et intervall hvor verdiene kan anses som nyttige for brukeren. Altså verdier som kan gi en merkbar positiv medvirkning til belysningen. Hvis den målte verdien er under en minimumsgrense anses den som for liten til å medvirke i stor nok grad til brukerens visuelle persepsjon av omgivelsene og utførelsen av visuelle oppgaver. Hvis den målte verdien er over en øvre grense vil lyset kunne bidra til både visuell og termisk ubehag hos brukeren. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Dagslys innenfor intervallet 100-2000 lux betegnes som Useful Daylight Illuminance ("nyttig dagslys belysning"). De øvre og nedre grenseverdiene er utarbeidet av Nabil og Mardaljevic på basis av publiserte undersøkelser vedrørende brukeroppførsel i dagslysbelyste kontorlokaler med et bredt spekter av belysningsforhold. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Nabil og Mardaljevic beskriver hvordan de "rå data" kan gjennomføres og det kan telles antall tilfeller der verdien i et punkt ligger innenfor intervallet. Således kan dataene presenteres som prosentandel av (arbeids)året hvor simulerte verdier over, under, eller innfor det bestemte intervallet ble observert. Slike data kan presenteres punkt for punkt, eller samlet for en bestemt gruppe punkter. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Nabil og Mardaljevic illustrerer hvordan vindustype og himmelretning kan spille inn på resultatene for Useful Daylight Illuminance. Det ble utført en undersøkelse av et rom med samme geometri, hvor endringer ble gjort i glasstype samt glassfasadens himmelretning. Glasstypene som ble testet var klart glass, et "middels sotet" glass, og et

”meget sotet” glass. For himmelretninger ble de fire himmelretningene nord, øst, vest og sør testet. Resultatene av undersøkelsen viser at disse faktorene er av betydning for resultatene for Useful Daylight Illuminance. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Figur 2.1.2 viser resultatene fra nevnte undersøkelse med prosentandeler under, innenfor, eller over intervallet på 100-2000 lux. Prosentandelene angir her andel av (arbeids)året hvor simulerte verdier ligger innenfor det aktuelle intervallet for *alle* punkter som betraktes samtidig. (Nabil & Mardaljevic 2005)

**Table 1** The three UDI metrics (percentage of the working year where UDI is achieved, exceeded and fell-short) for 12 glazing-orientation combinations

| $P_{udi}$ %<br>Achieved | $P_{E>2k}$ % Exceeded    | North | East | South | West |
|-------------------------|--------------------------|-------|------|-------|------|
|                         | $P_{E<100}$ % Fell-short |       |      |       |      |
| Clear                   |                          | 43.6  | 35.7 | 44.5  | 64.1 |
|                         |                          |       | 11.2 | 9.6   | 8.7  |
| Medium tint             |                          | 51.4  | 24.9 | 35.6  | 59.6 |
|                         |                          |       | 14.1 | 12.1  | 10.6 |
| Heavy tint              |                          | 63.1  | 5.5  | 20.1  | 50.2 |
|                         |                          |       | 21.8 | 18.7  | 14.6 |

**Figur 2.1.2** Effekten av lystransmisjon og himmelretning på resultatene for UDI (Nabil & Mardaljevic 2005)

Resultatene fra overnevnte test tar ikke med styring av eventuelle skyggeanordninger i betraktning. Da det er etablert at verdier over 2000 lux, som kan gi termisk eller visuelt ubehag, vil kunne gjøre at brukere benytter eventuelle skyggeanordninger, vil de reelle simuleringene av Useful Daylight Illuminance eksempelvis for et kontor bli annerledes. Det er derfor viktig å ta med slike eventuelle anordninger i simuleringene. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Gjennom et praktisk eksempel, som benyttet seg av typiske persienner, illustrerte forfatterne betydningen av en slik anordning. I deres modell ble persiennene satt til å sendes ned når verdier på over 2000 lux ble simulert i et av de aktuelle punktene. I dette eksemplet ble styringen av persiennen sett på som manuell fra brukerens side, og kun avhengig av dagslysverdigrensen på 2000 lux. Simuleringen kan ikke ses på som spesielt realistisk da den ikke på noen måte tar hensyn til en stokastisk variabel som mennesket kan være. (Nabil & Mardaljevic 2005)

Resultatene av denne simuleringen er gjengitt i figur 2.1.3. For sørvendt vindu med klart glass ble prosentandelen hvor Useful Daylight Illuminance oppnås tredoblet ved bruk av persienner. (Nabil & Mardaljevic 2005)

**Table 2** The three UDI metrics (percentage of the working year where UDI is achieved, exceeded and fell-short) for the office with blinds. All 12 glazing-orientation combinations

| $P_{udi}$ %<br>Achieved | $P_{E>2k}$ % Exceeded | North | East | South | West |                          |     |      |     |
|-------------------------|-----------------------|-------|------|-------|------|--------------------------|-----|------|-----|
|                         |                       |       |      |       |      | $P_{E<100}$ % Fell-short |     |      |     |
| Clear                   |                       | 35.3  | 0    | 42.6  | 0    | 61.4                     | 0.8 | 52.6 | 2.0 |
|                         |                       |       | 55.2 | 47.8  | 28.2 |                          |     | 35.8 |     |
| Medium tint             |                       | 28.2  | 0    | 38.2  | 0    | 58.6                     | 0   | 49.2 | 0.2 |
|                         |                       |       | 62.2 | 52.3  | 31.8 |                          |     | 41.1 |     |
| Heavy tint              |                       | 29.3  | 0    | 34.8  | 0    | 51.7                     | 0   | 42.8 | 0   |
|                         |                       |       | 61.2 | 55.6  | 38.7 |                          |     | 47.7 |     |

**Figur 2.1.3** Effekten av bevegelige persienner på resultatene for UDI (Nabil & Mardaljevic 2005)

Nabil og Mardaljevic beskriver hvordan Useful Daylight Illuminance kan knyttes opp mot elektrisitetsforbruk i forbindelse med kunstig belysning. Det er i følge Nabil og Mardaljevic rimelig å forvente at en høy tilstedeværelse av nyttig dagslys (UDI) vil kunne bidra til å holde bruken av elektrisk belysning lavt. (Nabil & Mardaljevic 2005)

### Målemetoder for dagslys og energibesparelser

I en artikkel av J. Mardaljevic, L. Heschong, og E. Lee fra 2009 adresseres problematikken rundt mange av dagens benyttede metoder for evaluering av dagslysforhold. Det opplyses at flere av metodene, der i blant dagslysfaktoren(DF), tar ikke med i betraktning at belysningsstyrker fra dagslys er dynamiske. Spredning og lysstyrke varierer kontinuerlig i samsvar med sol- og himmelforhold, i tillegg til interaksjonen med overflater. (Mardaljevic et al. 2009)

En målemetode eller måleenhet beskrives som en matematisk kombinasjon av målinger, dimensjoner, eller tilstander som representeres på en kontinuerlig målestokk.

Hensikten med en målemetode er å kunne forutsi bedre eller dårligere ytelser ved å kombinere et sett ulike faktorer. Avgjørelser kan så tas på bakgrunn av slike resultater. Det fremheves at de mest benyttbare måleenhetene har en viss grad av enkelhet slik at resultatene intuitivt kan forstås. De bør og kunne måles direkte for validering. (Mardaljevic et al. 2009)

Dagslysfaktoren (DF) omtales som en grov forenkling av den faktiske belysningen fra dagslyset. Faktoren kommuniserer noe ganske forskjellig fra forutsigelser basert på faktiske belysningsnivåer fra både realistisk sollys så vel som realistisk himmelbelysning. Dagslysfaktoren for et gitt rom vil forbli den samme uavhengig av om rommets vinduer er orientert mot nord eller sør, eller hvilket sted i verden rommet befinner seg. Videre kan ikke dagslysfaktoren benyttes til analyse av direkte sollys for ulike utformingsstrategier, da den ikke tar sollys med i betraktning. (Mardaljevic et al. 2009)

I følge forfatterene fører et ønske om bygninger som i større grad er bærekraftige, og har et lavere energibehov, til et behov for detaljert evaluering av dagslysforholdene. Det virker for forfatterne som at det er allment akseptert at man kan oppnå mindre bruk av elektrisk belysning ved å ha et design som legger til rette for gode dagslysforhold. Følgelig kan også det generelle energibehovet for en bygning reduseres. (Mardaljevic et al. 2009)

Forfatterne konkluderer i denne artikkelen med at dagens modeller for analyse av dagslysforhold basert på klimatiske data er kommet ganske langt. Allikevel er det enda ingen aksepterte metodiske retningslinjer for implementering av teknikkene. De fleste dataprogrammer for simulering av dagslys i dag benytter seg av Radiance-systemet. DAYSIM nevnes som et program som kan benyttes til analyse, men som krever noe kjennskap til Radiance-systemet og generell kunnskap om ytelser knyttet til dagslys. Artikkelen opplyser at arbeidet med å fastsette målverdier som gjør det mulig å oppfylle kriterier til både det visuelle samt det energimessige kanskje er noe av det vanskeligste som ligger fremfor oss. Allikevel er det, selv uten slike generelt anerkjente og aksepterte målverdier, mulig å få ut verdifull innsikt og konkrete råd gjennom slike analyser. (Mardaljevic et al. 2009)

### **2.1.7 Benyttet programvare og prinsipper for simuleringer**

#### **DAYSIM 3.1e (beta)**

DAYSIM er et validert dataprogram for simuleringer knyttet til dagslys, som har mulighet til å modellere årlige dagslysforhold i og rundt bygninger. Utviklingen av programmet er koordinert av Christoph Reinhart siden 1998. Programmet muliggjør modellering av dynamiske fasadesystemer, fra persiener til mer spesielle elementer for



lysspredning, og ulike vindustyper eller kombinasjoner av disse. Videre gjør programmet det mulig å spesifisere den elektriske belysningen, og styringen av dette, for en spesifikk modell. (Daysim 2014a)

DAYSIM kan simulere dagslys i henhold til flere målemetoder/måleenheter som baseres på klimatiske data. Eksempler på dette er Daylight Autonomy (DA) og Useful Daylight Illuminance (UDI). I tillegg er det mulig å simulere årlige bruk av elektrisk belysning samt om blanding kan oppstå. (Daysim 2014a)

For simuleringer av årlige dagslysforhold kombinerer DAYSIM utregning av dagslyskoeffisienter med en modell ved navn *Perez all weather sky model*, samt RADIANCE omvendt strålesporing. Programmet regner så ut tidsavhengige belysningsstyrker, luminanser, utstråling og solinnstråling. (Daysim 2014b)

I simuleringer hvor dynamiske skyggeløsninger som persiener benyttes vil DAYSIM generere årlige belysningsprofiler for skyggeløsning i ulike posisjoner, for så å bruke en utviklet modell ved navn *Lightswitch* (Reinhart 2004) til å forutsi hvilken posisjon skyggeløsningen vil innta. (Daysim 2014b)

### Dagslyskoeffisienter

Forståelsen av dagslyskoeffisienter er sentral for forståelsen av hvordan DAYSIM kan simulere årlig varierende himmel og solforhold.

Dagslyskoeffisienter beskrives som normaliserte verdier kalkulert i bestemte punkter i en konstruksjon som ønskes undersøkt. Verdiene beregnes på basis av beregnede lysbidrag fra solen i ulike posisjoner, samt himmel og bakke, som er delt inn i tenkte segmenter. Figur 2.1.4 og 2.1.5 illustrerer definisjonen på en dagslyskoeffisient samt hvordan himmelen deles inn i tenkte segmenter. DAYSIM benytter seg av en slik himmelinndeling. Figur 2.1.6 viser en skjematisk fremstilling av fremgangsmetoden ved simulering i DAYSIM. (Reinhart & Walkenhorst 2001)



For et bestemt sensorpunkt kan det tilknyttes en dagslyskoeffisient fra et bestemt segment. Denne koeffisienten kan defineres som:

$$DC_{\alpha}(x) = \frac{E_{\alpha}(x)}{L_{\alpha}\Delta S_{\alpha}}$$

(Reinhart & Walkenhorst 2001)

Ligningens ulike parametere defineres som følger:

$x$  = Sensorpunkt

$S_{\alpha}$  = Himmelsegmentet

$\Delta S_{\alpha}$  = Vinkelstørrelse for himmelsegmentet

$E_{\alpha}(x)$  = Belysning ved  $x$  fra  $S_{\alpha}$

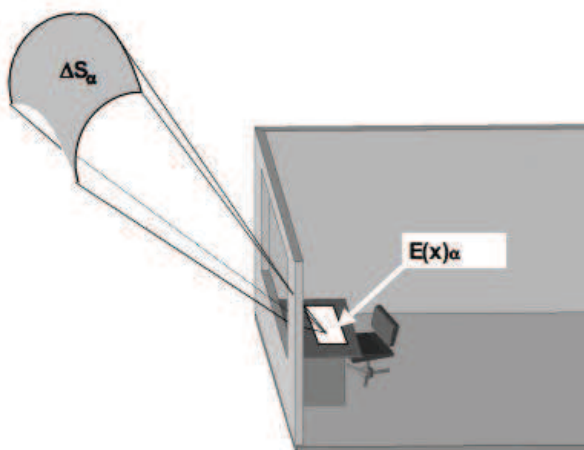
$L_{\alpha}$  = Luminansverdi for  $S_{\alpha}$

Hver sensor vil få en samlet belysningsstyrke uttrykket ved følgende ligning:

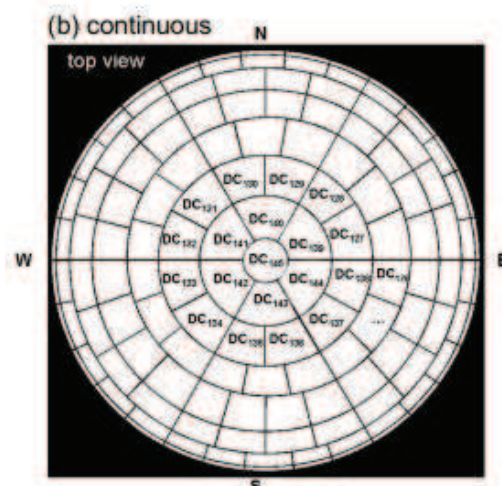
$$E(x) = \sum_{\alpha=1}^N DC_{\alpha}(x)L_{\alpha}\Delta S_{\alpha}$$

(Reinhart & Walkenhorst 2001)

Den samme metoden benyttes for beregning av belysning fra diffuse bakkeoverflater samt sollys. Det kan beregnes luminansverdier, som funksjon av tid, for både solposisjoner og himmelsegmenter. (Reinhart & Walkenhorst 2001)

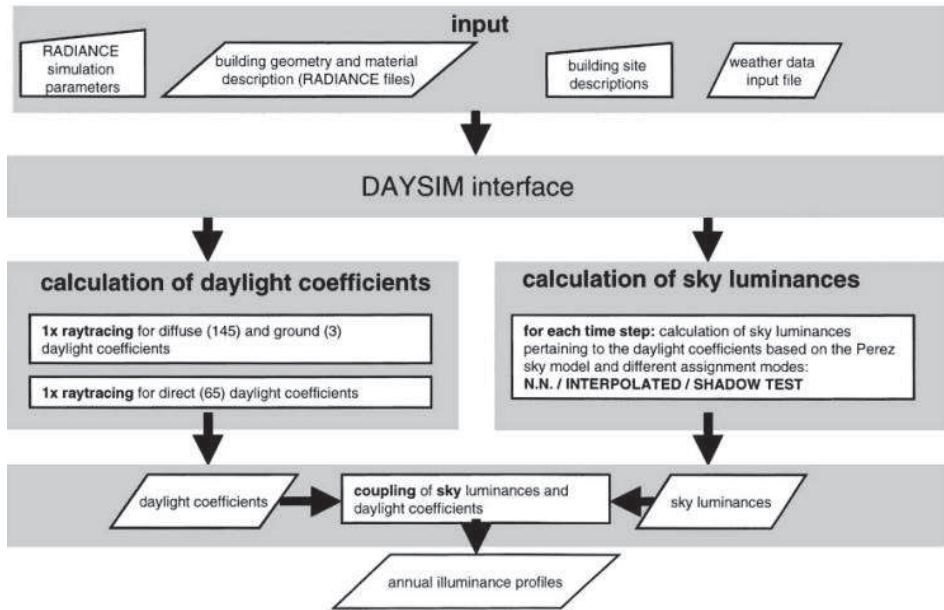


Figur 2.1.4 illustrasjon av definisjonen på en dagslyskoeffisient (Reinhart & Walkenhorst 2001)



Figur 2.1.5 Himmelinndeling i segmenter som benyttes i DAYSIM (Bourgeois et al. 2008)

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie



Figur 2.1.6 Skjematisk fremstilling av fremgangsmetode ved simulering i DAYSIM (Reinhart & Walkenhorst 2001)

### Radiance

Radiance er en samling dataprogrammer som kan brukes til å analysere belysning for ulike utforminger i designprosess. Radiance er et validert "fysisk-basert" program for baklengs strålesporing. Radiance kan kalkulere verdier knyttet til spektral utstråling (luminans og farge), irradians (belysningsstyrke og farge), samt om blanding vil kunne oppstå. (Radiance 2012a) (Radiance 2012b)

### Google SketchUp

Google SketchUp er et 3D tegneverktøy utviklet av Google. (SketchUp 2013)

### Su2ds

Su2ds er en plug-in (et programtillegg) til tegneprogrammet Google SketchUp. Su2ds er utviklet av Josh Kjenner og gir mulighet for å transportere geometri laget i Google SketchUp til programmet DAYSIM. Brukeren av Google SketchUp får med Su2ds mulighet til å spesifisere all modellrelatert informasjon som trengs for å kunne utføre en analyse av modellen i DAYSIM. Videre gir Su2ds mulighet for å vise resultatene av simuleringene gjort i DAYSIM i SketchUp-modellen. (Daysim 2014c; Su2ds 2014)

## 2.2 Utformingen av skole

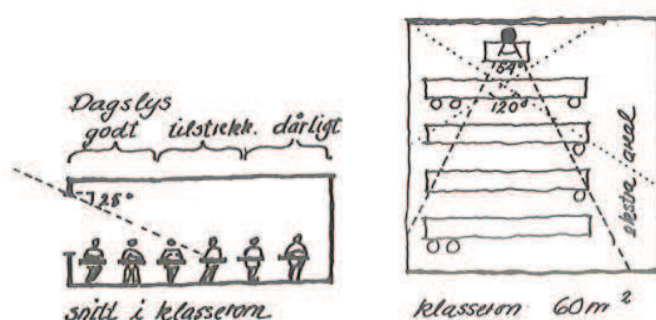
### 2.2.1 Klasserommets dimensjoner og størrelse

Aktivitetene som foregår i klasserommet kan deles inn i tre hovedgrupper avhengig av type aktivitet. Disse er lærerstyrt informasjon, aktiviteter der gruppeorientert diskusjon er sentralt, og individuelt arbeid. (Brantenberg 1980)

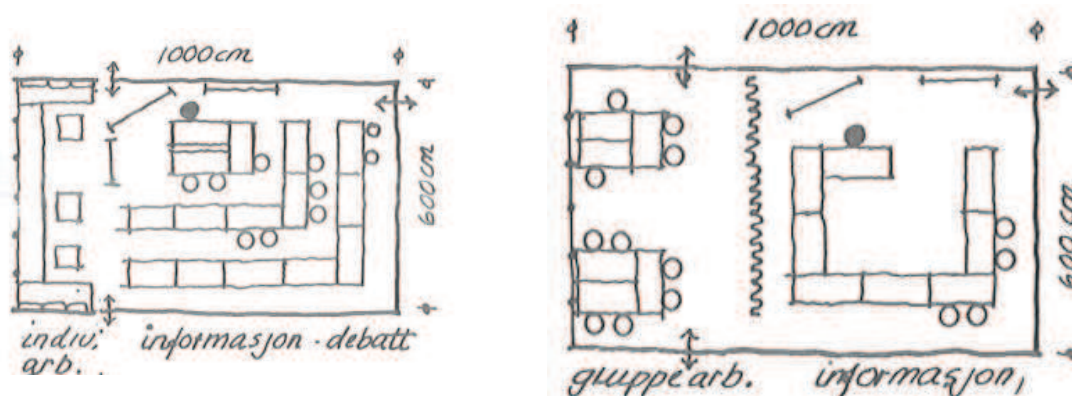
Dersom undervisning foregår i form av pult plassert med hestekoform anbefales et areal på 5-6 meter ganger 10-12 meter. Det anbefales at klasserommet kan deles inn i et hovedområde for informasjon og diskusjon på ca. 45m<sup>2</sup>. Videre kan de resterende 15m<sup>2</sup> utnyttes separat eller bli en del av et gruppeareal. (Brantenberg 1980)

Det tradisjonelle klasserommet omtales gjerne som et rom på 60 m<sup>2</sup>, med individuell pultplassering for elevene, dagslys fra venstre side, og elevene orientert mot lærer og tavle på et bestemt sted i rommet. (Brantenberg 1980)

Dersom dagslys skal kunne være aktuelt for alle elevene i klasserommet anbefales det en organisering som medfører at elevene sitter i rekker bak hverandre. Brantenberg hevder at i klasserom med en dybde på 7-8 meter vil det allikevel ikke bli tilstrekkelig med dagslys til å fungere som arbeidslys for de innerste arbeidsplasser (se figur 2.2.1, venstre). (Brantenberg 1980)



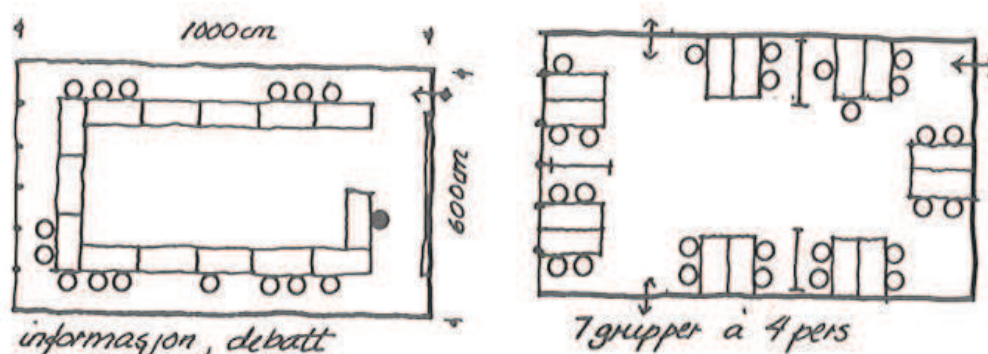
Figur 2.2.1 Dagslysforholdene avtar i dybden (venstre). Mulig oversiktsproblemer i tilnærmet kvadratiske klasserom (høyre) (Brantenberg 1980)



Figur 2.2.2 Klasserom på 6\*10 meter kan organiseres med to soner. Dagslyset er her ikke prioritert som hovedbelysning (Brantenberg 1980)

Ved individuelle pulter kan det for et slikt klasserom også være noe vanskelig for læreren å opprettholde kontakt med alle elevene. Dette er basert på en synsvinkel på 54 grader (se figur 2.2.1, venstre). Eksempelvis ved å organisere pultene med rekker inntil hverandre vil problematikken vedrørende synsvinkel og kontakt forbedres noe. For en slik form på rommet kan det allikevel oppleves som vanskelig å benytte de resterende arealene til separate aktiviteter på en tilfredsstillende måte. (Brantenberg 1980)

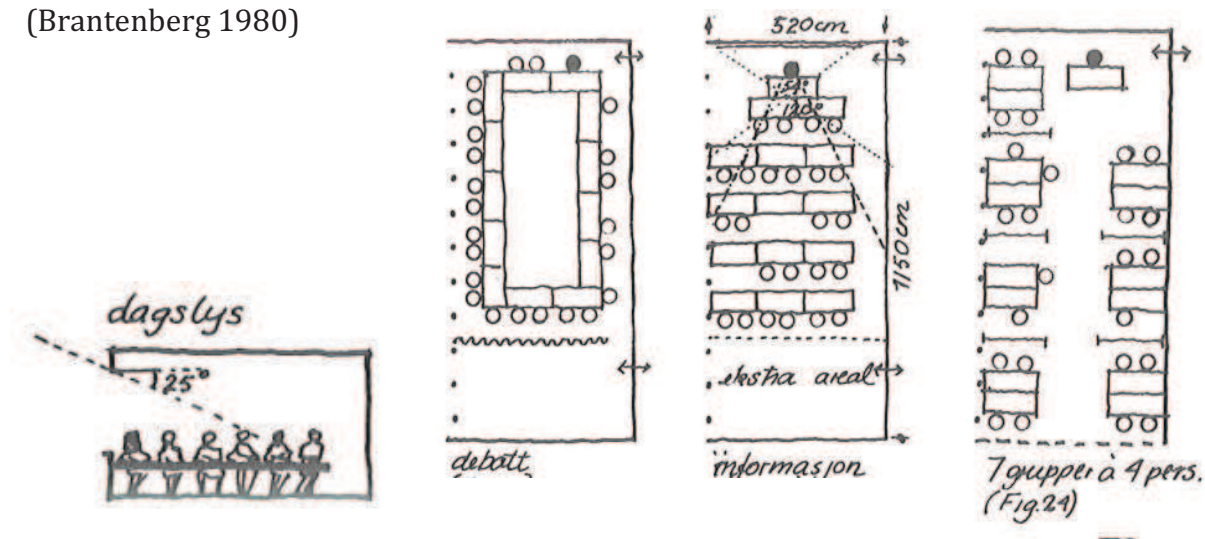
Det foreslås to former på klasserommet med ulik utnyttelse av dagslyset. Den første løsningen omfatter et rom på 6,0\*10,0 meter med vinduer på kortvegg. Denne løsning anser dagslyset hovedsaklig som en kilde til utsyn som skaper variasjon og kontakt med det ytre. Dagslyset som hovedbelysning på arbeidsflater var her ikke hovedprioritet. Følgelig ga dette mulighet for flere møbleringsalternativer. Figur 2.2.2 og 2.2.3 viser hvordan det aktuelle klasserommet kan organiseres på bakgrunn av de betraktninger som er gjort med tanke på dagslys. (Brantenberg 1980)



Figur 2.2.3 Klasserom på 6\*10 meter organisert for informasjonsundervisning eller gruppearbeid. Denne løsningen har ikke dagslyset som hovedbelysning som hovedprioritet (Brantenberg 1980)

Brantenbergs andre foreslåtte alternativ har en størrelse på 5,2\*11,5 meter med vinduer på langside. En slik utforming anses å oppfylle de funksjonskrav som kan stilles, samtidig som utformingen vil kunne primært utnytte dagslyset til belysning.

(Brantenberg 1980)



Figur 2.2.4 Klasserom (5,2\*11,5 meter) der primært dagslyset vil kunne være en kilde til arbeidslys. Vinduer plassert på langside (Brantenberg 1980)

Brantenberg hevder at det tradisjonelle klasserommet i mindre grad egner seg til organisering i to soner. Det vil da kunne være fordelaktig å kombinere et areal for klasseromsaktiviteter samt et annet areal til gruppeorienterte aktiviteter. Utformingen av klasserommene vil naturligvis kunne påvirke planløsninger som en helhet.

(Brantenberg 1980)

Det anbefales en største avstand fra vindusvegg til innerste arbeidsplass på omtrent fem meter dersom dagslys skal kunne anses som den primære belysningskilden ved arbeidsplassen. Ellers må dagslyset primært anses som en kilde for utsyn og trivsel. Romstørrelsen bør være på minimum 45 kvadratmeter med dimensjoner på 5-6m\*8-9m. (Brantenberg 1980)



### 2.2.2 Baseskoleprinsippet

Store Norske Leksikon beskriver baseskolen på følgende måte:

”... betegnelse på en skole der undervisningen ikke foregår i tradisjonelle klasserom, men i ”baser”, som varierer i utforming. Som oftest består en base av et antall mindre, lukkede rom rundt et åpent læringsareal. Hver base består av et varierende antall elever og lærere som samarbeider om undervisningen. Baseskolen er blitt beskrevet som en mellomting mellom en helt åpen skole og en klasseromsorganisert skole.” (Store Norske Leksikon 2014)

### 2.2.3 Funksjoner og arealer i skolen

Det er viktig i utformingen av nye skoler å skape tilpasningsdyktige skoleanlegg. Det må legges til rette for kortsiktige så vel som langsiktige endringer med tanke på både aktivitetstyper og kapasitet. Bygningens struktur bør utformes med dette i tankene. I forbindelse med universell utforming er det desto viktigere å skape tilgjengelige og anvendelige skoler. Slik kan det legges til rette for at mennesker med ulike forutsetninger kan delta. (Buvik 2009)

Rom som klasserom og fellesområder bør utformes med en viss grad av generalitet, fleksibilitet og elastisitet. Samtidig bør det og tilrettelegges for sambruk, i den forstand at visse deler av skolens arealer kan benyttes av andre i lokalsamfunnet til diverse arrangementer. Slik kan skolen fungere som et instrument for felleskap. (Buvik 2009)

Det anses som et mål for utformingen av skoler å sørge for at bygningen er miljøvennlig og har et godt inneklima. Et lavt energibehov hører også til her. Da det ofte kan være knapphet om arealbruken for skoler kan arealbehovet senkes noe ved bruk av noen planleggingsverktøy. Et slikt verktøy er å gjøre en analyse av hvilke arealer som kan samlokaliseres og slik bli et flerfunksjonsareal eller et sambruksareal. (Buvik 2009)

Det skilles mellom tre ulike hovedgrupper knyttet til areal typer i en skole. En primærsone inneholder gjerne baseareal for en bestemt gruppe. Videre kan det opprettes en sekundærsone bestående av fellesarealer for noen bestemte grupper. Til slutt kan en tertiærsone bestå av eksempelvis en gymsal eller en vestibyle som er tilgjengelig for alle byggets brukere. (Buvik 2009)

Et større areal med plass til store mengder mennesker kan være aktuelt for spesielle anledninger og generelt til situasjoner der det er ønskelig å samle et stort antall personer. Aula, vestibyle eller gymsal er eksempler på et slikt areal. (Buvik 2009)

### **2.2.4 Organisering og arbeidsformer i skolen**

En skole organiseres gjerne med såkalte hjemmeområder for eksempelvis bestemte aldersgrupper blant elevene. Det er i dag vanlig med en inndeling i basisgrupper med et antall elever som er noe mindre enn for de mer tradisjonelle klasser. En samling basisgrupper er igjen del av et arbeidsfelleskap ledet av et lærerteam. Etter behov og aktiviteter kan elevene deles opp i grupper av ulik størrelse. For den største andelen av tiden er elevene i sin faste basisgruppe. (Buvik 2009)

Det er viktig at det fysiske miljøet legger til rette for varierte arbeidsformer og ulike gruppestørrelser. I et hjemmeområde bør det være mulighet for arbeid i form av formidling, presentasjon, arbeid i mindre grupper, samt individuelt arbeid. De ulike arbeidsformene stiller ulike krav til arealene. Det er en sterk sammenheng mellom det pedagogiske prinsippet for en skole og valg av planløsning. En hensiktsmessig fordeling av de ulike arealtyper er viktig. (Buvik 2009)

## 2.3 Energibehov og energiberegning

### 2.3.1 Bygningsfysiske egenskaper

#### Varmetransport

Varmetransport skjer som en følge av forskjeller i temperatur på to sider av en konstruksjon. Transporten vil skje i retning mot den side med lavest temperatur. I all hovedsak vil slik transport av varme skje på tre forskjellige måter; ledning i fast materiale, strømming i væsker/luft/gasser, samt stråling mellom ulike overflater.

Varmetransporten som opptrer som ledning gjennom fast materiale er avhengig av materialets varmeledningsevne. Eksempelvis leder metaller varme svært godt, mens gasser (som luft) og væsker har en mye lavere varmekonduktivitet.

(Edwardsen & Ramstad 2007)

Varmekonduktiviteten til et materiale har benevnningen watt per meter kelvin (W/mK). Den kan beskrives som varmestrømmingen gjennom et én kvadratmeter tverrsnitt. Det er da snakk om et homogent materialsjikt og en temperaturforskjell mellom de to sidene på 1 kelvin (1 celsius) per meter materialtykkelse. (Edwardsen & Ramstad 2007)

U-verdi vil si en varmegjennomtrengningskoeffisient. Dette begrepet sier noe om hvor store mengder varme en bygningsdel slipper gjennom. Det er her snakk om mengden varme per tid som kan strømme gjennom én kvadratmeter av materialet når temperaturene på hver side av materialet har en differanse på 1 kelvin/celsius. U-verdi har benevnningen watt per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>). (Edwardsen & Ramstad 2007)

Den totale mengden varme som passerer gjennom en konstruksjon per tid kan beregnes simplifisert på følgende måte:

$$Q = U * A * (\theta_i - \theta_e) * h \text{ (Wh)}$$

Q = totale varmemengde, U = U-verdi for konstruksjonen, A = konstruksjonens areal (m<sup>2</sup>),  $\theta_i$  = temperatur inne,  $\theta_e$  = temperatur ute, h = tid i timer. 1000 Wh tilsvarer 1 kWh. (Edwardsen & Ramstad 2007)



## Ventilasjon i skole

Ventilasjonsanlegget i en bygning tilfører nødvendig frisk luft til byggets indre. Balanserte mekaniske avtrekksanlegg har vifter som sørger for at luften trekkes ut og inn av bygningen. (Edwardsen & Ramstad 2007)

I følge Byggforskseriens blad 552.311 (Inneklima og ventilasjon i skoler) er nødvendig tilførsel av luft avhengig av personbelastning samt materialbelastning. Behovet for tilført luftmengde kan variere avhengig av forurensningsbelastning samt termisk belastning. Det kan foretas en reduksjon i luftmengder dersom den reelle belastningen fra disse kategoriene kan anses som mindre enn forutsetningene for dimensjonering. I et klasserom oppholder det seg gjerne et stort antall mennesker per areal. Et relativt stort behov for luftmengder vil da være nødvendig. (Mysen 2005)

Behovsstyrt ventilasjon går ut på at luftutskiftningen varierer avhengig av eksempelvis forurensningsnivåer i luften, om rommet er i bruk, temperatur på lufta i rommet, eller luftfuktigheten. Denne type styring er spesielt aktuelt for skoler grunnet varierende personbelastning og varierende brukstider. (Mysen 2005)

Til kjøling oppgir byggebladet et utvalg tiltak for å redusere kjølebehovet. Slike tiltak omfatter blant annet behovsstyrt belysning, skjerming av vinduer som utsettes for sol, at ventilasjonsanlegget kjøres om natten i varme perioder, og/eller økte luftmengder i ventilasjonsanlegget. Mekanisk kjøling oppgis også som aktuelt, men det påpekes at en slik løsning er lite brukt i norske skoler. (Blom 1999)

### 2.3.2 SIMIEN og NS 3031:2007 Beregninger av bygningers energiytelse

#### SIMIEN (versjon 5.018)

Programmet SIMIEN gjør det mulig å simulere effektbehovet, energiforbruket og inn klimaet for en bygning. Simuleringsprogrammet, som er utviklet av Programbyggerne, er validert opp mot NS-EN 15625:2007. (Programbyggerne 2014a)

Beregninger i programmet gjøres i henhold til dynamiske beregningsmetoder basert på NS 3031:2007. En slik metode kan simulere oppvarmingen og kjølingen til en bygningskropp med tidsintervaller på en time eller kortere. Denne beregningsmetoden, i motsetning til månedsstasjonære beregninger, muliggjør inkluderingen av tidsvariable prosesser (for eksempel temperatursenking, kjøleberegninger, ventilering på nattestid, dynamisk solskjerming, og behovsstyrt ventilasjon). (Standard Norge 2007)

For beregninger er det først viktig å bestemme inndataverdier for bygningskroppen og ventilasjonsanlegget. Varmetapstall og varmetapskoeffisient må så bestemmes. Videre bestemmes verdier for blant annet internt varmetilskudd, temperaturer, brukstider på dagen, etc. (Standard Norge 2007)

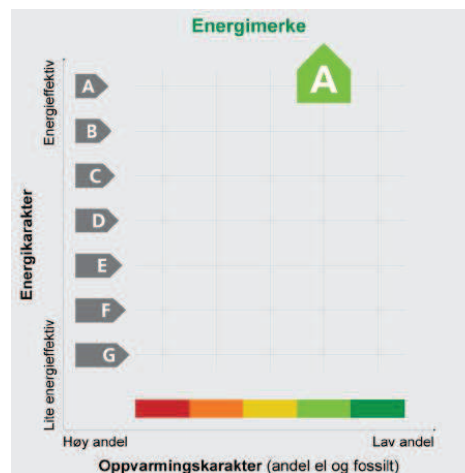
Ved beregning er det så nødvendig å dele bygningen inn i ulike soner avhengig av faktorer som ventilasjonsanlegg og tilhørende luftmengder, eller belastning fra for eksempel personer eller teknisk utstyr. Neste steg i prosedyren vil være å beregne netto energibehov for de ulike energiposter. Videre settes så verdier for inndata relatert til beregning av levert energi. Det er her sentralt med verdier for blant annet virkningsgrader knyttet til energisystemer, faktorer for kjøling og varme, samt dekningsandel fra de ulike energivarer. (Standard Norge 2007)

Behovet for levert energi beregnes så fra de aktuelle energikildene. I tillegg er det mulig å bestemme inndata for beregning av CO<sub>2</sub>-utslipp, kostnader knyttet til energibehovet og, dersom det er ønskelig, energipolitisk energibehov. Resultatene for beregninger og inndataverdier samles så i en rapport. (Standard Norge 2007)

### 2.3.3 Energimerking av bygninger

Energimerket består av to komponenter; en karakter for energi og en karakter for oppvarming. Disse kombineres ved å tildele en bokstavkarakter (A-G) for energi samt en fargekode for oppvarming (rød til grønn). (Energimerking 2014a)

Energikarakteren tildeles på basis av bygningens energimessige standard i seg selv, og beregnes ut i fra typisk energiforbruk for den aktuelle bygningstypen. Det oppgis at en bygning bygget ut i fra vedtatte forskrifter fra 2010 stort sett vil havne på karakteren C. (Energimerking 2014a)



Figur 2.3.1 Illustrasjon av karaktergivning for energimerking

Tabell 1 Tabelloversikt over de øvre grenseverdiene for oppnåelse av de ulike energikarakterer (Energimerking 2014b)

|           | A              | B              | C              | D              | E              | F              | G |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
| Skolebygg | 70,0           | 100,0          | 135,0          | 175,0          | 220,0          | 280,0          | > |
|           | kWh/år*        | kWh/år*        | kWh/år*        | kWh/år*        | kWh/år*        | kWh/år*        | F |
|           | m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> |   |

I Tabell 1 ses øvre grenseverdier for tildeling av ulike bokstavkarakterer for energibehov. Det er i denne kategorien byggets fysiske utforming er av betydning.

Karakteren for oppvarming handler om andelen av oppvarmingsbehovet som blir dekket av elektrisitet, gass eller olje. Jo grønnere farge, desto lavere andel er av disse typene. I den andre enden; jo rødere farge desto høyere andel dekkes av disse typene. (Energimerking 2014b)

Energiberegningene som er innhentet til eller utført i denne oppgaven omfatter kun beregnede energibehov. Faktisk målt energibehov er ikke medtatt, da dette må gjøres etter at bygget er ferdigstilt og tatt i bruk. Målt energiforbruk vil kunne avvike fra de beregnede verdiene fordi hvordan bygningen benyttes av brukerne i realiteten har betydning for energibehovet. Brukervaner har dog ingen innvirkning på energikarakteren som tildeles bygget. Fysiske endringer i bygningen er det eneste som kan endre på dette. (Energimerking 2014c)

### 3. Metode

#### 3.1 Generelt om metode

Metode kan i følge Dalland (2012) deles inn en kvalitativ og en kvantitativ type. En metode som ønsker å forstå seg på betydninger og opplevelser som ikke kan anses som målbare eller som kan tallfestes på noen spesifikk måte kalles en kvalitativ metode. Ved kvantitativ metode er det snakk om informasjon som er målbar. (Dalland 2012)

I denne oppgaven er det benyttes både kvalitative og kvantitative metoder.

Dagslysforhold og energiforbruk er tallfestet gjennom simuleringsprogrammer som bygger på teori for de ulike temaene. Dataene fra simuleringer er satt i system for å finne frem til eventuelle sammenhenger.

I forbindelse med en vurdering av fysisk utforming av klasserom og skolebygg er det foretatt noen målinger og observasjoner ved et referanseprosjekt. Vurderinger her har kunne knyttes opp mot målbare verdier, men har og krevd en vurdering av hvordan utforming oppleves av brukeren. Her er det altså også et menneskelig element som må tas i betraktning. Denne vurderingen av opplevelse kan sies å følge en kvalitativ metode.

Det har i denne oppgaven vært ønskelig å se nærmere på hvor stor betydning utformingen av klasserommet kan ha for dagslyset, og videre betydningen av utformingen av hele bygget for energibehovet. For å finne svar på spørsmålene i oppgavens problemstilling er det utført metodiske undersøkelser av dagslys, arealer og energibehov. Det er valgt å begrense undersøkelser til å basere seg på en representativ case. Ytterligere begrensninger og metodebeskrivelser innen oppgavens ulike undersøkelser utdypes videre i dette kapittel.

### 3.2 Referanseprosjekt – Haukerød Skole, Sandefjord

For å finne svar på oppgavens problemstilling er det benyttet et eksisterende prosjekt som utgangspunkt for videre analyse. Haukerød Skole i Sandefjord har fungert som grunnlaget for typiske inndata til simuleringer og arealmessige undersøkelser. Prosjektet er valgt som utgangspunkt på basis av resultatene fra *IMT-rapport nr. 46/2012* av Leif D. Houck. I rapporten ble de ulike bidragene i et utvalg arkitektkonkurranser for skoler undersøkt med hensyn til parametere som anses å legge tilrette for gode dagslysforhold og funksjonelle arealer. Haukerød skole var en av konkurransene undersøkt i denne rapporten. Vinnerforslaget til Haukerød anses som et representativt eksempel på en skole med kompakt utforming. Med en kompakt form, dype og smale klasserom, samt fellesarealer og grupperom uten tilgang på dagslys, er skolen vurdert som et egnet referanseprosjekt og utgangspunkt for denne oppgavens undersøkelser.

### 3.3 Arealmessige endringer på bygning

For å kunne analysere effekten av en annen klasseromsutforming på dagslysforholdene er det vurdert nødvendig å bestemme et alternativt forslag til analyse. Aller først søktes det å bestemme dimensjoner på et alternativt klasserom som sørget for nok areal per elev samt tilrettelegges for funksjonelt og variert bruk. Samtidig var et mindre dypt rom ønskelig for analyse opp mot et dypere referanseklasserom.

På bakgrunn av fremlagt teori om utforming av klasserom, dagslys, og energiforhold, er det valgt å utarbeide et alternativt forslag basert på en ønskelig klasseromsstørrelse på 8,0 x 7,5 meter. Disse dimensjonene er vurdert å gi tilstrekkelig god funksjonalitet samtidig som det ikke er like dypt som referanseklasserommet. Samtidig muliggjør skolens baser med andre undervisningsrom som grupperom og fellesarealer inndeling i mindre adskilte undervisningsgrupper. Den tilnærmede kvadratiske formen gjør at det i større grad anses som mulig å få til en kompakt bygningskropp enn med et klasserom på 10,0 x 6,0 meter der fasadevegg er 10,0 meter i lengde.

Det er i utformingsprosessen tenkt at en byggherre har satt følgende krav til utformingen av klasserommene i basene:

- Det ønskes klasserom på totalt 60m<sup>2</sup> med en bredde/dybde på 8,0m/7,5m.

Således er det bestemte klasserom, rom- og funksjonsprogrammet fra referanseprosjekt, analyse av referanseprosjektet sammen med relevant teori presentert i oppgavens teorikapittel ansett som utgangspunktet for utformingen av et alternativt forslag til helhetlig planløsning.

Undersøkelser og endringer som er gjort i forbindelse med alternativt forslag handler i hovedsak om den arealmessige *tilretteleggingen* for godt innslipp av lys, og den fremtidige funksjonaliteten og anvendeligheten av arealene. Utarbeidelsen av en alternativ løsning har derfor ikke gått i detalj hva angår tekniske innretninger, arkitektonisk uttrykk eller detaljerte innvendige løsninger.

Hovedmålet for den utarbeidede planen er å vise de ønskelige arealene plassert på en slik måte at løsningen kan sies å legge opp til en tilfredsstillende funksjonalitet. Samtidig er en viss generalitet og fleksibilitet tilstrebet i tråd med Buvik (2009). Løsningen tenkes behandlet som et prosjekt på et relativt tidlig stadium, med rom for eventuelle mer detaljerte endringer innenfor de grove rammer som settes. Arealplanen er samtidig utført med en tilstrekkelig nøyaktighet til at en energisimulering kan utføres. Det er i denne oppgaven begrenset omfanget til å fokusere på de innvendige arealer.

Uteområder og lignende er derfor sett bort i fra.

Formel for varmestrømning gjennom en konstruksjon viser at en av faktorene som varmestrømmen er avhengig av er arealet til konstruksjonen. Således kan det trekkes en noe forenklet konklusjon om at jo større overflatearealer en bygning får, desto større flater kan transportere varmen ut av bygningskroppen. Da bygningens form henger sammen med hvordan bygningsmassen holder på varmen er det i prosessen forsøkt å beholde en så kompakt form som lar seg gjøre. Videre har det alternative forslaget til helhetlig bygningskropp fungert som utgangspunkt for simulering av energibehov.

### 3.4 Dagslysberegninger

For daglysmessig analyse er det valgt å begrense seg til undersøkelse av forholdene i et referanseklasserom med typiske dimensjoner fra det overnevnte prosjekt.

Dimensjonene og andre karakteristikker er basert på målinger og observasjoner av et utvalgt klasserom utført ved befaring på prosjektet. Dette vil sammenlignes med det bestemte alternative klasserommet.

Simuleringene av dagslys er gjort i simuleringsprogrammet DAYSIM. Programmet muliggjør simuleringer med målemetoden/måleenheten Useful Daylight Illuminance (UDI). Denne måten å analysere dagslysforholdene muliggjør analyse basert på klimatiske, tidsavhengige, årlige data for både sol og himmel. En nedre og en øvre grense for ”nyttige” lysverdier settes, i motsetning til kun å medta en nedre grense (Nabil & Mardaljevic 2005). Simuleringer av Useful Daylight Illuminance i DAYSIM baserte seg på tilsvarende grenseverdier som beskrevet av Nabil og Mardaljevic (2005). Useful Daylight Illuminance ble vurdert som en god måte å analysere lysforholdene på og muliggjør identifisering av områder potensielt utsatt for sjenerende lysmengder samt områder med for lave lysmengder. Useful Daylight Illuminance, DAYSIM og prinsipper bak beregninger i dette programmet er mer utdypende beskrevet i oppgavens teorikapittel.

For konstruering av modellenes geometri og overflateegenskaper er tegneprogrammet Google SketchUp benyttet. Modellen ble overført fra Google SketchUp til DAYSIM ved bruk av et programtillegg for Google SketchUp ved navn Su2ds. Programmene som er benyttet er beskrevet i oppgavens teorikapittel.

Det har i denne oppgave ikke vært aktuelt å fordype seg i effekten av ulike konstruksjoner og tekniske installasjoner som ulike skyggeanordninger.

Mange faktorer har betydning for resultatene ved simulering av dagslysforhold. Følgelig oppgis en oversikt over inndata som er valgt for simuleringer:

#### Rommenes geometri

Romgeometri for referanseklasserom er bestemt basert på egne oppmålinger av et representativt klasserom ved befaring til referanseprosjektet samt ved studie av plan- og detaljtegninger. Slike tegninger er hentet fra forprosjektrapport åpent tilgjengelig på

internett. Lenke til rapport som tegninger er hentet fra kan finnes i oppgavens litteraturliste.

For alternativt klasserom er himlingshøyde og tykkelse på yttervegg beholdt lik som for referanse. En ny bredde og dybde er bestemt som beskrevet tidligere i oppgaven for å undersøke hvordan dette påvirker resultatene. Tabell 2 viser dimensjonene for de to ulike klasserom.

**Tabell 2 Dimensjoner for de to klasserom som vil analyseres med hensyn på dagslys**

|            | Bredde (m) | Dybde (m) | Himlingshøyde (m) | Tykkelse yttervegg (m) |
|------------|------------|-----------|-------------------|------------------------|
| Referanse  | 5,73       | 9,34      | 2,7               | 0,46                   |
| Alternativ | 8,0        | 7,5       | 2,7               | 0,46                   |

### Vinduer (størrelser og lystransmisjon)

Vindusstørrelser for referanseklasserom er basert på egne målinger gjort ved befaring på referanseprosjektet. For alternativt klasserom er det modellert et tilsvarende vindussystem med ett stort og ett lite vindu. Dimensjonene er justert for å gi en tilnærmet lik gjennomsnittlig dagslysfaktor for dette rommet som oppnådd for referanseklasserom med de observerte vindusstørrelsene. Brystningshøyde og vindushøyde er beholdt likt for begge rom. Tabell 3 og 4 viser dimensjoner og plassering av vinduer for de to klasserom.

**Tabell 3 Vindusstørrelser som benyttes for referanseklasserom**

| Referanse | Bredde (m) | Høyde(m) | Brystningshøyde (m) | Avstand fra sidevegg (m) |
|-----------|------------|----------|---------------------|--------------------------|
| Vindu 1   | 0,4        | 1,79     | 0,78                | 1,07                     |
| Vindu 2   | 3,3        | 1,79     | 0,78                | 1,63                     |

**Tabell 4 Vindusstørrelser som benyttes for alternativt klasserom**

| Alternativ | Bredde (m) | Høyde(m) | Brystningshøyde (m) | Avstand fra sidevegg (m) |
|------------|------------|----------|---------------------|--------------------------|
| Vindu 1    | 0,8        | 1,79     | 0,78                | 1,5                      |
| Vindu 2    | 3,8        | 1,79     | 0,78                | 2,5                      |

Nabil og Mardaljevic (2005) viste hvordan vinduenes lystransmisjon er av betydning for resultatene. Det samme gjelder himmelretning for vindusvegg. Det er derfor valgt å



utføre simuleringer for de to romgeometriene med fire ulike himmelretninger. Dette er gjort både med vinduer med en lystransmisjonsverdi på 72 % samt 51 %. Samtaler med vindusleverandør til det aktuelle referanseprosjektet førte til den konklusjon at det aktuelle referanseprosjektet kunne simuleres med en lystransmisjon på tilnærmet 51 %.

72 % er valgt på basis av observasjoner av vindusdata hos produsenter som Pilkington og AGC Glass. Denne verdi er vurdert å være et godt eksempel på et vindu med noe høyere lystransmisjon.

### Overflater og refleksjonsfaktor

Byggforskseriens blad 421.626 benytter refleksjonsverdier på henholdsvis 0.7, 0.5, og 0.2 for himlingen, vegger og gulv. (Nersveen 2004)

For overflaterrefleksjoner i denne oppgavens simuleringer er det valgt å gjøre noen justeringer i forhold til overnevnte verdier. Ut i fra observasjoner ved referanseprosjekt samt tilgjengelige materialer/verdier i programmer for simulering og modellering er det valgt verdier slik som presentert i tabell 5.

**Tabell 5 Refleksjonsverdier for overflater i og utenfor klasserom som undersøkes**

| <b>Overflate:</b> | <b>Refleksjonsfaktor:</b> |
|-------------------|---------------------------|
| Gulv              | 0,2                       |
| Vegger            | 0,6                       |
| Himling           | 0,9                       |
| Utvendig fasade   | 0,35                      |
| Utvendig bakke    | 0,2                       |

### Skyggeanordning

Skyggeløsning i form av utvendige persienner ble observert ved befaring til Haukerød skole. Skyggeanordning for rommet vil ha en betydning for innslippet av lys, og for hvor mye direkte (sjenerende) sollys som kan slippe inn i rommet. Det er derfor valgt å inkludere en slik anordning ved simulering. I DAYSIM er den enkleste innstillingen for regler med hensyn til bruken av dette systemet valgt. Løsningen som er valgt i DAYSIM sender persiennene ned når verdier for stråling høyere enn  $50 \text{ Wm}^{-2}$  observeres i ett eller flere av de angitte sensorpunkter. Den automatiserte løsningen blokkerer alt direkte solskinn og slipper gjennom 25 % av alt diffust lys.

I virkeligheten kan skyggeløsningen i tillegg overstyres av brukeren. Det er i DAYSIM valgt å inkludere en forenklet versjon av dette i simuleringer. Den forenklete løsningen går ut på at personer som oppholder seg i rommet vil operere persiennene dersom det oppleves direkte solskinn på arbeidsplassen. For disse simuleringene tilsvarer dette når direkte solskinn treffer et av de sette målingspunktene. Skyggeanordning ble i virkeligheten ikke observert på nordlig eller vestlig fasade. Allikevel er det valgt å inkludere dette for alle himmelretninger i simuleringene. Således har alle retninger det samme utgangspunkt. De samme regler for skyggeanordning er benyttet for begge klasseromstyper.

### Værdata

Ved simulering av dagslysforhold er de samme klimadataene benyttet for hver simulering. Det er innhentet en værdata-fil med målinger gjort på Fornebu i Oslo. Værdata er nedlastet fra nettsidene til *U.S. Department of Energy* (EnergyPlus 2014). De klimatiske forholdene er vurdert til å være et tilstrekkelig godt eksempel på typiske værforhold for lokasjoner på Østlandet i Norge.

### Dører, innvendig glass og møblering

Det er valgt ikke å medta eventuelle dører og innvendige glassvegger ved modelleringen av rommet. Møblering ses likeledes bort i fra.

### Elektrisk belysning

Elektrisk belysning er sett bort i fra ved simulering av dagslys. En god balanse mellom naturlig og elektrisk belysning kan medføre besparelser i bygningens energibehov til belysning. Temaet vil diskuteres kort i oppgavens diskusjonskapittel, men har ikke vært gjenstand for utdypende analyse i denne oppgaven.

### Himmelretning for fasadevegger

Det er registrert himmelretninger for referanseprosjektets fasader. Fasadene har himmelretninger tilnærmet lik de fire hovedretningene på kompasset; nord, øst, vest og sør. Retningene er dog forskjøvet med tilnærmet 30 grader. Altså er fasade i virkeligheten omtrentlig orientert mot nord-nord-øst, vest-nord-vest, sør-sør-vest, og øst-sør-øst.

Det er valgt å utføre simuleringer for himmelretninger lik de fire hovedretningene på kompasset; nord, øst, vest og sør. Dette er vurdert til fortsatt å kunne gi et bilde på variasjonen i dagslys avhengig av orienteringen av rommet.

### Utvendige hindringer og horisont

For simuleringer er det ikke tatt hensyn til eventuelle eksterne obstruksjoner eller betydelige variasjoner i horisont. Denne vurderingen er blant annet gjort på bakgrunn av befaring til det aktuelle prosjekt. Det ble ikke observert noen betydelig høye horisonter som kunne anses å gi signifikante forskjeller i resultatene. I tillegg ville dette måtte medtas som omtrentlige antagelser som inkluderes i geometrien konstruert i Google SketchUp. Det er vurdert at en utelatelse av dette ikke vil kunne hindre en sammenligning av de ulike utformingene så lenge *situasjonen er den samme* for begge modeller.

### Arbeidsflatens høyde og posisjoner for målepunkter

Resultatene for dagslys vil gjerne bli lavere desto høyere flate beregningene gjøres for. Dette kan forklares, ved hjelp av fremlagt teori (Moore 1991), ved at et høyt punkt som undersøkes vil eksponeres for mindre av den utvendige himmel utenfor vinduet enn for et lavere punkt. (Moore 1991)

Da klasserommene i denne oppgaven primært brukes av barn anses det som mest hensiktsmessig å utføre beregningene i en høyde tilpasset brukerne. Høyden av pulter i det opprinnelige prosjektets klasserom er målt til 0,72 meter. Denne høyden anses som en representativ flate da forholdene skal være gode for alle skolens elever. Figur 3.4.4 og 3.4.5 viser et snitt i modellene og plasseringen av sensorpunkter i en høyde av 0,72 meter. Merk at inntegnede flate i figurer i denne høyde ikke er inkludert i modell ved simuleringer.

Målepunktens posisjon for simulering er satt i SketchUp-modellene til å være et rutenett med innbyrdes avstander på 1,0 meter mellom målepunkter. Rutenettet er generert automatisk ved hjelp av programtillegget Su2ds. Den innbyrdes avstanden har vært gjenstand for vurdering og er bestemt av undertegnede. Det automatisk genererte rutenett starter i en avstand av 0,5 meter fra nederste venstre hjørne i figurer 3.4.2 og 3.4.3. Verdier er simulert for alle punkter i dette rutenettet.

For videre analyse er det sett nærmere på verdier i utvalgte punkter på en rett linje bakover i rommet fra vindusveggen, i tråd med metode beskrevet av Nabil & Mardaljevic (2005) i oppgavens teorikapittel. For referanseklasserom (5,73x9,34m) er rekken valgt i en avstand på 3,5 meter fra venstre sidevegg sett fra fasadevegg. For alternativt klasserom er rekken valgt i en avstand på 4,5 meter fra sidevegg sett fra fasadevegg. Antall punkter bakover som undersøkes er avhengig av rommets dybde. Totalt ses det nærmere på 9 punkter for referanseklasserom og 7 punkter for alternativt klasserom. De to rekkene er posisjonert *tilnærmet* midt i sine respektive rom.

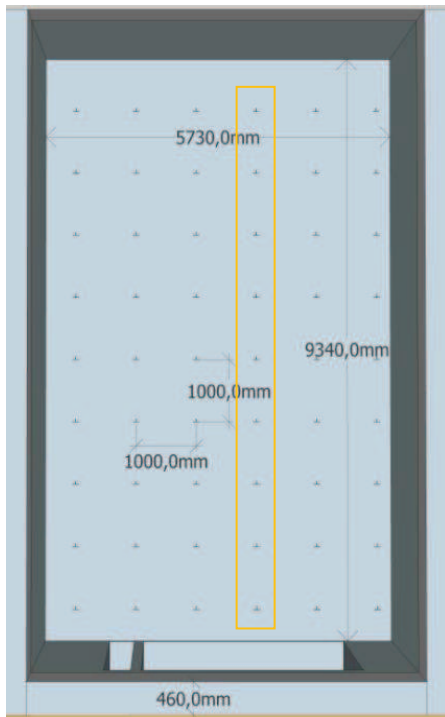
### Test av lystransmisjon for utvalgt vindu

Lystransmisjoner på 51 % og 72 % vil benyttes ved simuleringer. Det var hos undertegnede knyttet noe usikkerhet til variasjonene som kan forekomme i lystransmisjonsverdier for ulike vinduer. En test av et utvalgt vindu ved referanseprosjekt ble derfor vurdert til å være av interesse. Instrument tilgjengelig var av typen Konica Minolta Illuminance meter T-10A (body only) avbildet i figur 3.4.1. Ved et utvalgt vindu ble lysmåleren holdt opp mot midten av vinduets innside med målepunkt pekende mot utsiden. Måleren ble holdt parallelt med vindusflaten. Deretter målt verdi ved tilsvarende punkt på vinduets ytterside. Denne metode ble gjentatt totalt ti ganger. Målingene ble utført i tidsrommet 11:42-12:07 med klar, blå himmel i hele perioden. Testede vindu var nordvestlig orientert. Resultatene av testen presenteres i oppgavens resultatkapittel. Eventuelle feilkilder adresseres i oppgavens diskusjonskapittel.

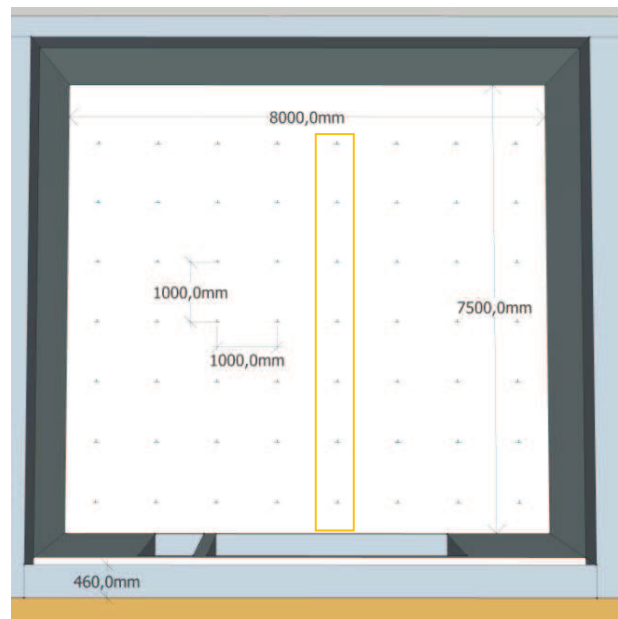


**Figur 3.4.1** måleinstrument Konica Minolta Illuminance meter T-10A (body only)

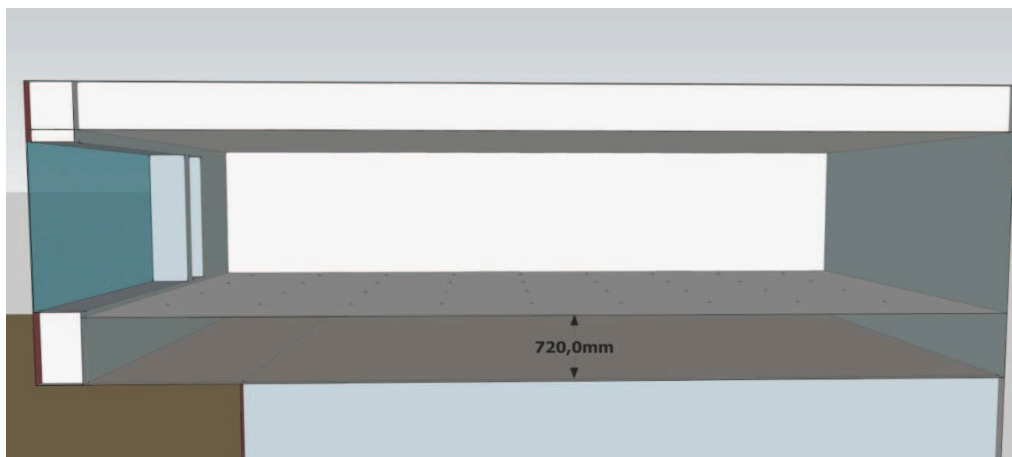
## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie



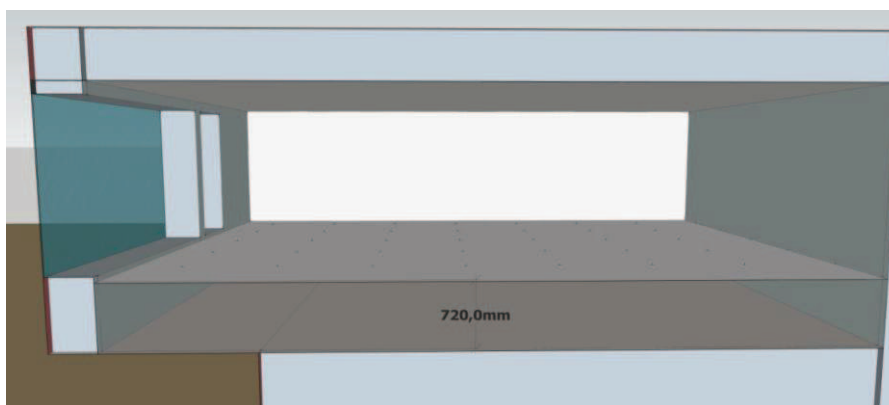
Figur 3.4.2 Rutenett for målepunkter i referanserom ovenifra



Figur 3.4.3 Rutenett med målepunkter for alternativt klasserom ovenifra



Figur 3.4.4 Snitt i SketchUp-modell for referanserom. Målepunkter i høyde 0,72 meter



Figur 3.4.5 Snitt i SketchUp-modell for alternativt rom. Målepunkter i høyde 0,72 meter

Ved undersøkelse av planløsninger og befaringer ved referanseprosjektet ble det observert at mange av baseklasserommene er plassert i 2. eller 3. etasje over bakkenivå. Med unntak av klasserom på vestlig side av bygningen, som er på samme nivå som terreng utenfor vindu. Da dette kan ha betydning for refleksjonsbidraget fra utvendig bakke er det valgt å modellere klasserommene løftet til en høyde av tre meter over utvendig bakkenivå. Gjøres dette for begge rom er det vurdert at dette vil gi like forutsetninger.

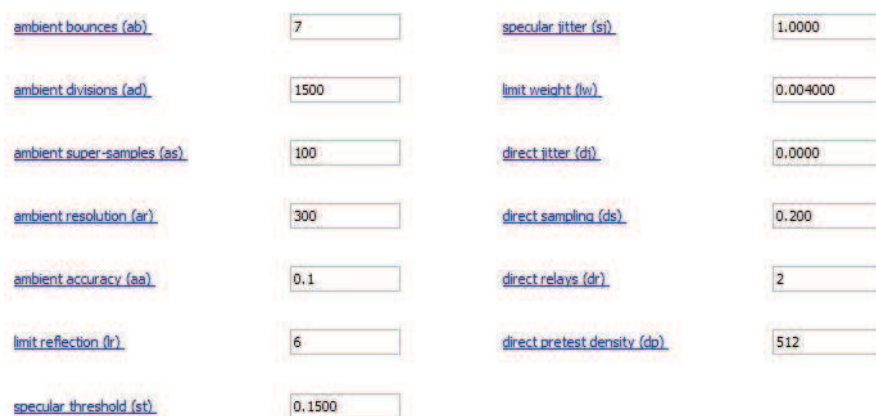
### Tider for bruk av klasserom

For utregning av Useful Daylight Illuminance må det bestemmes rammer for hvilke timer av året som inkluderes i simulering. Følgende rammer for bruk er valgt i DAYSIM:

- Klasserommene benyttes fem dager i uka (mandag-fredag) i tidsrommet 08:00-15:00
- Brukerne forlater rommet tre ganger daglig; 30 minutter om morgenen, en time midt på dagen, og 30 minutter på ettermiddagen
- Det velges å medta eventuelle feriedager og lignende ved simulering
- Totalt antall årlige timer med i simulering er således oppgitt til 1567

### RADIANCE simuleringsparametere

Det er i DAYSIM mulig å velge to forhåndsinnstillinger for simuleringsparametere knyttet til RADIANCE; "Scene Complexity 1" og "Scene Complexity 2". Det velges i DAYSIM å utføre samtlige simuleringer med forhåndsinnstilte verdier for "Scene Complexity 2". Figur 3.4.6 viser et skjermbilde av simuleringsparametere knyttet til "Scene Complexity 2":

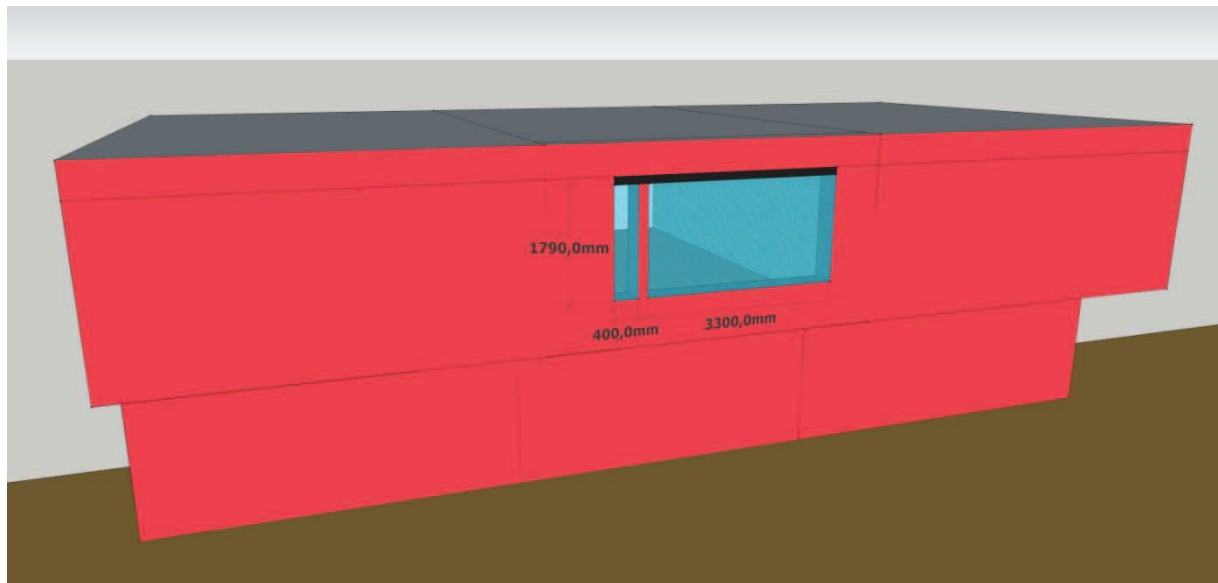


|  |                                     |   |                                       |
|--|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| <a href="#">ambient bounces (ab)</a>       | <input type="text" value="7"/>      | <a href="#">specular jitter (sj)</a>        | <input type="text" value="1.0000"/>   |
| <a href="#">ambient divisions (ad)</a>     | <input type="text" value="1500"/>   | <a href="#">limit weight (lw)</a>           | <input type="text" value="0.004000"/> |
| <a href="#">ambient super-samples (as)</a> | <input type="text" value="100"/>    | <a href="#">direct jitter (dj)</a>          | <input type="text" value="0.0000"/>   |
| <a href="#">ambient resolution (ar)</a>    | <input type="text" value="300"/>    | <a href="#">direct sampling (ds)</a>        | <input type="text" value="0.200"/>    |
| <a href="#">ambient accuracy (aa)</a>      | <input type="text" value="0.1"/>    | <a href="#">direct relays (dr)</a>          | <input type="text" value="2"/>        |
| <a href="#">limit reflection (lr)</a>      | <input type="text" value="6"/>      | <a href="#">direct pretest density (dp)</a> | <input type="text" value="512"/>      |
| <a href="#">specular threshold (st)</a>    | <input type="text" value="0.1500"/> |   |                                       |

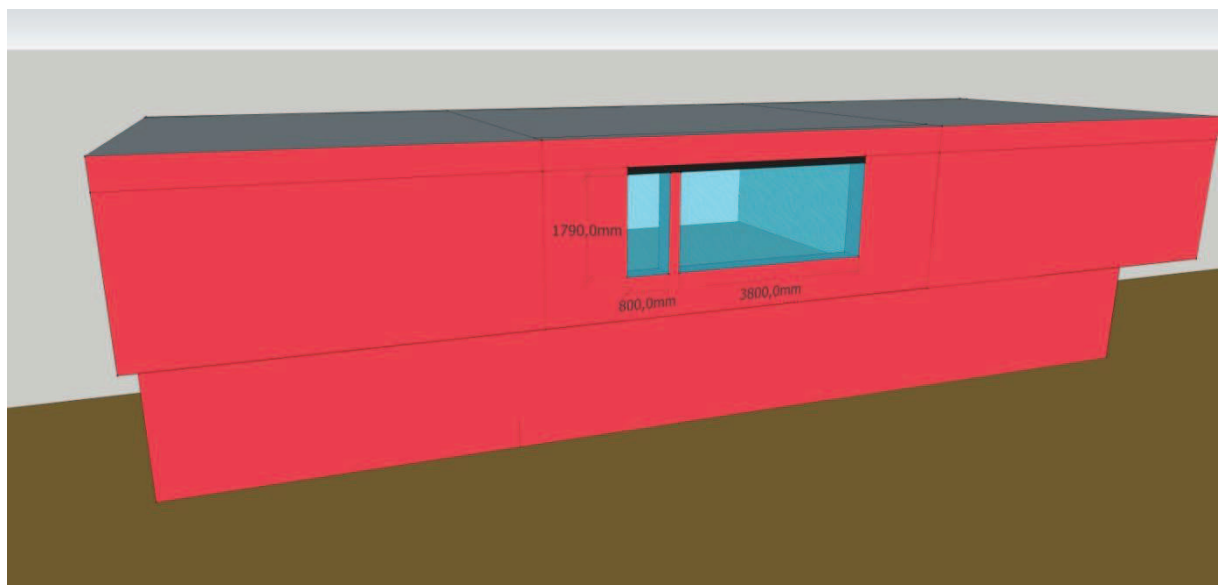
Figur 3.4.6 Simuleringsparametere i DAYSIM; "Scene Complexity 2"

### Illustrasjoner av modeller konstruert i tegneprogrammet Google SketchUp

Figur 3.4.7 og 3.4.8 viser utvendige bilder av de to konstruerte modeller for simulering. Dimensjoner for vinduer er også vist.



Figur 3.4.7 Modell for referanserom utenifra med dimensjoner for vinduer



Figur 3.4.8 Modell for alternativt rom utenifra med dimensjoner for vinduer

### 3.5 Energiberegninger

Simuleringene er utført i samme simuleringsprogram, SIMIEN, som er benyttet ved utarbeidelse av energirapport for referanseprosjektet. Programmet er mer utdypende beskrevet i oppgavens teorikapittel.

Det er i størst mulig grad ønskelig å illustrere betydningen av endringer i utformingen/planløsningene for skolens totale energibehov. Ved simulering av energibehov for det alternative forslaget er det ønskelig med resultater som i størst mulig grad kan sammenlignes med tilsvarende verdier for eksisterende referanseprosjekt. Innhentet energiattest for referanseprosjekt er brukt som referanse for egne simuleringer av alternativ bygningskropp. Ved energiberegninger er det søkt å beholde de ulike inndataene for energikilder og konstruksjon fra referanseprosjekt. Dersom enkelte verdier ikke har vært mulig å oppdrive, er det benyttet forhåndsinnstilte verdier i SIMIEN eller typiske verdier for den aktuelle sone i henhold til NS 3031:2007.

Utdypende undersøkelser av ulike teknologiske innretninger som kan være effektive grep for å spare energi er ikke aktuelt for denne oppgave. Hensikten med oppgaven er her å undersøke betydningen av bygningskroppens utforming på energibehovet. Tabell 6 gjengir de sentrale inndataverdier hentet fra referanseprosjektets energiattest som vil benyttes ved simulering av alternativ løsning.



## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

**Tabell 6 Sentrale inndata tilsvarende verdier fra energiattest for referanseprosjekt ved simulering i SIMIEN**

|   |                         |
|---|-------------------------|
| U-verdi yttervegger   | 0,16 W/m <sup>2</sup> K |
| U-verdi tak   | 0,08 W/m <sup>2</sup> K |
| U-verdi for gulv  | 0,09 W/m <sup>2</sup> K |
| U-verdi for vinduer, dører  | 1,17 W/m <sup>2</sup> K |
| Normalisert kuldebroverdi   | 0,04 W/m <sup>2</sup> K |
| Lekkasjetall  | 0,37 l/h                |
| Temp.virkningsgrad varmegjenvinner  | 85 %                    |
| Estimert årsgjennomsnittlig temp.virkningsgrad for varmegjenvinner pga. frostsikring                  | 85 %                    |
| Spesifikk vitteeffekt (SFP) relatert til luftmengder i driftstid                                      | 1,70                    |
| Spesifikk vitteeffekt (SFP) relatert til luftmengder utenfor driftstid                                | 0,14                    |
| Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssystem  | 246 %                   |
| Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri)                               | 37 W/m <sup>2</sup>     |
| Settpunkt-temperatur for oppvarming i driftstid   | 21 grader               |
| Årsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystem  | 250 %                   |
| Settpunkt-temperatur for kjøling  | 22 grader               |
| Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling   | 43 W/m <sup>2</sup>     |
| Spesifikk pumpeeffekt til oppvarming (SPP)  | 0,53 (kW/(l/s))         |
| Andel av netto energibehov til romoppvarming og ventilasjonsvarme som dekkes av elektrisk varmesystem | 0,15                    |
| Andel av netto energibehov til romoppvarming og ventilasjonsvarme som dekkes av varmepumpe            | 0,85                    |
| Andel av netto energibehov til oppvarming av tappevann som dekkes av elektrisk varmesystem            | 0,15                    |
| Andel av netto energibehov til oppvarming av tappevann som dekkes av varmepumpe                       | 0,85                    |
| Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for elektrisk varmesystem                                      | 0,88                    |
| Årsgjennomsnittlig effektfaktor for varmepumpeanlegg  | 2,75                    |

Skolebygget er for simulering delt inn i følgende soner:

1. Oppholdsarealer (klasserom, grupperom, kontorer, fellesbase, gymsal, etc.)
2. WC/dusj
3. Lager og garderober
4. Korridorer og aula

Følgende er en oppsummering av arealer og sentrale egenskaper tilhørende de overnevnte soner som er medtatt i SIMIEN. Arealer er målt i bygningsmodell i ArchiCAD:

- Oppvarmet gulvareal for de ulike soner
- Oppvarmet luftvolum for de ulike soner
- Vindusarealer for de ulike fasadene
  - Det velges her å simulere med vindusstørrelser for klasserom tilsvarende de som brukes i dagslyssimuleringer. Øvrige vindusstørrelser er bestemt slik at innvendige rom oppnår en gjennomsnittlig dagslysfaktor på noe over 2 %.
- Veggkoblinger mellom soner
- Gulv/himlingskoblinger mellom soner
- Gulv mot grunn for de ulike soner
- Gulv mot friluft (overheng) for aktuelle soner
- Yttertak over de ulike soner

For følgende inndata er det gjort noen antagelser med hensyn til ventilasjonstyper og forventet bruk av de ulike soner:

#### Spesifikasjoner for ventilasjonsanlegg i ulike soner:

Det velges her å utstyre sone 1 med variabel luftstrøm, som styres både av temperatur og karbondioksidkonsentrasjoner i luften. Denne antagelsen er i tråd med Byggforskseriens blad 552.311 (Inneklima og ventilasjon i skoler). Sone 2 antas utstyrt kun med avtrekk, og det antas balansert konstant luftstrøm for sone 3 og 4. Luftmengder for de ulike soner er i tråd med bestemmelser for minste tillatte luftmengder og veiledende verdier for luftmengder i skoler og settes som presentert i tabell 7. De valgte inndata for luftmengder er i tråd med bestemmelser i NS 3031:2007.

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

**Tabell 7 Luftmengder for soner ved simulering i SIMIEN**

|        | Maks. i driftstid<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) | Min. i driftstid<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) | Utenfor driftstid<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) |
|--------|---|--|---|
| SONE 1 | 16  | 10   | 2   |
| SONE 2 | 10  | 10   | 2   |
| SONE 3 | 10  | 10   | 2   |
| SONE 4 | 10  | 10   | 2   |

Internlaster for ulike soner velges i henhold til bestemmelser for skolebygg i NS 3031:2007 og settes som vist i tabell 8:

**Tabell 8 Internlaster ved simulering i SIMIEN**

|        | Fra belysning<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Fra teknisk utstyr<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Fra personer<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|--------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| SONE 1 | 10                                   | 6   | 12                                  |
| SONE 2 | 10                                   | -   | -                                   |
| SONE 3 | 10                                   | -   | 6                                   |
| SONE 4 | 10                                   | -   | 6                                   |

Beregnete luftvolumer for simulering er avhengig av høyde mellom etasjeskillere. Det velges en avstand mellom gulv og himling på 2,7 meter samt 0,6 meter mellom himling og etasjeskiller/tak for samtlige etasjer. Dette tilsvarer en høyde på 3,3 meter.

Inkludering av luftrom over nedsenket himling er i tråd med veiledning for utregninger i SIMIEN. (Programbyggerne 2014a)

Arealer for heissjakter, trapperom, og teknisk rom er ikke medtatt i beregninger i SIMIEN. I SIMIEN utføres det så en simulering for energimerking av bygningskroppen. Resultatene for simulering vises i oppgavens resultatkapittel.

Det er i denne oppgaven valgt å begrense sammenligning av verdier knyttet til energibehov til beregnet levert energi ved normalisert klima (kWh/år) samt beregnet spesifikk levert energi ved normalisert klima (kWh/m<sup>2</sup>\*år). Videre er det også interessant å sammenligne oppnådd energimerke for de ulike løsningene.

### 3.6 Sammenlignbare verdier ved analyse av resultater

Følgende resultater og fremstillingsmåter i dette delkapittel er ansett som interessante for sammenligning og diskusjon.

#### Analyser og sammenligninger knyttet til dagslys

For i best mulig grad å kunne bestemme effekten av de ulike variabler med størst mulig sikkerhet må det søkes å isolere effekten av de interessante variabler ved å holde andre variabler konstante. Variabler som vil være interessante å undersøke i denne oppgave er først og fremst rommets geometri. Andre variabler som det er ønskelige å undersøke betydningen av inkluderer himmelretning og lystransmisjon for vindu.

- Prosentandel av skoleåret hvor utvalgte målepunkter oppnår verdier innenfor intervall for Useful Daylight Illuminance. Resultatene for punkter på en rett linje inn i rommet fremstilles som punktverdier. En sammenhengende ikke-lineær trendlinje *antyder* utviklingen mellom de målte punkter. Det poengteres at eksakte verdier mellom målepunkter er ukjent. Trendlinjen må derfor ses på som en antagelse.
- New Building Institute (NBI) viser, i deres *Daylight Pattern Guide* på nett, fremheving av punkter og arealer der oppnådde årlige prosentandel Useful Daylight Illuminance ligger under 50 % av de årlige timene undersøkt. (Advancedbuildings 2014) Dette er gjort i også denne oppgave der det vurderes å være vesentlige arealer som påvirkes
- Fargekart ovenifra som illustrerer endringer rommet basert på samtlige sensorpunkter i rutenett bestemt for simulering
- Sammenligning av prosentandeler i utvalgte målepunkter for de to klasserom
- Forskjeller for ulik romgeometri knyttet til ulik lystransmisjon i vinduer
- Forskjeller for ulik romgeometri knyttet til himmelretning for fasadevegger

Ved fremstilling av de tre sistnevnte sammenligninger tegnes antydende trendlinje for de ulike tilfeller som rette linjer mellom hvert av punktene. Også dette må ses på som en forenklet antagelse da nøyaktige verdier mellom punktene ikke er kjent.

Aktuelle verdier til de ulike sammenligner og analyser i resultatkapittelet tas ut i fra fullstendige tabeller for de ulike simuleringer. Disse tabellene presenteres som vedlegg i slutten av oppgaven. I de komplette tabellene kan det i tillegg ses prosentandel av året hvor verdier over øvre grense og under nedre grense ble simulert i de ulike punkter. Disse verdier er i de komplette tabeller presentert som;  $UDI < 100$  (active),  $100 < UDI < 2000$  (active), samt  $UDI > 2000$  (active). Betegnelsen "active" vil si at brukerne av rommet betraktes som aktive og vil operere skyggeanordning ved direkte sollys på arbeidsflate.

### Analyser og sammenligninger knyttet til planløsninger

- Sammenligning av det totale areal (BRA)
- Sammenligning av fasadelengde per klasserom for ulike løsninger
- Sammenligning av antall grupperom uten tilgang på dagslys for de ulike løsninger

### Analyser og sammenligninger knyttet til energibehov

- Beregnet levert energi ved normalisert klima (kWh/år)
- Beregnet spesifikk levert energi ved normalisert klima (kWh/m<sup>2</sup>\*år)
- Oppnådd energimerke

Overnevnte sammenligninger presenteres i oppgavens resultatkapittel.

## 4. Resultater og analyser

### 4.1 Analyse av referanseprosjekt

Sentral informasjon:

Årstrinn: 1. – 7. klasse

Sted: Sandefjord, Vestfold

Bruttoareal (BRA): ca. 6500 m<sup>2</sup>

#### 4.1.1 Generell form og funksjonsplan

Bygningen har en svært kompakt og tilnærmet kvadratisk form fordelt på to til tre etasjer. Skolens funksjoner er plassert rundt en kjerne bestående av aula åpen tre etasjer opp, samt en gymsal med mulighet for å åpne mellom disse.

I første etasje opptar undervisningsrom som forskerrom, skolekjøkken og sløyd byggets østlige fasade. Undervisningsrommene er plassert side om side og på innsiden av disse er det plassert diverse lager- og sanitærfunksjoner. Teknisk rom er plassert delvis under/bak skolens amfitrapp. På vestlig side av gymsalen ligger diverse garderobe- og sanitærfunksjoner tilknyttet gymsal. Bibliotek og informasjonskontor er plassert nær skolens hovedinngang. Det totale fotavtrykket til første etasje er noe mindre enn for etasjene over slik at deler av de øvrige etasjene ligger på terreng på vestlig side av skolen.

I annen etasje ligger totalt fire baser kompakt plassert rundt skolens kjerne. SFO og forsterket avdeling er samlokalisert med en av basene i bygningens nordlige hjørne, og deler også garderobe med denne basen. I etasjens nordøstlige hjørne ligger skolens administrasjon. Kontorer og personalrom opptar her det meste av fasaden, med øvrige rom som garderober, toaletter og møterom trukket mer inn i bygningens kropp.

Tredje etasje har et mindre areal enn etasjen under og består av ytterligere tre baser med samme organisering og form som i etasjen under. Disse er plassert på byggets sørlige side.

### 4.1.2 Fasadetildeling i baser

I figur 4.1.1 kan ses den typiske utformingen av basearealer ved referanseprosjekt. Fargelegging viser hvordan klasserom (grønt) og garderober (gult) er tildelt mesteparten av fasaden. Fellesarealer samt grupperom for baser er plassert innenfor klasserom og er dermed ikke tildelt fasade (rødt). Øvrige funksjoner som sanitær og lager er og plassert innenfor klasserom eller ved garderobe. Hver av de ulike basene har en meget lik plassering av funksjoner. Ett grupperom for hver base er gitt mer avrundede former.



Figur 4.1.1 Tildeling av fasade til klasserom (grønt), og garderober (gult). Fellesarealer samt gruppe rom for baser er ikke tildelt fasade (rødt)

### 4.1.3 Klasserom og andre læringsarealer

Utformingen av klasserom er relativt lik for de fleste klasserom. Rommene er ”vridde”, det vil si de er dype og smale med vindu på rommets ene kortsida. Vinduene er høyt plasserte på ytterveggen. Noen er tilnærmet sentralt plassert på kortveggen og andre er plassert helt til én side.

Studie av plantegninger fra forprosjektrapport viser at klasserommene har et varierende antall kvadratmeter fra 53,8m<sup>2</sup> til 54,6m<sup>2</sup>. Gjennomsnittlig areal per klasserom i baser er beregnet til tilnærmet 54,2m<sup>2</sup>. Egne målinger av et utvalgt referanserom ble ved befaring til referanseprosjektet målt til en bredde og dybde på henholdsvis 5,73 og 9,34 meter. Adkomst til klasserom ligger på innvendig kortvegg.



## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

Figurer 4.1.2-4.1.5 viser bilder av et utvalg observerte klasserom. Bildene viser ulike organiseringer av pulter i klasserommene. Det ble observert fra 18 til 23 elevpulter i noen utvalgte klasserom ved befaring. I forprosjekt, datert 08.04.2011, ble det oppgitt at skolen skulle dimensjoneres for totalt 560 elever. Fordelt på totalt 21 klasser (3 klasser per trinn, syv trinn totalt) gir dette gjennomsnittlig 26-27 elever per klasserom. Det er montert Smartboard på sistnevnte vegg samt vanlig hvit tavle på én av langveggene. Skillevegg mellom de to klasserom nærmest fellesbasen er av typen som kan skyves til side og åpne for sammenslåing av de to rommene. Både himling og vegger i klasserom er hvite, og gulv har en koksgrå farge. Klasserommene for spesielle fag i første etasje har tilnærmet samme utforming, men med noe større vinduer.



**Figur 4.1.5** Observert eksempel på organisering i et klasserom tilsvarende referanserom (foto: Magnus G. Gjerde)



**Figur 4.1.4** Observert eksempel av organisering i et klasserom tilsvarende referanserom (foto: Magnus G. Gjerde)



**Figur 4.1.3** Observert organisering tilnærmet med lys fra siden (foto: Magnus G. Gjerde)

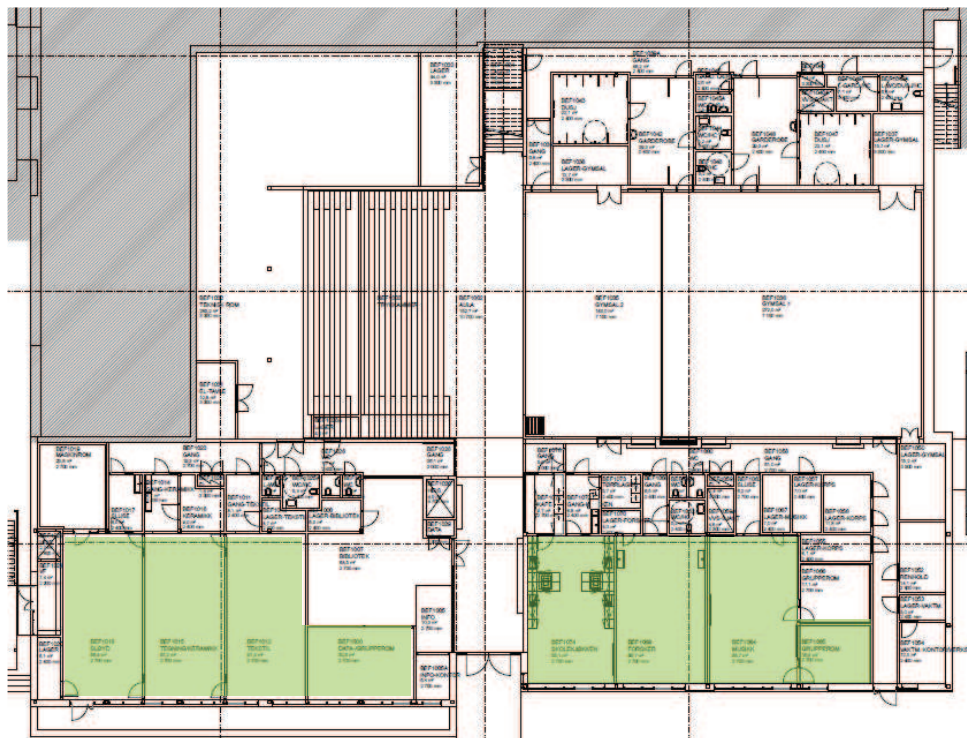


**Figur 4.1.2** organisering med rygg til vindu samt møblering som dekker for deler av vindu (foto: Magnus G. Gjerde)

Figurer 4.1.6-4.1.8 viser utklipp av plantegninger for eksisterende løsning med fargeinndeling for funksjoner. Målestokk kan her ikke bestemmes nøyaktig. Tegninger er hentet fra forprosjektrapport åpent tilgjengelig på nett. Fargelegging er utført av undertegnede. Internettadresse for prosjektrapport er gitt i oppgavens litteraturliste.



Samtlige plantegninger med korrekt målestokk finnes som vedlegg i oppgavens vedleggskapittel.



Figur 4.1.7 Undervisningsarealer i 1. etasje referansebygg med (grønt)



Figur 4.1.6 Funksjoner i 2. etasje referansebygg. Baser (grønt), administrasjon (oransje), og SFO/forsterket plassert tett rundt kjernen

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie



Figur 4.1.8 Funksjoner i 3. etasje referansebygg. Tre baser (grønt) plassert tett rundt kjernen

I figur 4.1.9 og 4.1.10 kan ses observerte fellesarealer for to ulike baser og sentralt plassert grupperom med avrundede former.



Figur 4.1.10 Observert fellesareal for base (foto: Magnus G. Gjerde)



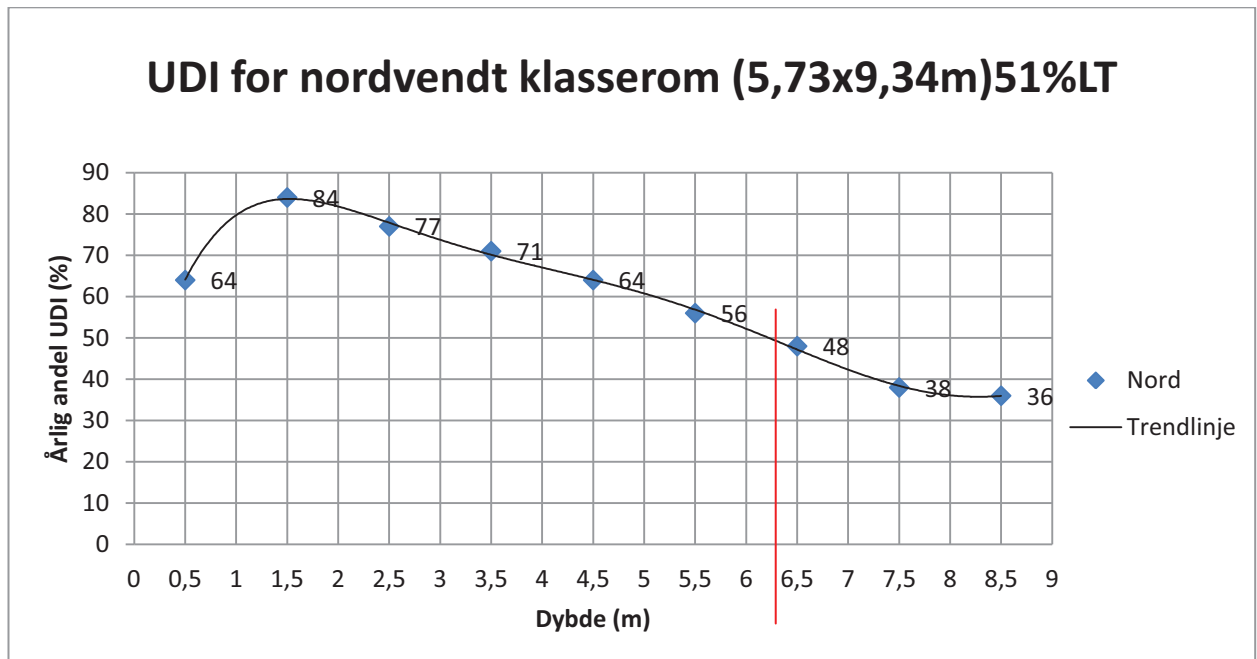
Figur 4.1.9 Observert fellesareal for base (foto: Magnus G. Gjerde)

Dagslys og energiforhold i kompakte skoler - En case studie

Tabell 9 Arealer i romprogram samt tilsvarende prosjekterte arealer for referanseprosjekt. Verdier hentet fra forprosjektrapport (datert 08.04.2011) tilgjengelig på internett.

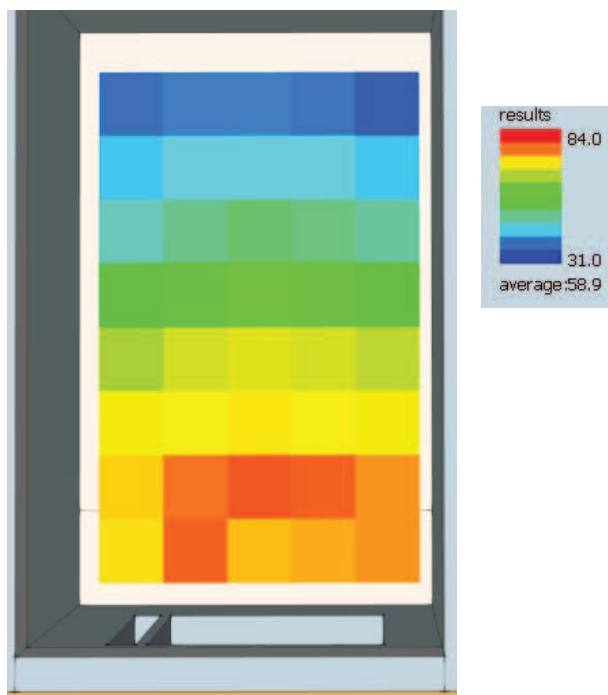
| HAUKERØD SKOLE                 | Romprogram<br>NTA (m2) | Referanseprosjekt<br>prosjektert NTA (m2) |
|--------------------------------|------------------------|---|
| <b>BASEAREAL (7 TRINN)</b>     |                        |   |
| Klasserom 21x60m2              | 1260,0                 | 1139,6                                    |
| Fellesareal 7x50m2             | 350,0                  | 398,5                                     |
| Grupperom 7x12m2               | 84,0                   | 78,8                                      |
| Grupperom 7x8m2                | 56,0                   | 53,2                                      |
| Garderobe 7x60m2               | 420,0                  | 343,6                                     |
| Toaletter 7x15m2               | 105,0                  | 74,1                                      |
| Baselager 7x12m2               | 84,0                   | 55,4                                      |
| Arbeidsplasser lærere 7x30m2   | 210,0                  | 210,5                                     |
| Møterom 7x15m2                 | 105,0                  | 57,8                                      |
| <b>SUM</b>                     | <b>2674,0</b>          | <b>2411,5</b>                             |
| <b>FORSTERKET AVDELING</b>     |                        |   |
| Arbeidsrom for assistenter     | 15,0                   | 12,1                                      |
| Treningsrom/aktivitetsrom      | 40,0                   | 40,0                                      |
| Grupperom 3x10m2               | 30,0                   | 26,9                                      |
| Grupperom 2x10m2               |                        | 17,8                                      |
| Lager utstyr                   | 7,0                    | 8,2                                       |
| Stellerom/toalett              | 8,0                    | 6,0                                       |
| <b>SUM</b>                     | <b>100,0</b>           | <b>111,0</b>                              |
| <b>SPESIALROM</b>              |                        |   |
| SFO base                       | 50,0                   | 55,1                                      |
| Materialrom for SFO            | 10,0                   | 9,6                                       |
| Aula                           | 160,0                  | 152,7                                     |
| Amfi                           |                        | 130,8                                     |
| Lager                          |                        | 41  |
| Aktivitetsrom (gymsal 2)       | 150,0                  | 155,7                                     |
| Gymsal                         | 280,0                  | 303                                       |
| Garderober og dusj gymsal      | 150,0                  | 132,5                                     |
| Skolekjøkken                   | 80,0                   | 69,7                                      |
| Lager/kjøøl skolekjøkken       | 10,0                   | 5,7                                       |
| Lager skolemelk og frukt       | 7,0                    | 4   |
| Musikkrom                      | 60,0                   | 55,7                                      |
| Grupperom musikk 2x20m2        | 40,0                   | 33,9                                      |
| Lager musikkrom                | 10,0                   | 7   |
| Skolebibliotek                 | 90,0                   | 87,6                                      |
| Datarom                        | 50,0                   | 32,6                                      |
| Sløyd                          | 60,0                   | 64,4                                      |
| Verksted/maskinrom             | 20,0                   | 20  |
| Lager trematerialer            | 10,0                   | 9,9                                       |
| Tekstil                        | 50,0                   | 65,3                                      |
| Lager tekstil/tegning          | 10,0                   | 9   |
| Tegning/leire                  | 60,0                   | 65,3                                      |
| Lager leire/keramikk           | 10,0                   | 9   |
| Forskerrom                     | 60,0                   | 56,7                                      |
| Lager forsker                  | 8,0                    | 4   |
| <b>SUM</b>                     | <b>1435,0</b>          | <b>1580,2</b>                             |
| <b>ADMINISTRASJON</b>          |                        |   |
| Sekretær                       | 8,0                    | 10,2                                      |
| Inspektør 3x10m2               | 30,0                   | 30,5                                      |
| Rektor                         | 12,0                   | 16,8                                      |
| SFO leder                      | 8,0                    | 10,2                                      |
| Konferanserom 2x15m2           | 30,0                   | 32,2                                      |
| Helsesøster                    | 8,0                    | 7,5                                       |
| Kontor data                    | 8,0                    | 9,9                                       |
| Kontor spes.ped.               | 8,0                    | 10,2                                      |
| Kontor vaktmester              | 8,0                    | 17,3                                      |
| Sentralt lager/kopirom         | 15,0                   | 12,6                                      |
| Personalrom m/kjøkken          | 100,0                  | 96,5                                      |
| Personalgarderober m/toaletter | 50,0                   | 58,6                                      |
| Hvilerom                       | 6,0                    | 7,5                                       |
| Verksted vaktmester            | 10,0                   | 0,0                                       |
| Rengjøringsentral              | 30,0                   | 14,1                                      |
| Bøttekott i hver etasje 3x6m2  | 18,0                   | 5,6                                       |
| Lager skolekorps 2x15m2        | 30,0                   | 19,8                                      |
| Lager skolekorps               | 6,0                    | 7,0                                       |
| Lager skole ulike læremidler   | 30,0                   | 29,6                                      |
| Tekniske rom                   | 300,0                  | 373,9                                     |
| <b>SUM</b>                     | <b>715,0</b>           | <b>770,0</b>                              |

#### 4.1.4 Dagslyssimuleringer av referanseklasserom

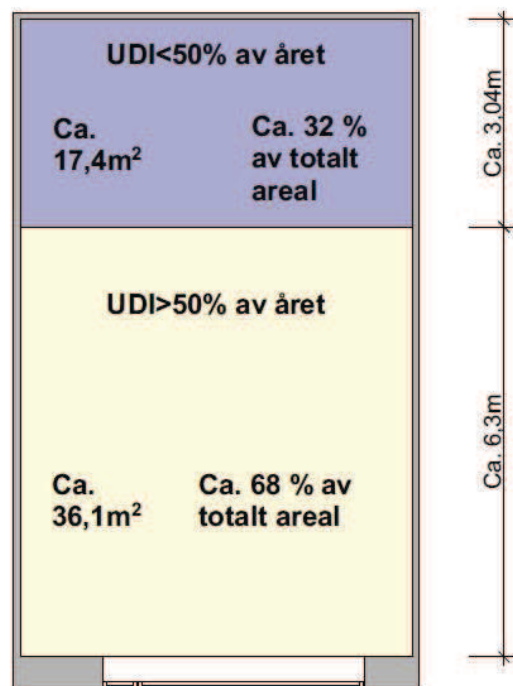


Figur 4.1.11 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i nordvendt referanserom med 51 % LT

I Figur 4.1.11 ses at årlig prosentandel Useful Daylight Illuminance faller til under 50 % omtrentlig ved 6,3 meter dybde for dette tilfellet. I figur 4.1.13 viser et fargekart for samtlige punkter i rommet at verdier i en bestemt dybde ser det ut til å være høyest nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger. Figur 4.1.12 anslår omtrentlige areal i rommet med Useful Daylight Illuminance for mer eller mindre enn 50 % av året.

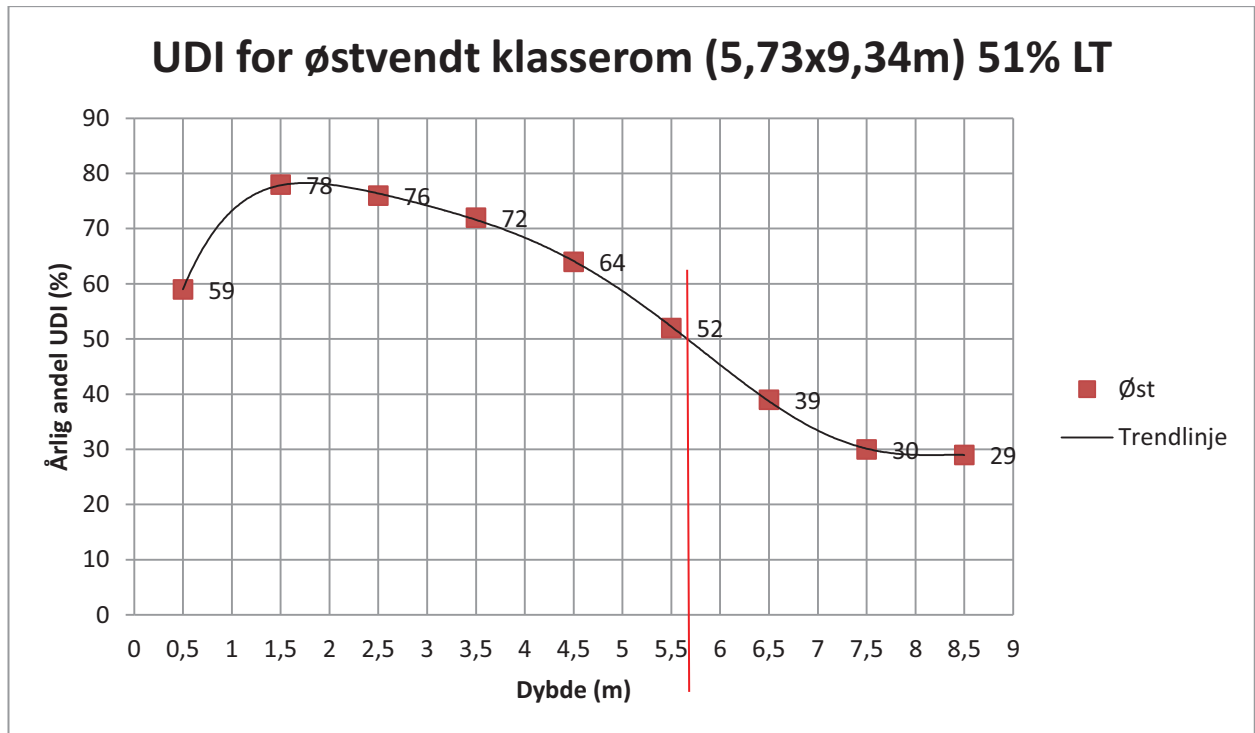


Figur 4.1.13 Fargekart for simulerte verdier for nordvendte rom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala



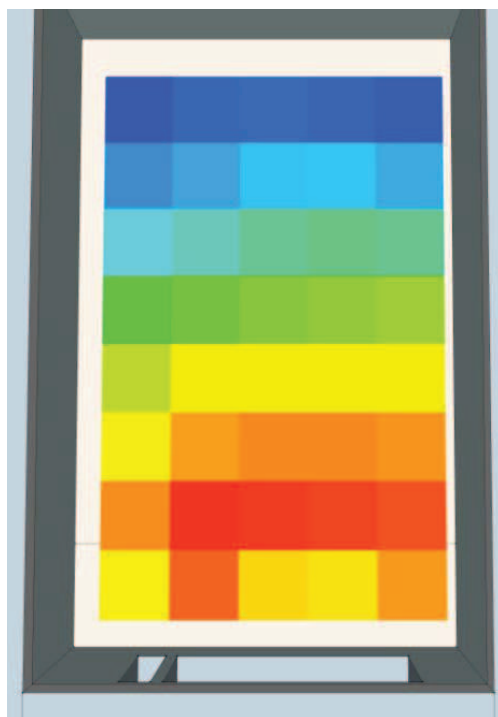
Figur 4.1.12 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år



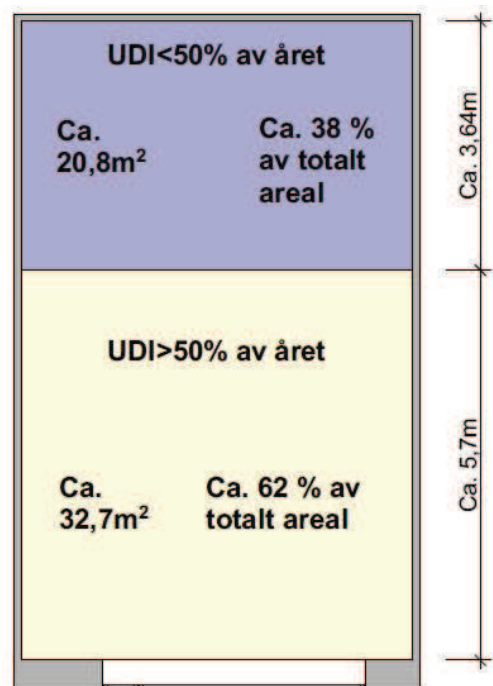
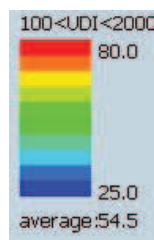


Figur 4.1.14 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i østvendt referanserom med 51 % LT

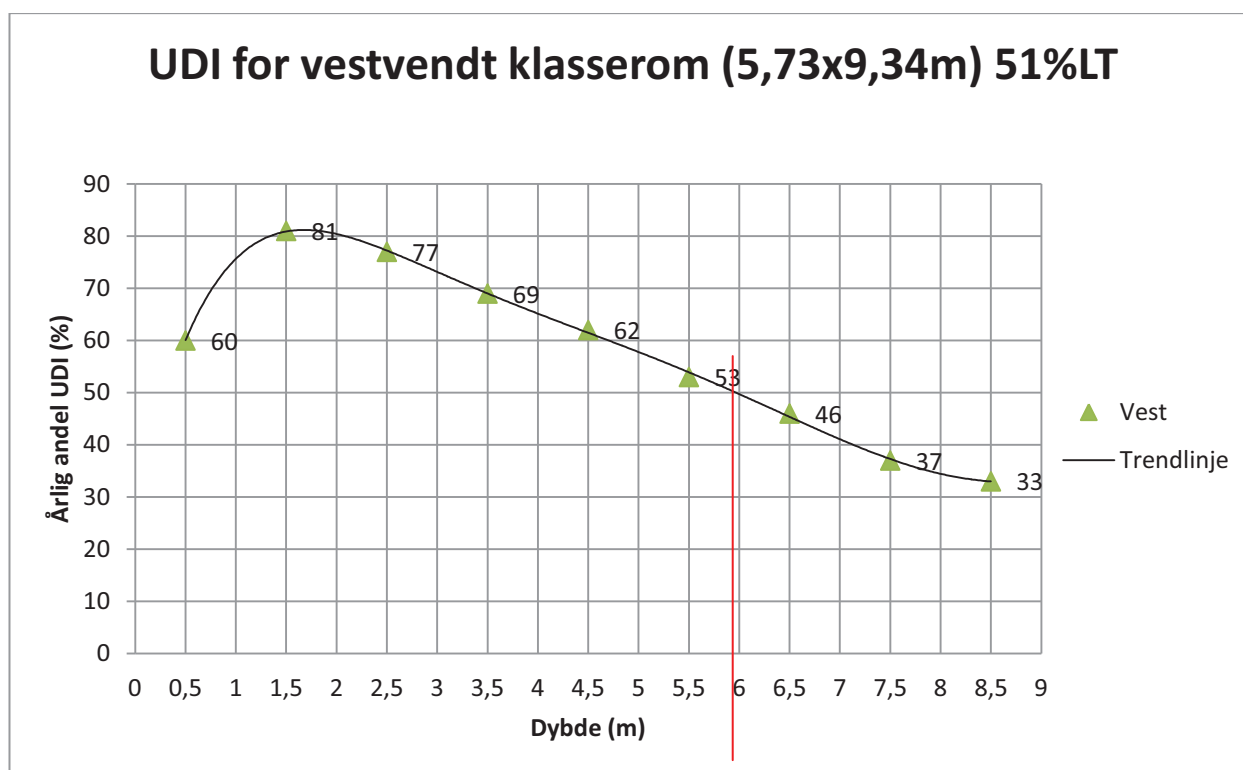
I Figur 4.1.14 ses at årlig prosentandel Useful Daylight Illuminance faller til under 50 % omtrentlig ved 5,7 meter dybde for dette tilfellet. I figur 4.1.16 viser et fargekart for samtlige punkter i rommet at verdier i en bestemt dybde ser det ut til å være høyest nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger. Figur 4.1.15 anslår omtrentlige areal i rommet med Useful Daylight Illuminance for mer eller mindre enn 50 % av året.



Figur 4.1.16 Fargekart for simulerte verdier i østvendt referanserom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala

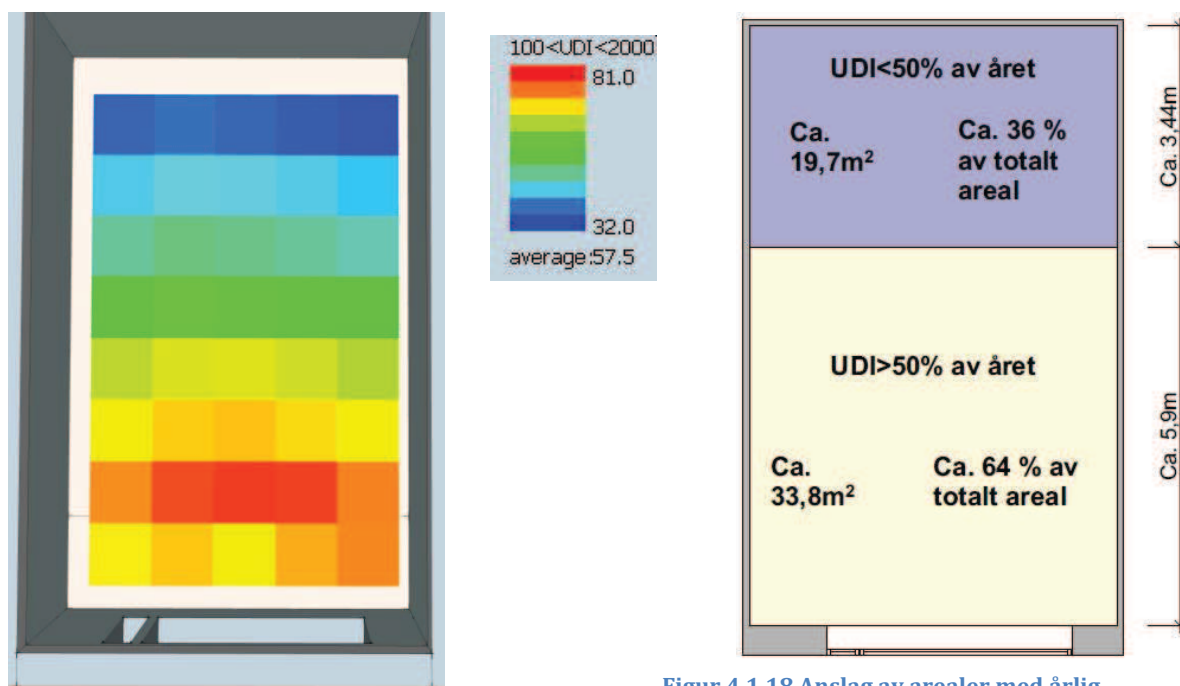


Figur 4.1.15 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år



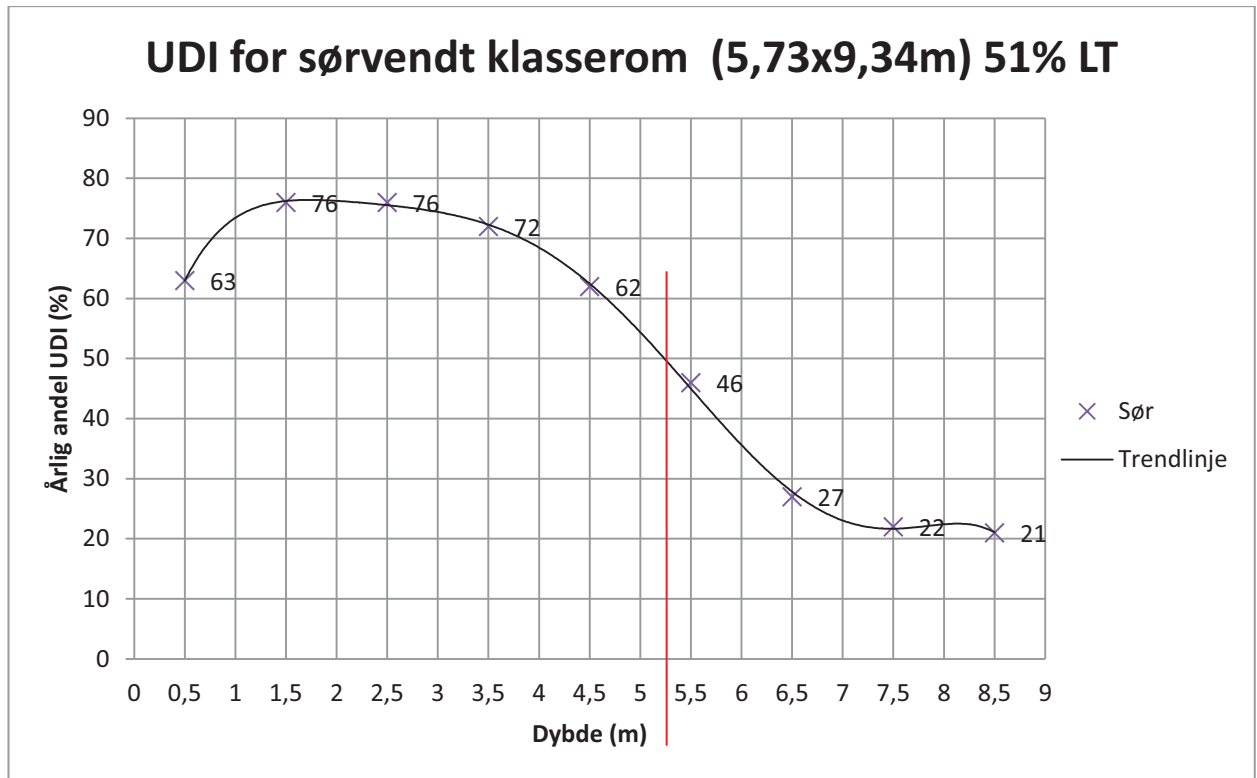
Figur 4.1.17 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i vestvendt referanserom med 51 % LT

Figur 4.1.17 viser at årlig prosentandel Useful Daylight Illuminance faller til under 50 % omtrentlig ved 5,9 meter dybde for dette tilfellet. I figur 4.1.19 antyder et fargekart for samtlige punkter i rommet at verdier i en bestemt dybde ser det ut til å være høyest nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger. Figur 4.1.18 anslår omtrentlige areal i rommet med Useful Daylight Illuminance for mer eller mindre enn 50 % av året.



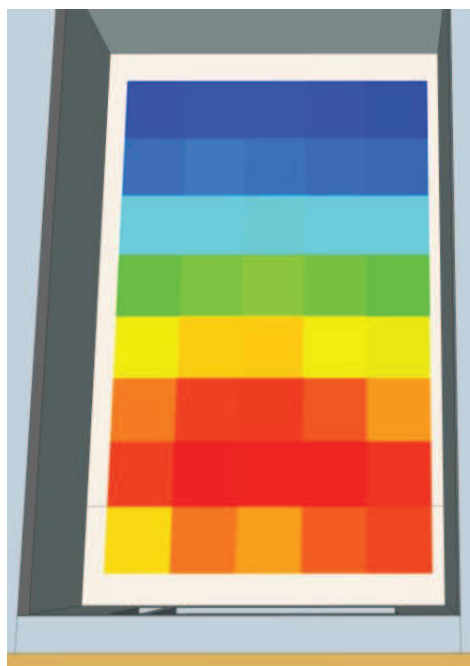
Figur 4.1.19 Fargekart for simulerte verdier i vestvendt referanserom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala

Figur 4.1.18 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år

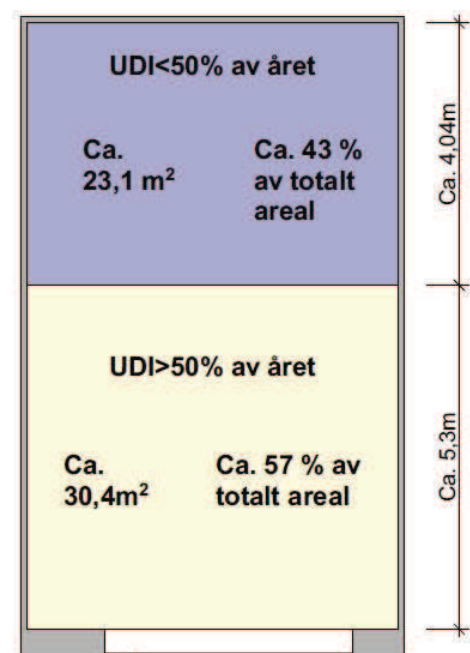


Figur 4.1.20 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i sørvendt referanserom med 51 % LT

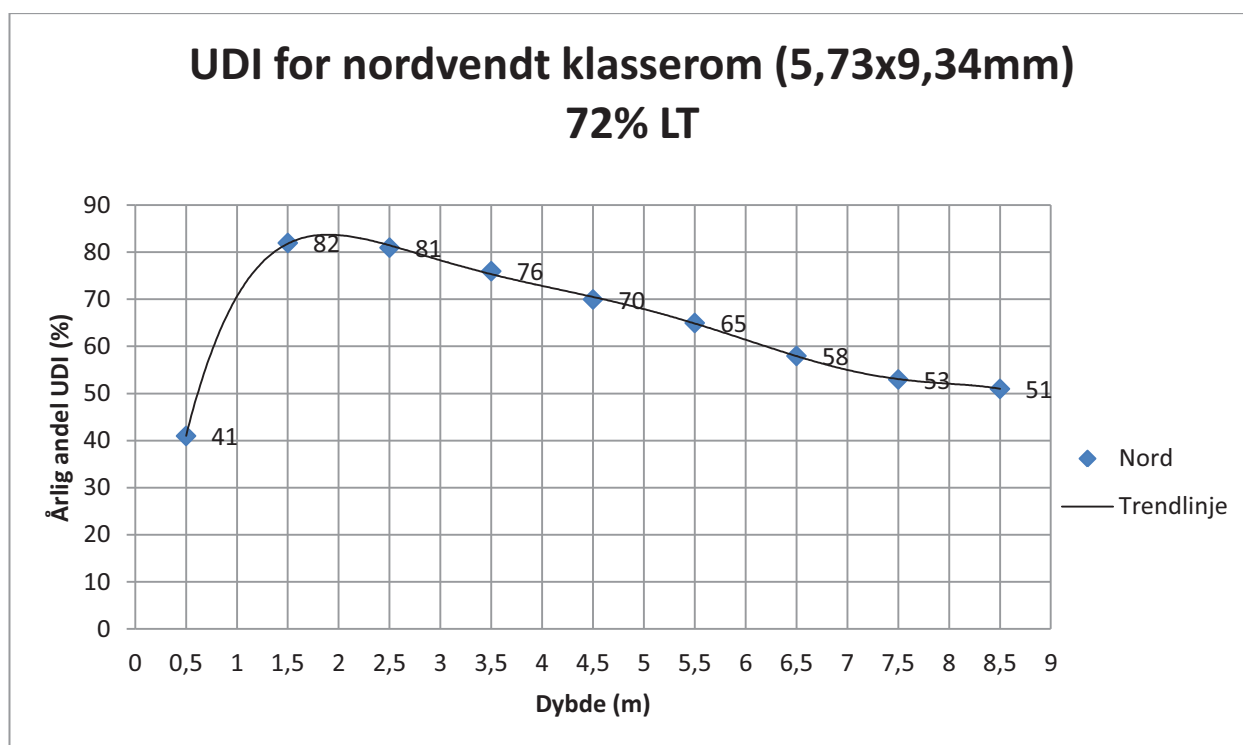
Figur 4.1.20 viser at årlig prosentandel Useful Daylight Illuminance faller til under 50 % omtrentlig ved 5,3 meter dybde for dette tilfellet. I figur 4.1.21 antyder et fargekart for samtlige punkter i rommet at verdier i en bestemt dybde ser det ut til å være høyest nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger. Figur 4.1.22 anslår omtrentlige areal i rommet med Useful Daylight Illuminance for mer eller mindre enn 50 % av året.



Figur 4.1.22 Fargekart for simulerte verdier i sørvendt referanserom. Røde verdier ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala

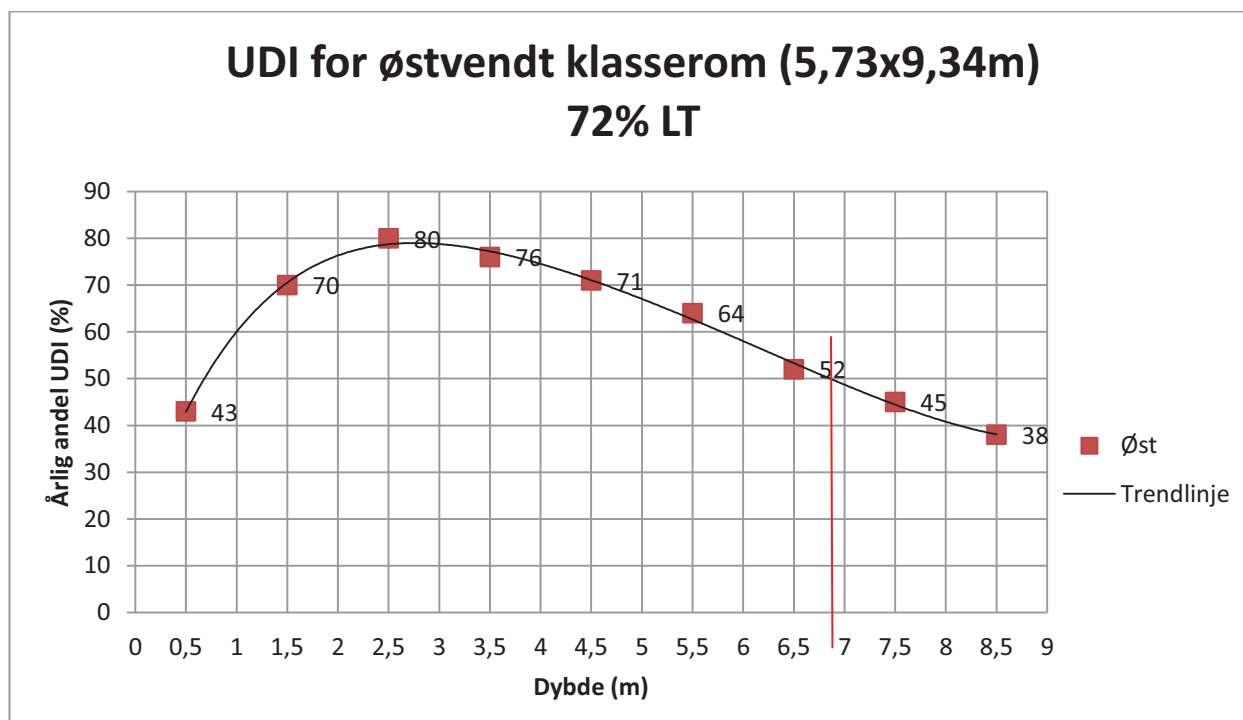


Figur 4.1.21 Anslag av arealer med årlig prosentandel UDI over eller under 50 % av det undersøkte år



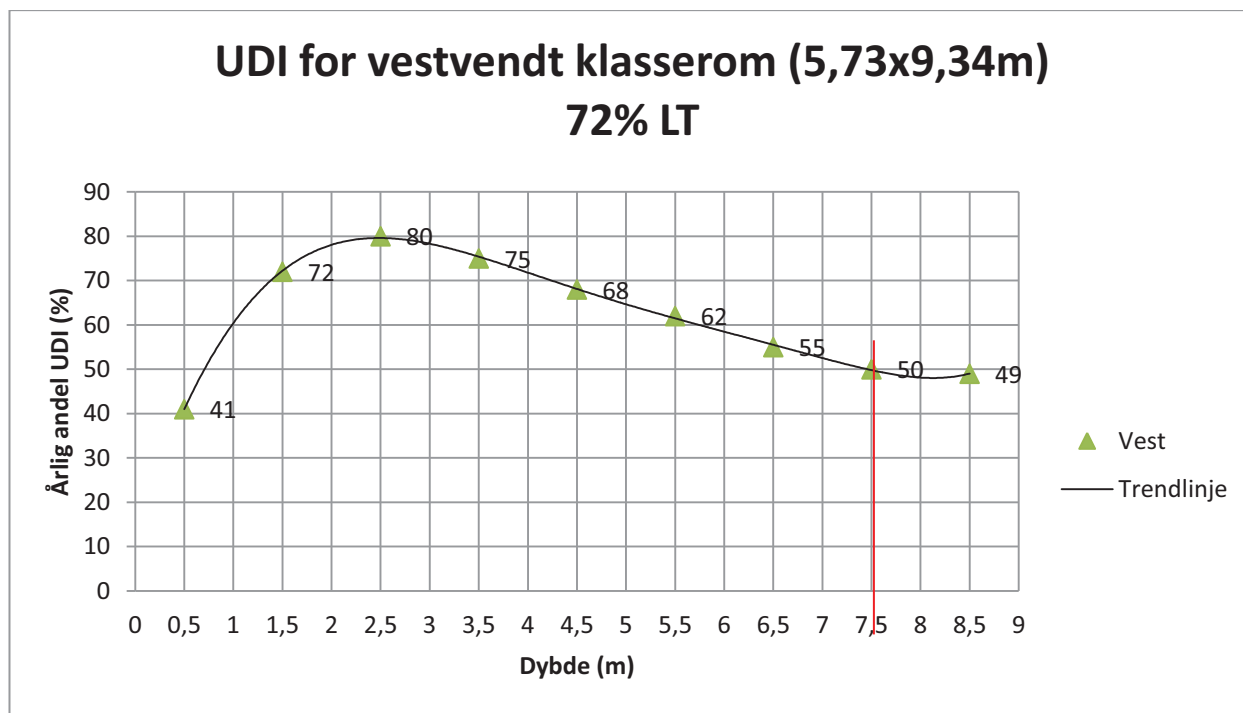
Figur 4.1.23 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i nordvendt referanserom med 72 % LT

I Figur 4.1.23 og 4.1.24 ses det at verdier i dybden ligger jevnt høyere enn tilsvarende tilfeller med 51 % lystransmisjon. For østlig orientering faller prosentandel til under 50 % omtrentlig ved 6,9 meter. Anslagsvis 1,2 meter dypere enn samme tilfelle med 51 % lystransmisjon. Verdi nærest vindu er lavere, og ligger under 50 %.



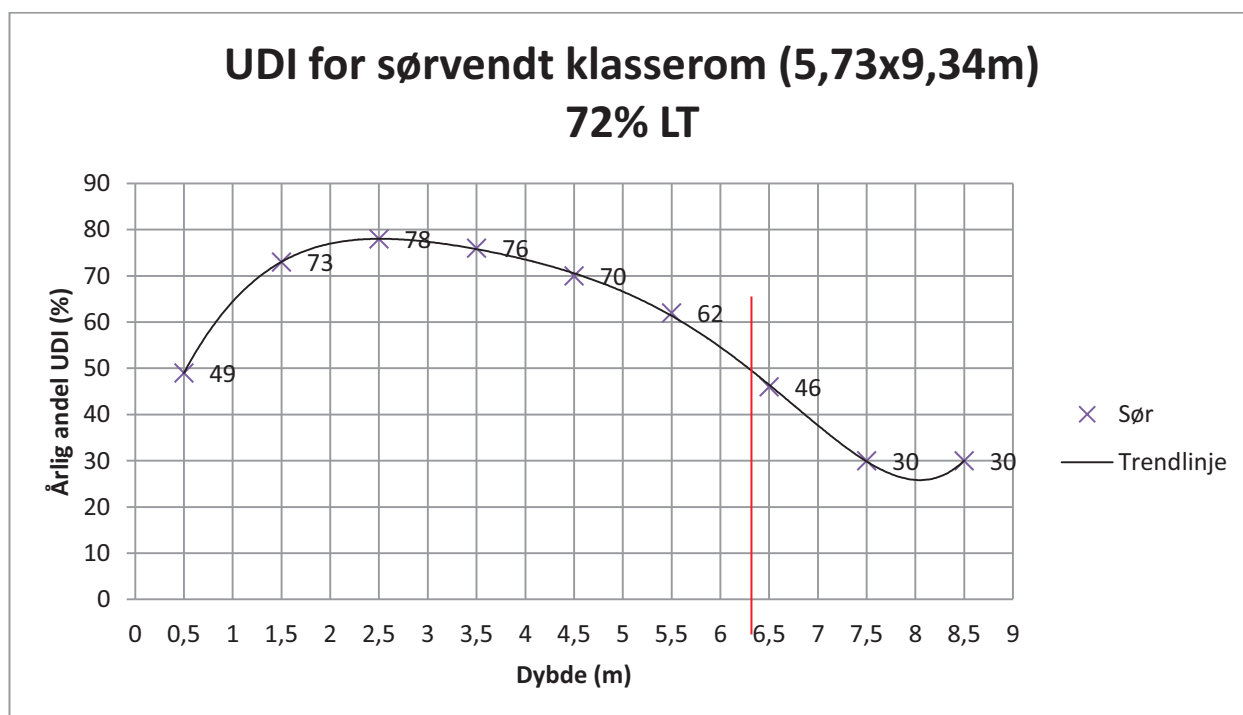
Figur 4.1.24 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i østvendt referanserom med 72 % LT



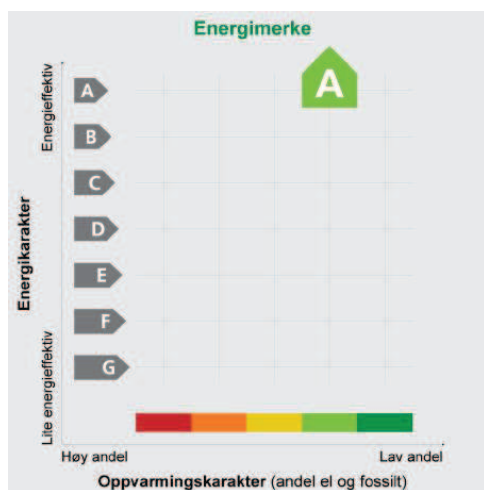


Figur 4.1.25 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i vestvendt referanserom med 72 % LT

I Figur 4.1.25 og 4.1.26 ses det at verdier i dybden ligger jevnt høyere enn tilsvarende tilfeller med 51 % lystransmisjon. For vestlig og sørlig orientering faller prosentandel til under 50 % omtrentlig ved henholdsvis 7,5 og 6,3 meter. Anslagsvis 1,6 og 1,0 meter dypere enn samme tilfeller med 51 % lystransmisjon. Verdi nærest vindu er lavere for begge tilfeller, og ligger under 50 %.



Figur 4.1.26 Årlig prosentandel UDI for utvalgte punkter i sørvendt referanserom med 72 % LT



Figur 4.1.27 Oppnådde energimerke for referanseprosjekt ([www.energimerking.no](http://www.energimerking.no))

#### 4.1.5 Energirapport for referanseprosjekt

I innhentet energirapport, datert 19.08.2013, oppgis beregnet levert energi ved normalisert klima til 436787 kWh/år. Beregnet spesifikk levert energi ved normalisert klima oppgis til en verdi av 65,0 kWh/m<sup>2</sup> per år. Følgelig oppnår eksisterende bygning den høyest mulige energikarakteren samt den nest beste oppvarmingskarakteren som er bestemt av Enova og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Figur 4.1.27 viser en illustrasjon av oppnådde energimerke for referanseprosjekt.

#### 4.1.6 Test av lystransmisjon for utvalgt vindu

Tabell 10 Resultater for vindusmålinger

| Testnummer | Inne (lux) | Ute (lux) | Inne / Ute |
|------------|------------|-----------|------------|
| 1          | 1621       | 4310      | 0,38       |
| 2          | 1558       | 4340      | 0,36       |
| 3          | 1590       | 4360      | 0,36       |
| 4          | 1597       | 4390      | 0,36       |
| 5          | 1612       | 4420      | 0,36       |
| 6          | 1616       | 4440      | 0,36       |
| 7          | 1629       | 4450      | 0,37       |
| 8          | 1638       | 4460      | 0,37       |
| 9          | 1636       | 4470      | 0,37       |
| 10         | 1642       | 4500      | 0,36       |

Tabell 10 viser resultater fra egne målinger av lystransmisjon i et utvalgt vindu ved referanseprosjekt. Ut i fra resultatene er en gjennomsnittlig transmisjonsfaktor på 0,37 (37 %) anslått. Tidsrom mellom korresponderende målinger er estimert 1-2 minutter. Eventuelle feilkilder adresseres i oppgavens diskusjonskapittel.

## 4.2 Alternativt løsningsforslag

Endringer som er utført i skolens planer tar utgangspunkt i nye dimensjoner på klasserommene. I tillegg er det valgt å prioritere fasadetilgang til grupperom i baser. Med dette som det første kriterium for utformingen av skolens planer er det utarbeidet et alternativt forslag. Det er tilrettelagt for noe dagslys til basenes fellesarealer, men dette har ikke vært førsteprioritet.

Skolens baseløsninger er forsøkt ivaretatt, der funksjonene som tilhører hver base er beholdt i samme område. Den alternative løsningen ivaretar også et ønske om en samlokalisering av klassetrinnene i tre grupper; 1. og 2. og 3. klasse, 4. og 5. klasse, og tilslutt 6. og 7. klasse for seg. Dette er ivaretatt ved å plassere to og to baser i 2. etasje ved siden av hverandre, samt en plassering av tre baser relativt samlet i byggets 3. etasje.

### 4.2.1 Alternativt forslag til planløsning

Følgende oppsummering redegjør for sentrale aspekter ved, og tanker bak, det alternative forslag til planløsning:

- Alternativt forslag har et totalt areal på omtrentlig 7460 m<sup>2</sup> (BRA)
- Bygningen har en mer avlang form enn referanseprosjekt
- Bygningen har i likhet med referanseprosjekt 2-3 etasjer
- Aula og gymsal er beholdt sentralt og tilnærmet likt som for referanseprosjekt
- Det er mulighet for innvendig vandring rundt hele kjernen (aula og gymsal)
- Funksjoner i 1.etasje er beholdt tilnærmet likt som for referanseprosjekt.  
Dimensjoner for undervisningsrom er endret for å gi mindre dype rom med større fasadelengde
- Klasserom i baser er stort sett gitt en dimensjon på b\*h=8,0 meter \*7,5 meter
- 7-8 av klasserom i baser har mulighet for dagslystilgang fra to sider
- Basenes plassering legger til rette for en relativ samlokalisering av klassetrinnene i grupper på to, to, og tre trinn.
- Basefunksjonene er plassert rundt et fellesareal. Løsningen gir god oversikt over basefunksjonene fra lærerkontoret

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

- Grunnet den større tildelingen av fasade til byggets ulike funksjoner og ønsket om å opprettholde en nokså kompakt form er det blitt en vesentlig økning i kvadratmeter tildelt fellesarealer i baser
- Samtlige grupperom i baser er tildelt en fasadevegg med tilgang på dagslys
- Garderober er foreslått trukket inn i bygningen og baseres på sambruk av to til tre trinn
- Administrasjon er plassert sentralt i annen etasje. Samtlige kontorer er her tildelt en viss fasadelengde
- Administrasjonen er delvis skjermet fra andre åpne arealer for å minke sannsynligheten for forstyrrelser
- Forsterket avdeling og SFO er samlokalisert i 2. etasje
- Himlingshøyder på 2,7 meter for oppholdsarealer. Aula har himlingshøyde 10,7 meter. Gymsal har 7,1 meter. Dette er tilsvarende referanseprosjekt.

Figurer 4.2.1-4.2.3 viser plassering av sentrale funksjoner for alternativ løsning. Samtlige plantegninger med korrekt målestokk finnes som vedlegg i oppgavens vedleggskapittel.

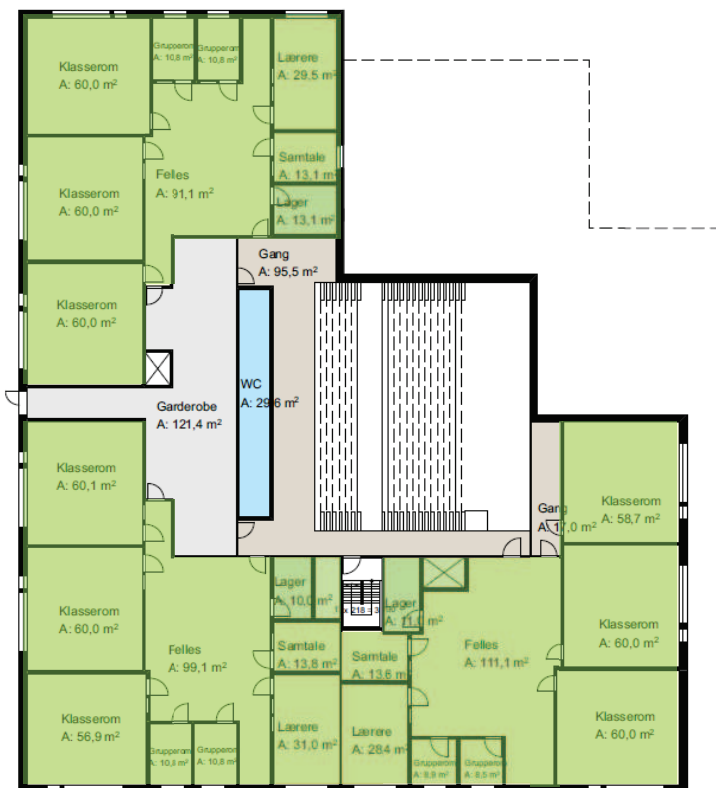


Figur 4.2.1 Funksjoner 1. etasje alternativ løsning. Undervisningsrom med fasade (grønt)

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

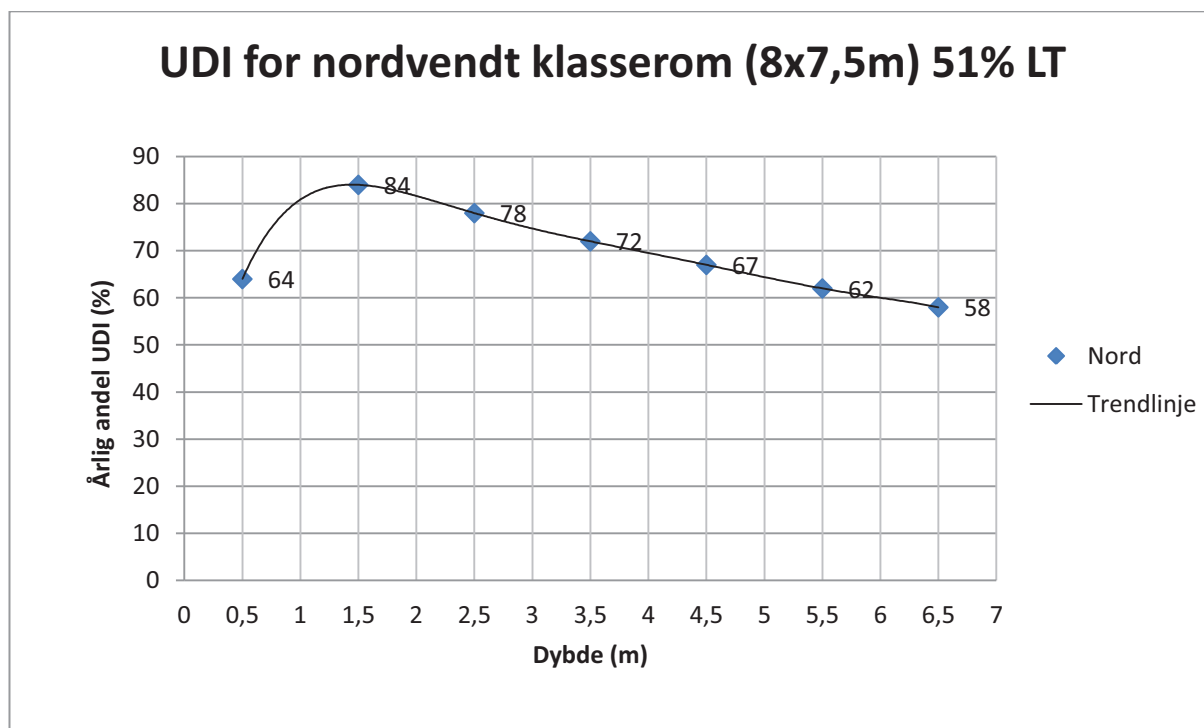


Figur 4.2.3 Funksjoner 2. etasje alternativ løsning med baser (grønt) Administrasjon (oransje) og SFO/forsterket (lilla) rundt skolens kjerne



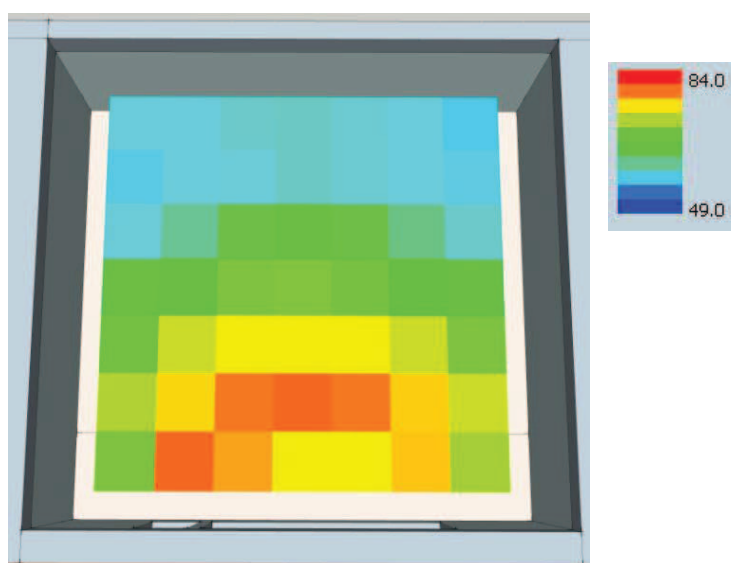
Figur 4.2.2 Funksjoner 3. etasje alternativ løsning med tre baser (grønt) rundt skolens kjerne

#### 4.2.2 Dagslyssimuleringer av alternativt klasserom

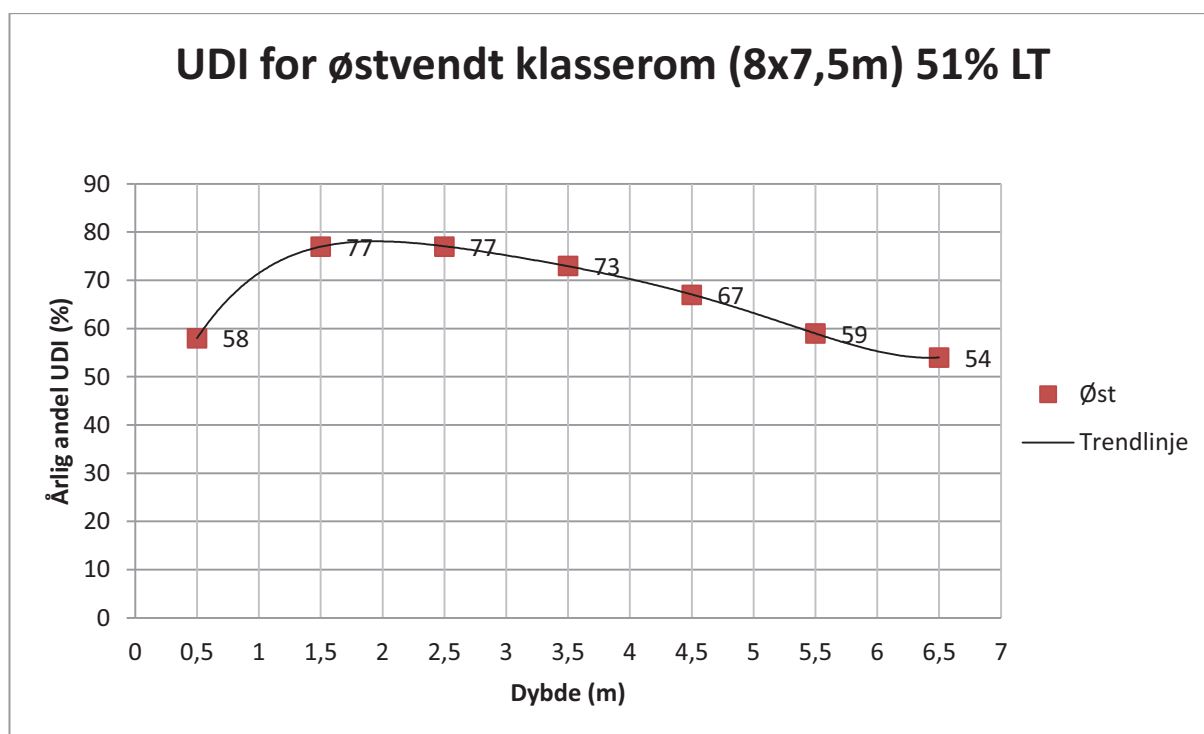


Figur 4.2.4 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i nordvendt alternativt rom med 51 % LT

For nordlig orientert alternativt rom med 51 % lystransmisjon ligger alle simulerte årlige prosentandeler Useful Daylight Illuminance i utvalgte punkter over 50 %. Figur 4.2.4 viser resultatene for den utvalgte linje. I figur 4.2.5 viser fargekartet med samtlige målepunkter i rommet at prosentandel Useful Daylight Illuminance ved en bestemt dybde er større nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger.

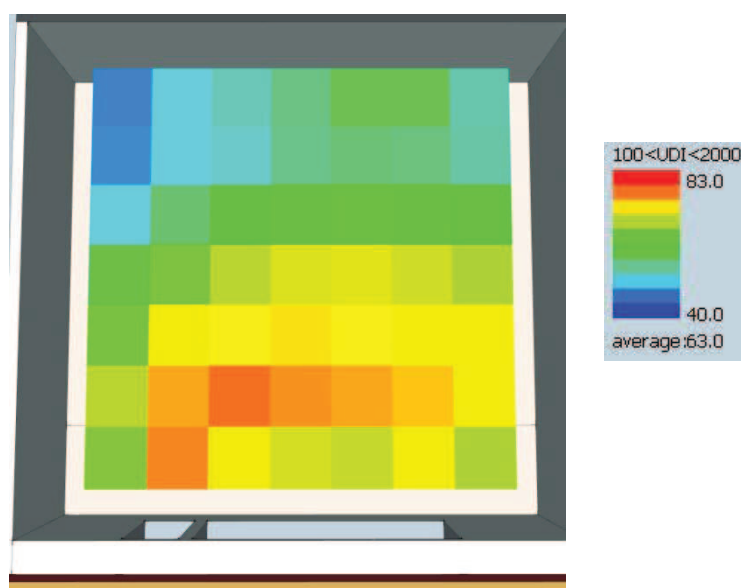


Figur 4.2.5 Fargekart over simulerte verdier i nordvendt alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala



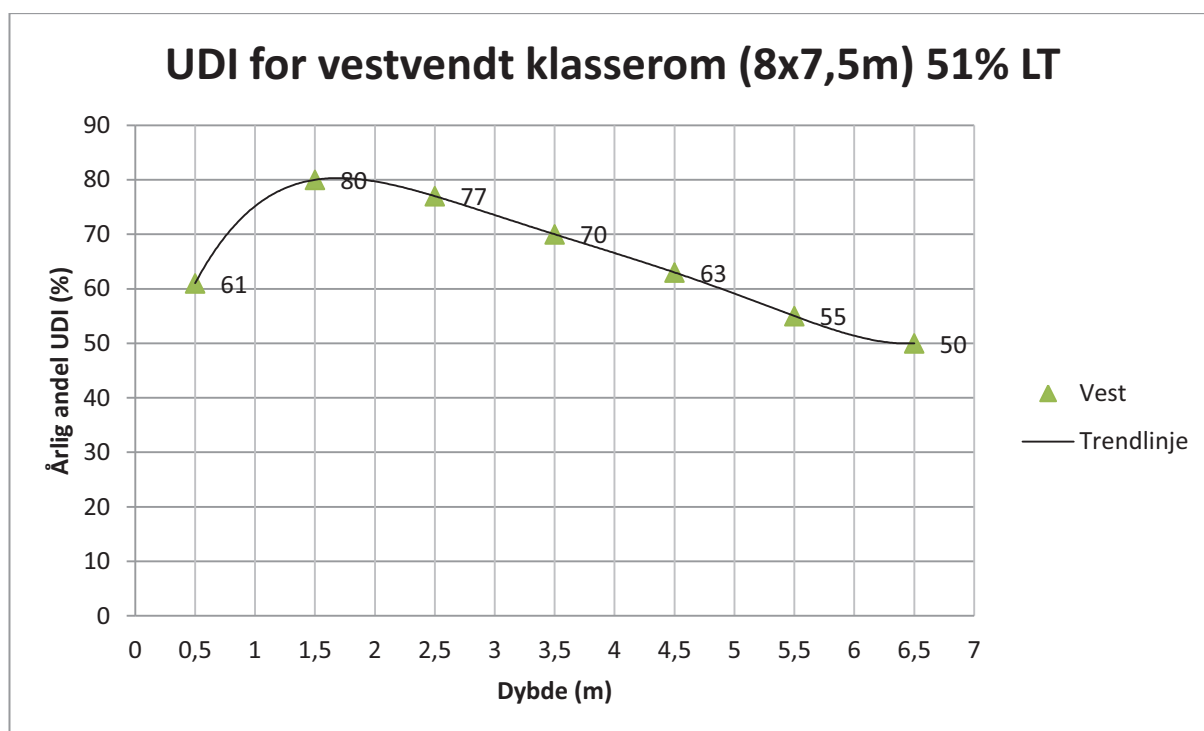
Figur 4.2.6 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i østvendt alternativt rom med 51 % LT

For østlig orientert alternativt rom med 51 % lystransmisjon ligger alle simulerte årlige prosentandeler Useful Daylight Illuminance i utvalgte punkter over 50 %. Figur 4.2.6 viser resultatene for den utvalgte linje. I figur 4.2.7 viser fargekartet med samtlige målepunkter i rommet at prosentandel Useful Daylight Illuminance ved en bestemt dybde er større nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger. Aller laveste verdier oppnås i innerste venstre hjørne.



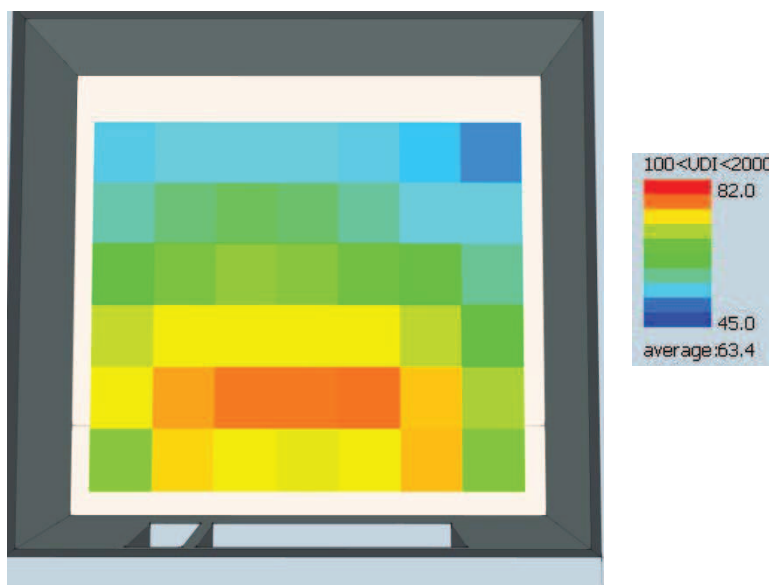
Figur 4.2.7 Fargekart for simulerte verdier i det østvendte alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala



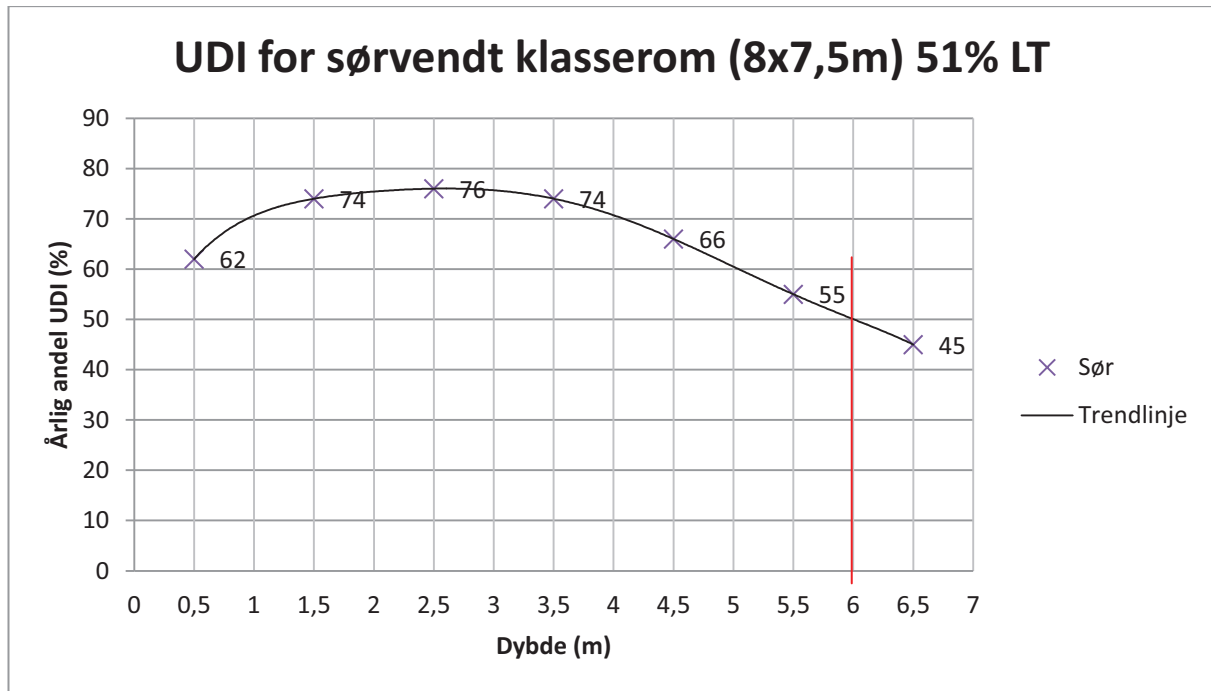


Figur 4.2.8 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i vestvendt alternativt rom med 51 % LT

For vestlig orientert alternativt rom med 51 % lystransmisjon ligger alle simulerte årlige prosentandeler Useful Daylight Illuminance i utvalgte punkter over 50 %. Figur 4.2.8 viser resultatene for den utvalgte linje. I figur 4.2.9 viser fargekartet med samtlige målepunkter i rommet at prosentandel Useful Daylight Illuminance ved en bestemt dybde er større nærmere midt i rommet og avtar noe mot sidevegger. Innerste høyre hjørne oppnår lavest verdier.

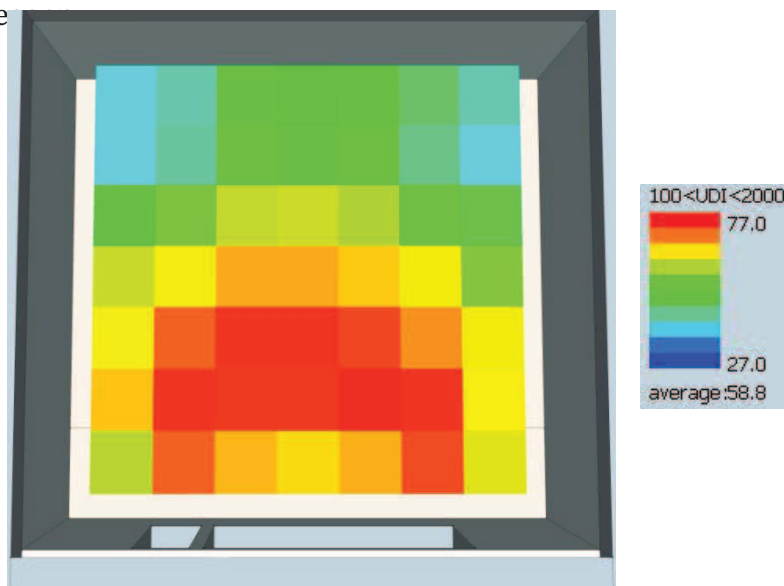


Figur 4.2.9 Fargekart for simulerte verdier i det vestvendte alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala

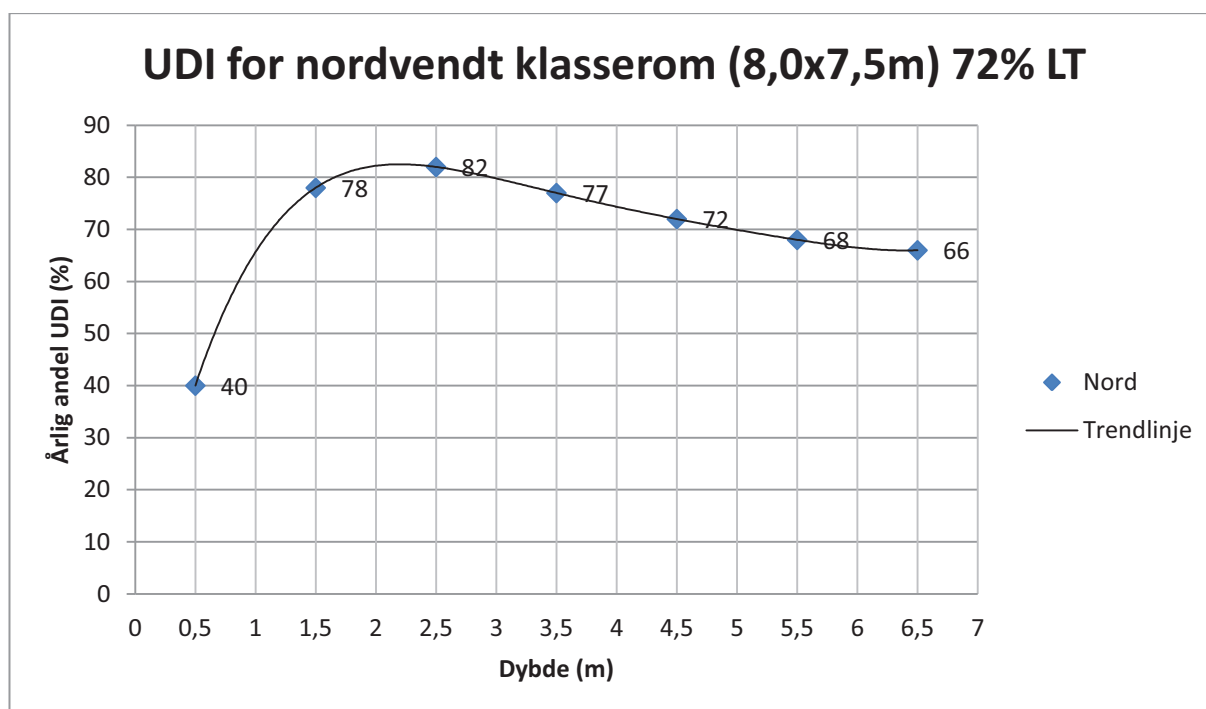


**Figur 4.2.10** Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i sørvendt alternativt rom med 51 % LT

For sørlig orientert alternativt rom med 51 % lystransmisjon ligger alle simulerte årlige prosentandeler Useful Daylight Illuminance i utvalgte punkter over 50 %, unntatt punkt i 6,5 meters dybde. Trendlinje krysser 50 % ved 6 meters dybde. Anslått areal påvirket er 20 % av rommets areal. Figur 4.2.10 viser resultatene for den utvalgte linje. I figur 4.2.11 viser fargekartet med samtlige målepunkter i rommet at prosentandel Useful Daylight Illuminance ved en bestemt dybde er størst nærmere midt i rommet og avtar noe mot sideve

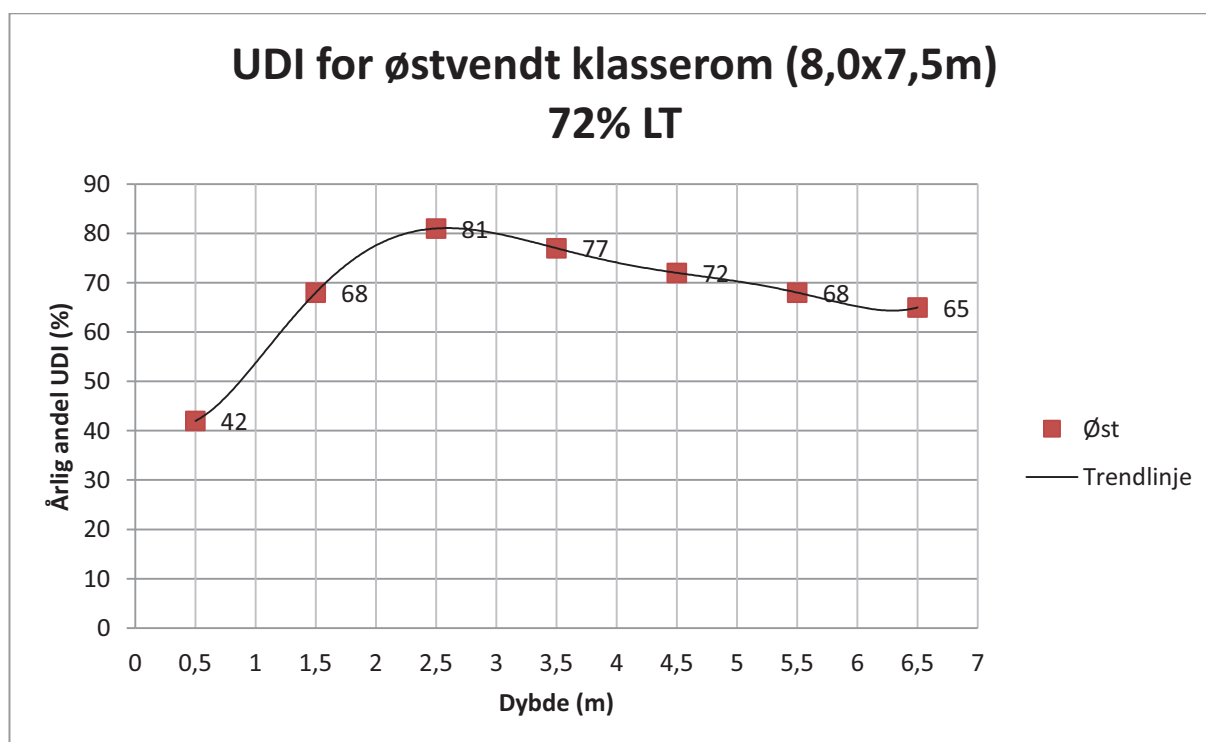


**Figur 4.2.11** Fargekart for simulerte verdier i det sørvendte alternative rom. Røde verdier mest ønskelig. Farger må ses i sammenheng med tilhørende fargeskala

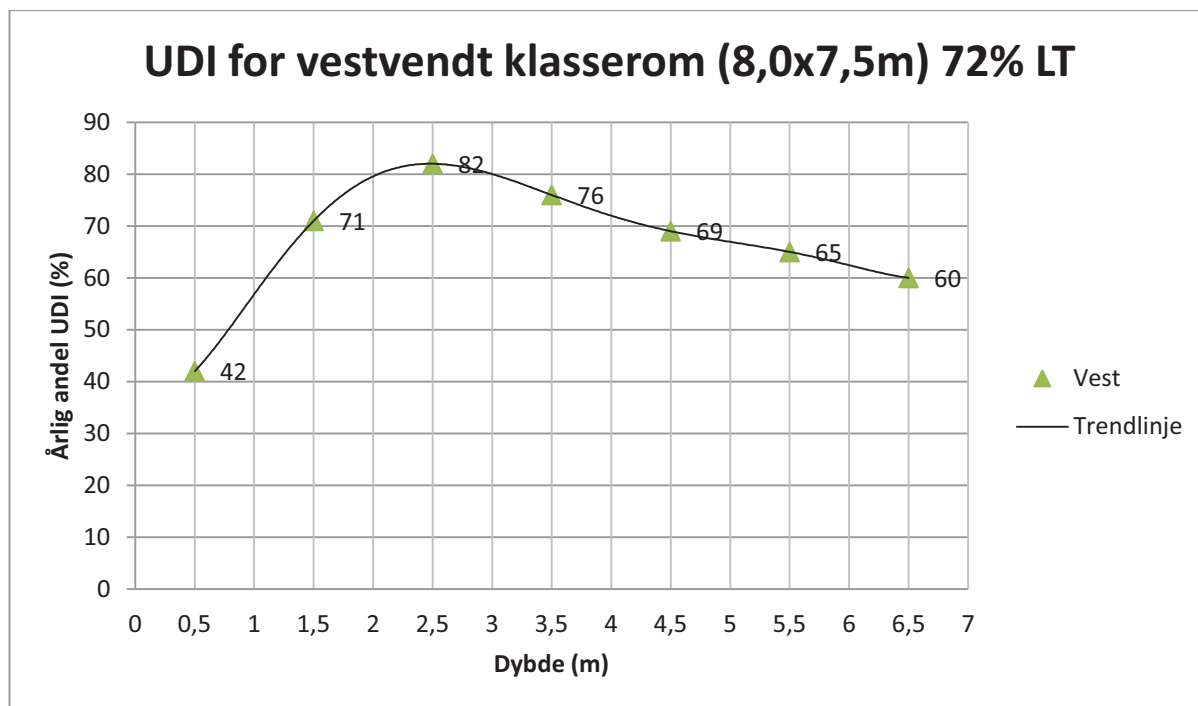


Figur 4.2.12 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i nordvendt alternativt rom med 72% LT

Med en lystransmisjon på 72 % ses det at verdier for både nordvendt (figur 4.2.12) og østvendt (figur 4.2.13) ligger jevnt høyere i dybden enn tilsvarende tilfeller med 51 % lystransmisjon. De innerste seks punkter ligger alle godt over 50 %. Verdi nærmest vindu er derimot lavere, og ligger under 50 %.

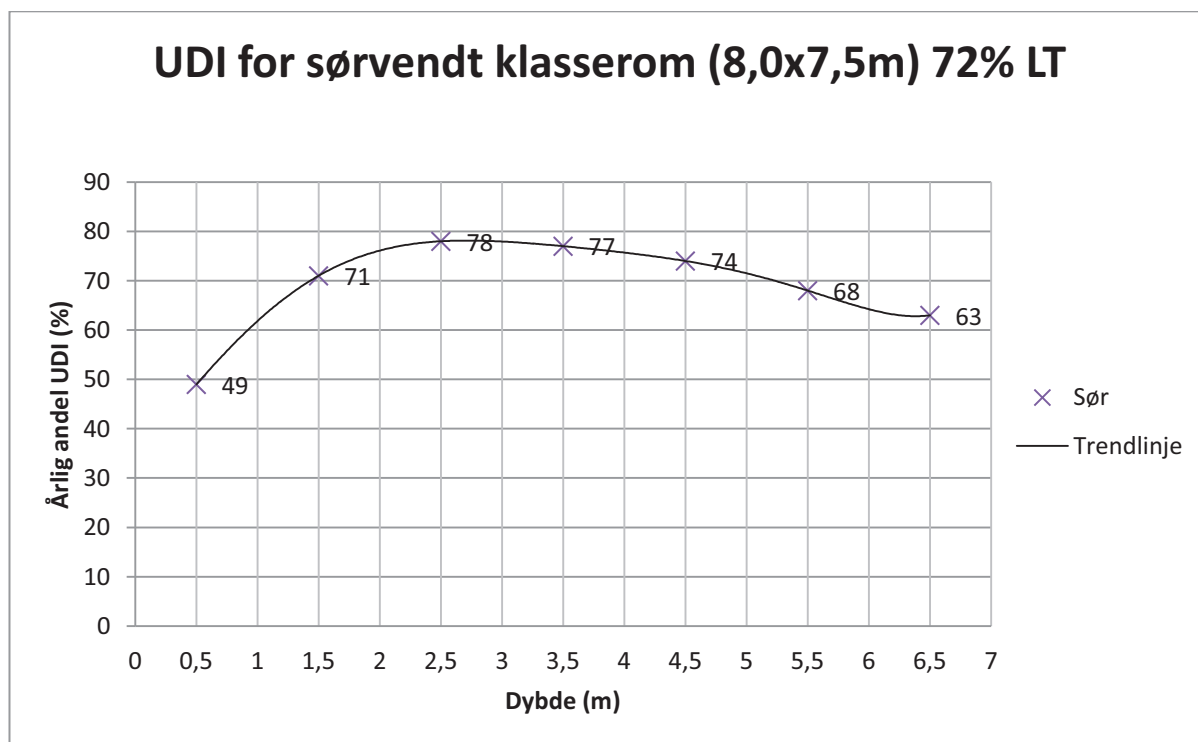


Figur 4.2.13 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i østvendt alternativt rom med 72 % LT



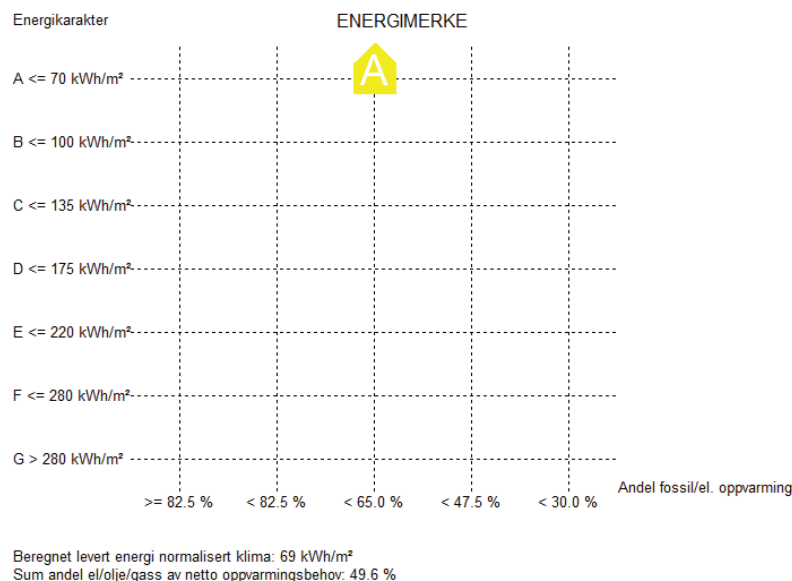
Figur 4.2.14 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i vestvendt alternativt rom med 72 % LT

Med en lystransmisjon på 72 % ses det for både vestlig (figur 4.2.14) og sørlig (figur 4.2.15) himmelretning at verdier i rommenes dybde ligger jevnt høyere enn tilsvarende tilfeller med 51 % lystransmisjon. De innerste seks punkter ligger alle godt over 50 %. Verdi nærmest vindu er derimot lavere, og ligger under 50 %.



Figur 4.2.15 Årlige prosentandeler UDI for utvalgte punkter i sørvendt alternativt rom med 72 % LT

### 4.2.3 Energisimulering for alternativt skolebygg



Figur 4.2.16 Oppnådd energikarakter for alternativt bygningsforslag

Figur 4.2.16 viser hvordan bygningen oppnår karakter A som energikarakter samt gul fargekode hva angår andel fossil/el. oppvarming. Den totale forventede levert energi ble totalt på 475754 kWh slik som vist i figur 4.2.17.

| Forventet levert energi |            |
|-------------------------|------------|
| Beskrivelse             | Verdi      |
| Elektrisitet            | 475754 kWh |
| Olje                    | 0 kWh      |
| Gass                    | 0 kWh      |
| Fjernvarme              | 0 kWh      |
| Biobrensel              | 0 kWh      |
| Annen energivare        | 0 kWh      |
| Total energibruk        | 475754 kWh |

Figur 4.2.17 Forventet levert energi for alternativ bygning

Beregnete spesifikke levert energi for den alternative løsning ble 69 kWh/m², slik som vist i figur 4.2.18. Dette er den totale forventede levert energi delt på det totale oppvarmede areal medtatt i simulering.

| Beregnet levert energi       |           |
|------------------------------|-----------|
| Beskrivelse                  | Verdi     |
| Energibruk normalisert klima | 69 kWh/m² |
| Energibruk lokalt klima      | 69 kWh/m² |

Figur 4.2.18 Beregnet spesifikk levert energi for alternativ bygning

I figurer 4.2.19 – 4.2.21 kan ses dokumentasjon av sentrale inndata for simulering.

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

| Dokumentasjon av sentrale inndata (1)              |       |               |
|--|-------|---------------|
| Beskrivelse  | Verdi | Dokumentasjon |
| Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:               | 1649  |               |
| Areal tak [m <sup>2</sup> ]:                       | 3346  |               |
| Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:                      | 3284  |               |
| Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:     | 459   |               |
| Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:      | 6858  |               |
| Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:             | 22653 |               |
| U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]           | 0,16  |               |
| U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]                   | 0,08  |               |
| U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]                  | 0,08  |               |
| U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K] | 1,21  |               |
| Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]      | 6,7   |               |
| Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:    | 0,04  |               |
| Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]   | 52    |               |
| Lekkasjetall (n50) [1/h]:                          | 0,37  |               |
| Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:        | 82    |               |

Figur 4.2.21 Sentrale inndatafor simulering av alternativ bygning (1)

| Dokumentasjon av sentrale inndata (2)                             |       |               |
|---|-------|---------------|
| Beskrivelse   | Verdi | Dokumentasjon |
| Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:   | 82,2  |               |
| Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:               | 1,70  |               |
| Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]       | 13,8  |               |
| Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ] | 2,0   |               |
| Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:                            | 1,94  |               |
| Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:     | 75    |               |
| Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]                        | 19,8  |               |
| Systemeffektfaktor kjøling:                                       | 2,50  |               |
| Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]                           | 22,0  |               |
| Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:   | 84    |               |
| Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:                   | 0,53  |               |
| Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:                      | 0,60  |               |
| Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:                    | 0,53  |               |
| Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:                    | 0,00  |               |
| Driftstid oppvarming (timer)                                      | 10,0  |               |

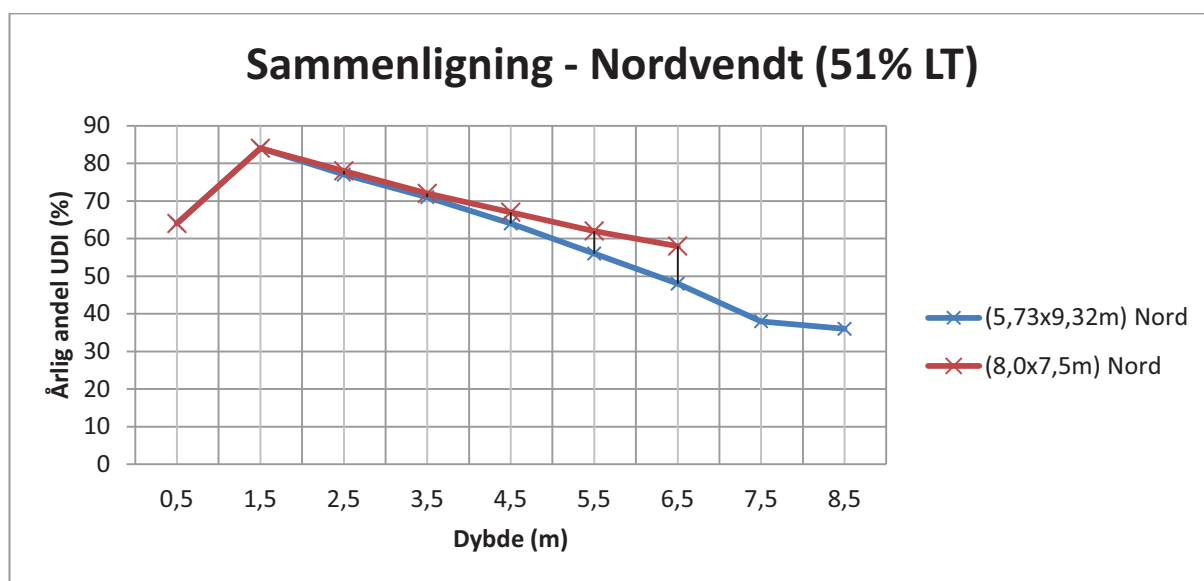
Figur 4.2.20 Sentrale inndata for simulering av alternativ bygning (2)

| Dokumentasjon av sentrale inndata (3)                      |       |               |
|--|-------|---------------|
| Beskrivelse  | Verdi | Dokumentasjon |
| Driftstid kjøling (timer)                                  | 24,0  |               |
| Driftstid ventilasjon (timer)                              | 10,0  |               |
| Driftstid belysning (timer)                                | 10,0  |               |
| Driftstid utstyr (timer)                                   | 10,0  |               |
| Oppholdstid personer (timer)                               | 10,0  |               |
| Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]    | 10,00 |               |
| Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]  | 10,00 |               |
| Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]       | 6,00  |               |
| Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]     | 6,00  |               |
| Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]   | 1,90  |               |
| Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]  | 0,00  |               |
| Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ] | 12,00 |               |
| Total solfaktor for vindu og solskjerming:                 | 0,14  |               |
| Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:                        | 0,13  |               |
| Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:             | 0,83  |               |

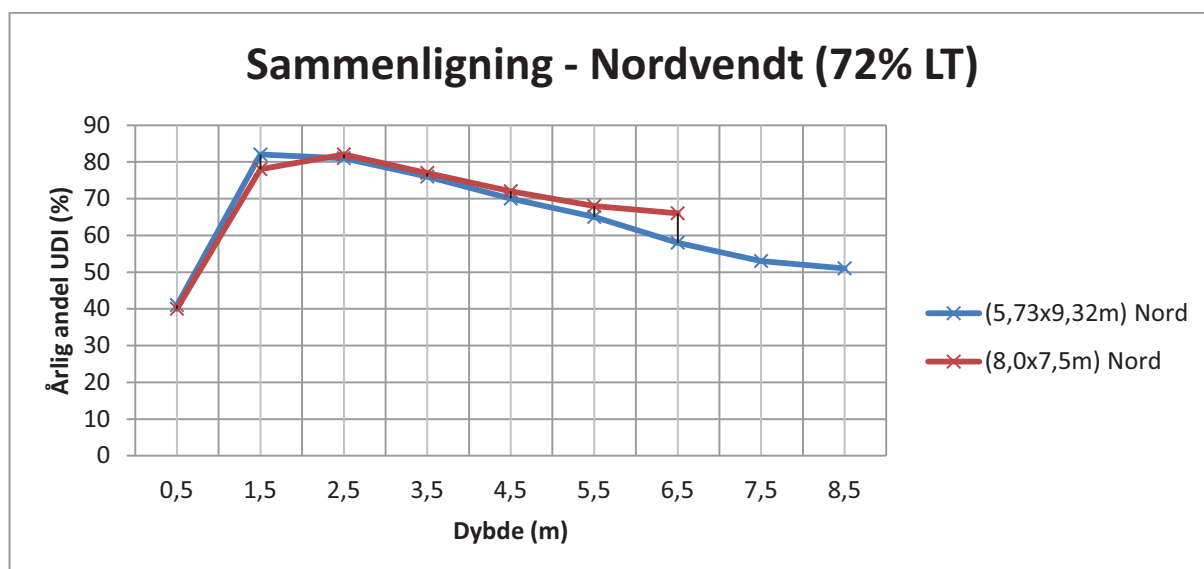
Figur 4.2.19 Sentrale inndata for simulering av alternativ bygning (3)

### 4.3 Sammenligning av romstørrelser for fire himmelretninger og to lystransmisjoner

Ved sammenligning av prosentandeler for de to ulike rom ses nokså like resultater i rommenes ytterste del for samtlige tilfeller. Lengre inn i rommene faller verdiene for referanserom generelt noe raskere enn for alternativt rom. Forskjellene varierer mellom tilfellene. Grunnet referanserommets større dybde fortsetter verdier for referanserom å falle etter at siste målepunkt for alternativ løsning er nådd. Figurer 4.3.1 og 4.3.2 illustrerer forskjellene mellom de to løsningene for nordvendte rom.

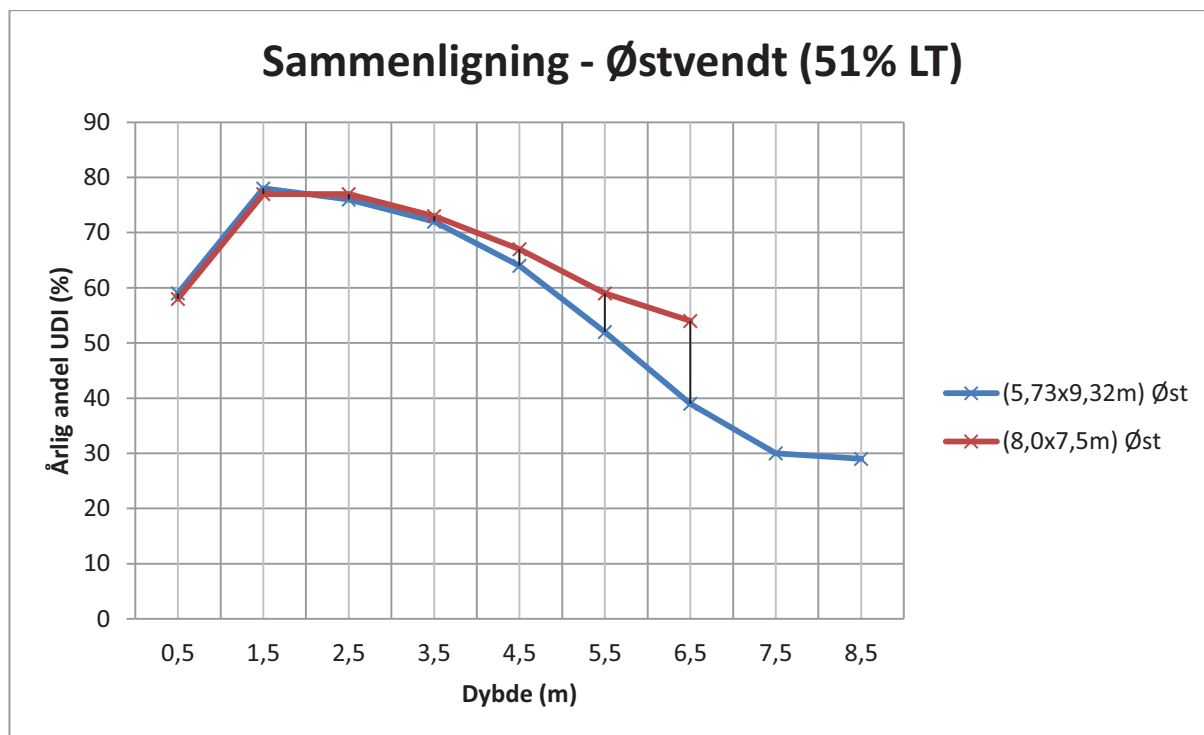


Figur 4.3.1 Sammenligning av prosentandeler UDI for utvalgte punkter i de to undersøkte rom med nordlig himmelretning og 51 % LT



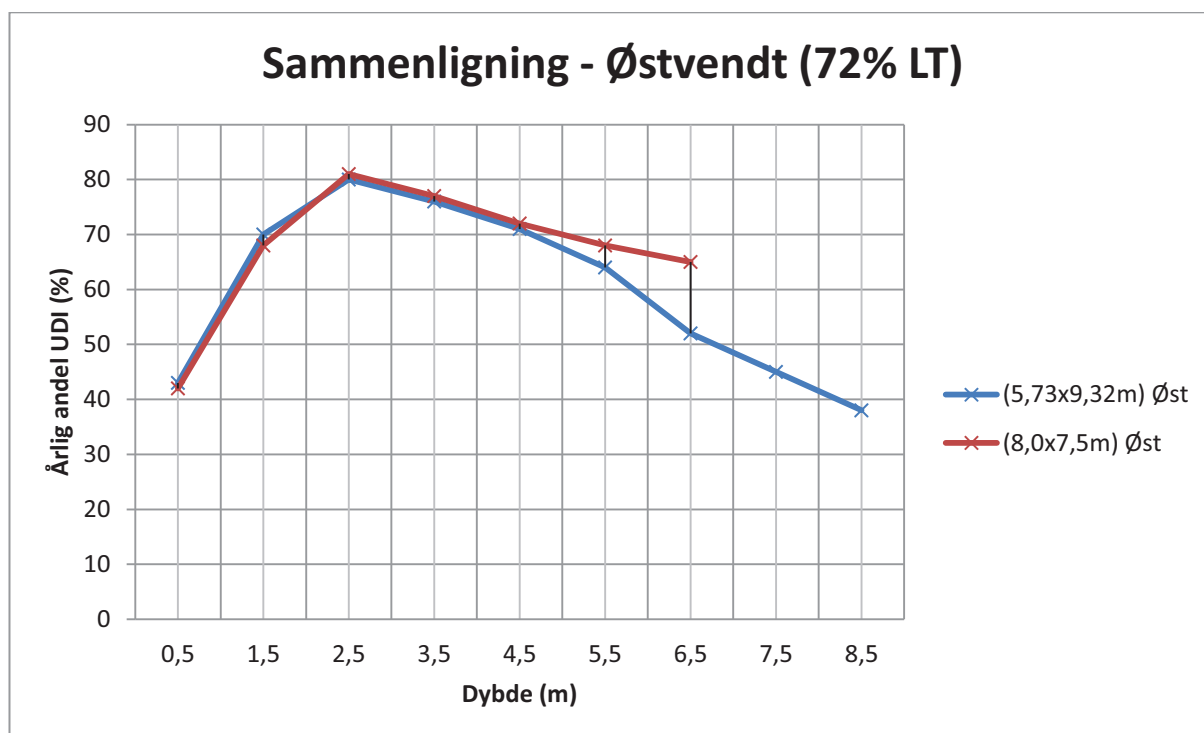
Figur 4.3.2 Sammenligning av årlige prosentandeler UDI for de to undersøkte rom med nordlig himmelretning og 72 % LT



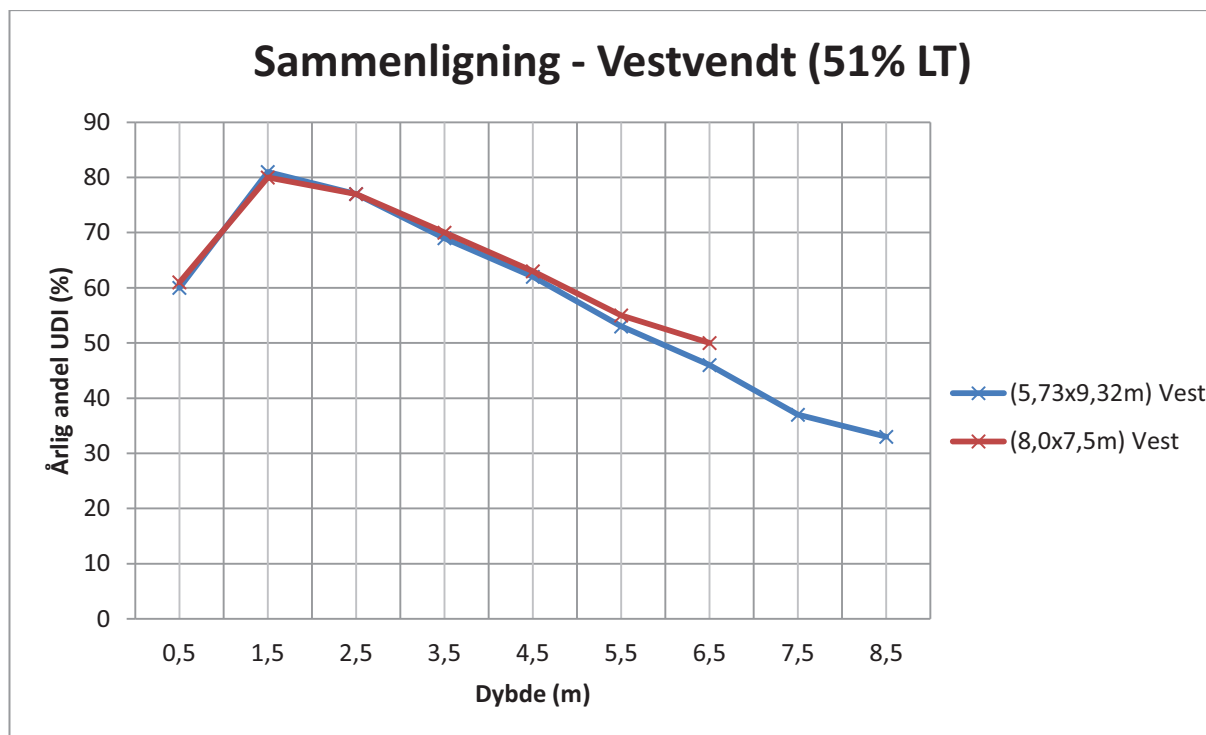


Figur 4.3.3 Sammenligning av de to undersøkte rom med østlig himmelretning og 51 % LT

Figurer 4.3.1 og 4.3.2 illustrerer forskjellene mellom de to løsningene for østvendte rom. Forskjellene er her større i dybden enn nordvendte rom. Grunnet referanserommets større dybde fortsetter verdier for referanserom å falle etter at siste målepunkt for alternativ løsning er nådd.

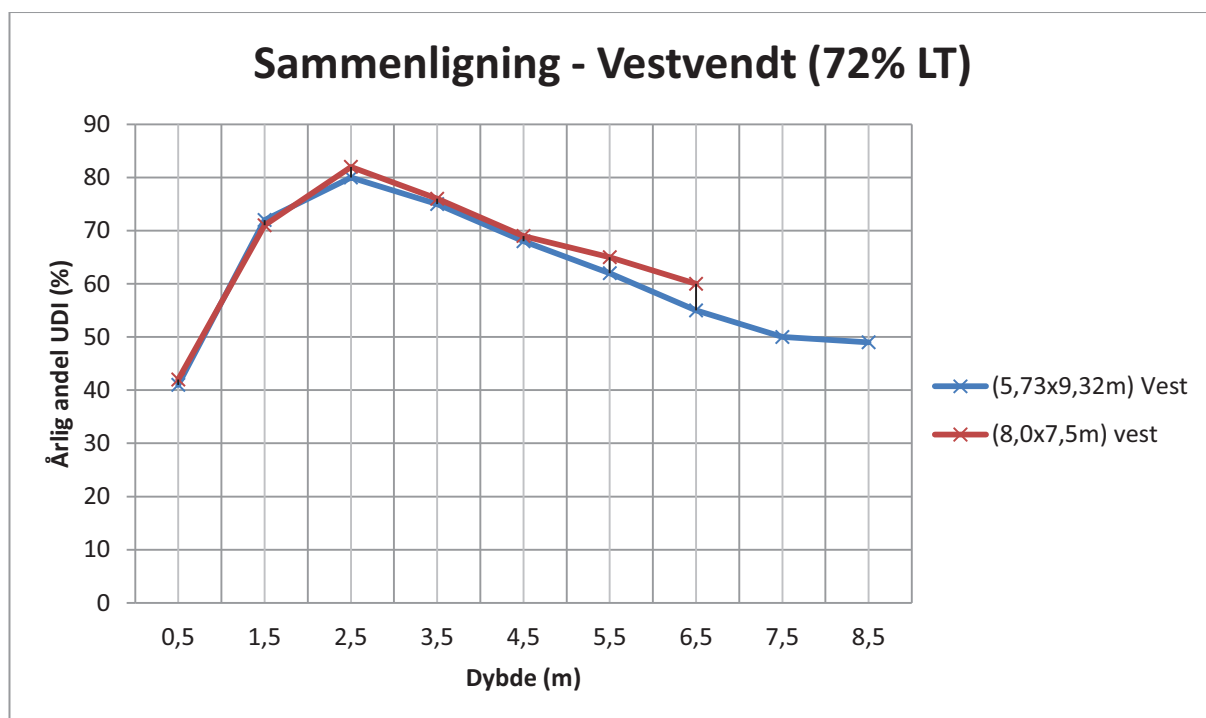


Figur 4.3.4 Sammenligning av de to undersøkte rom med østlig himmelretning og 72 % LT

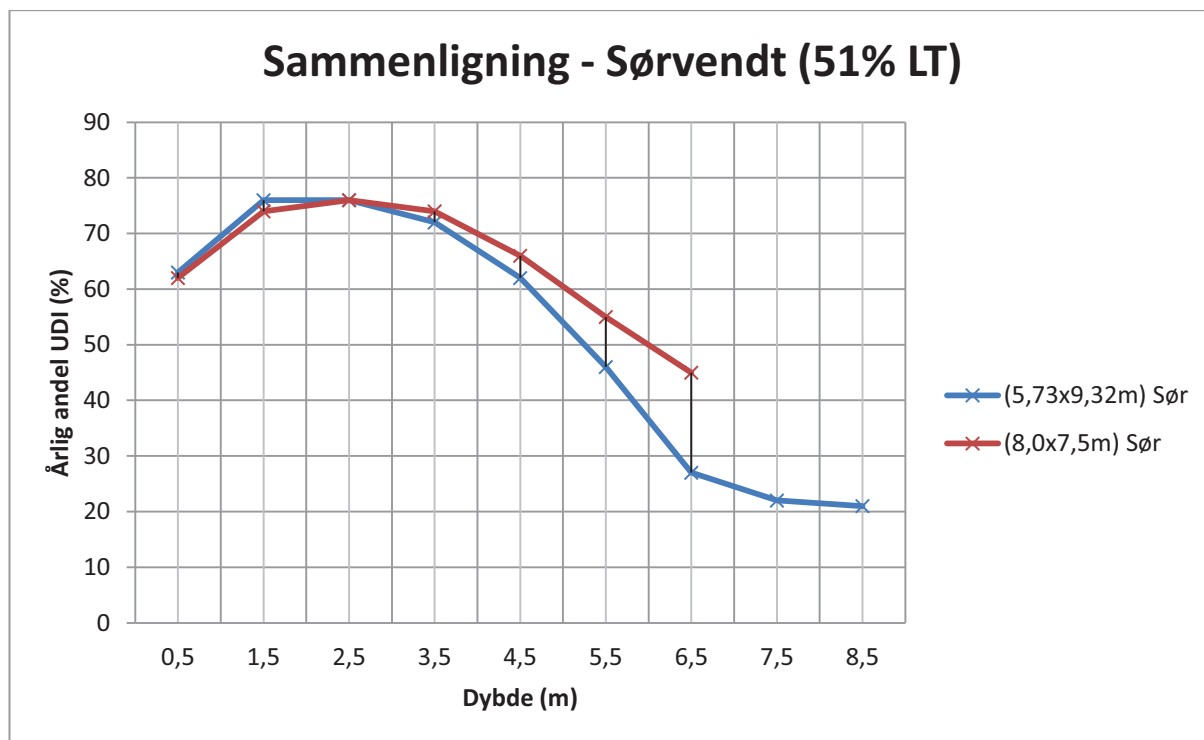


Figur 4.3.5 Sammenligning av de to undersøkte rom med vestlig himmelretning og 51 % LT

Figurer 4.3.5 og 4.3.6 illustrerer forskjellene mellom de to løsningene for vestvendte rom. Ytterst i rommet er verdier svært like for begge løsningene. Verdier for begge løsningene faller raskt i dybden og forskjellene er her mindre i dybden enn for østlig orientering.

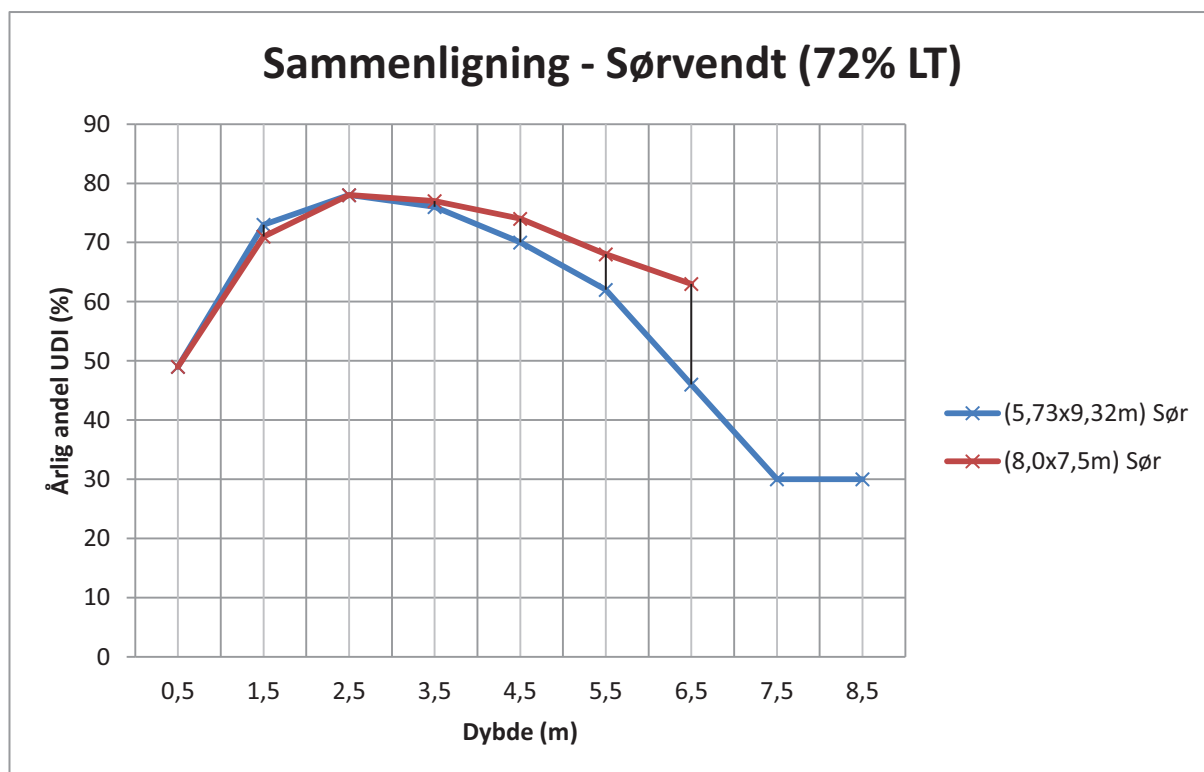


Figur 4.3.6 Sammenligning av de to undersøkte rom med vestlig himmelretning og 72 % LT



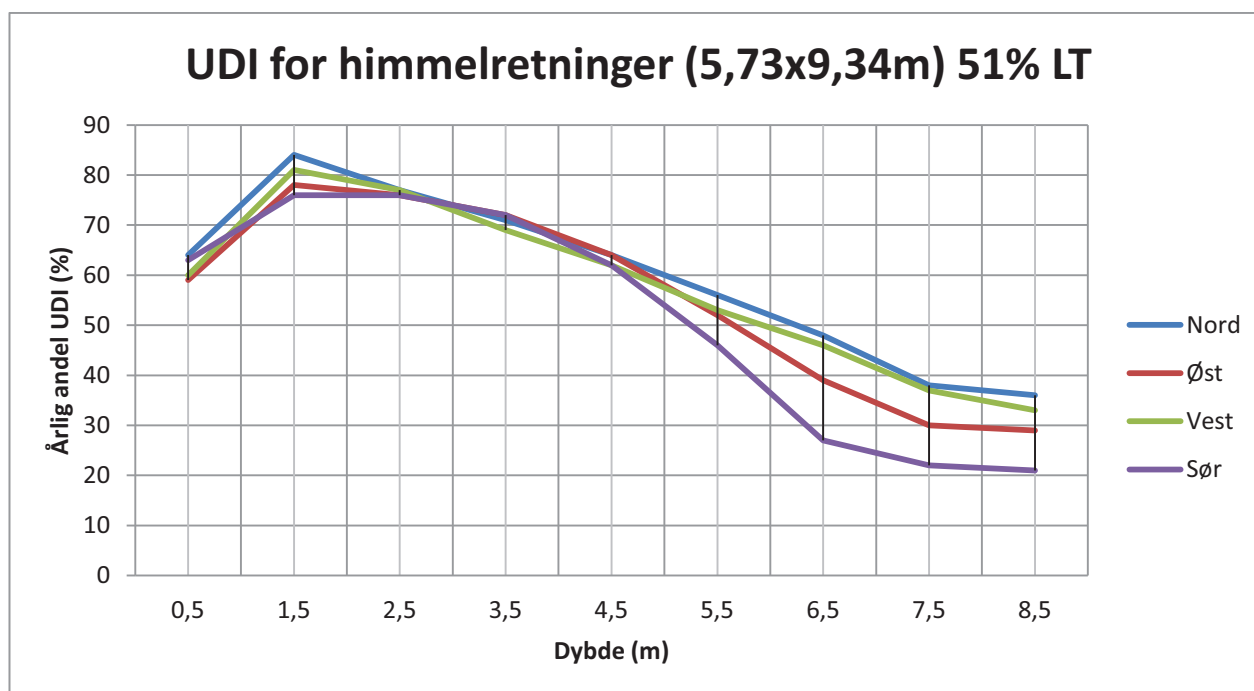
Figur 4.3.7 Sammenligning av de to undersøkte rom med sørlig himmelretning og 51 % LT

Figurer 4.3.7 og 4.3.8 illustrerer forskjellene mellom de to løsningene for vestvendte rom. Ytterst i rommene er verdier nokså like. Verdier for referanserom faller her raskere i dybden enn for alternativ løsning.



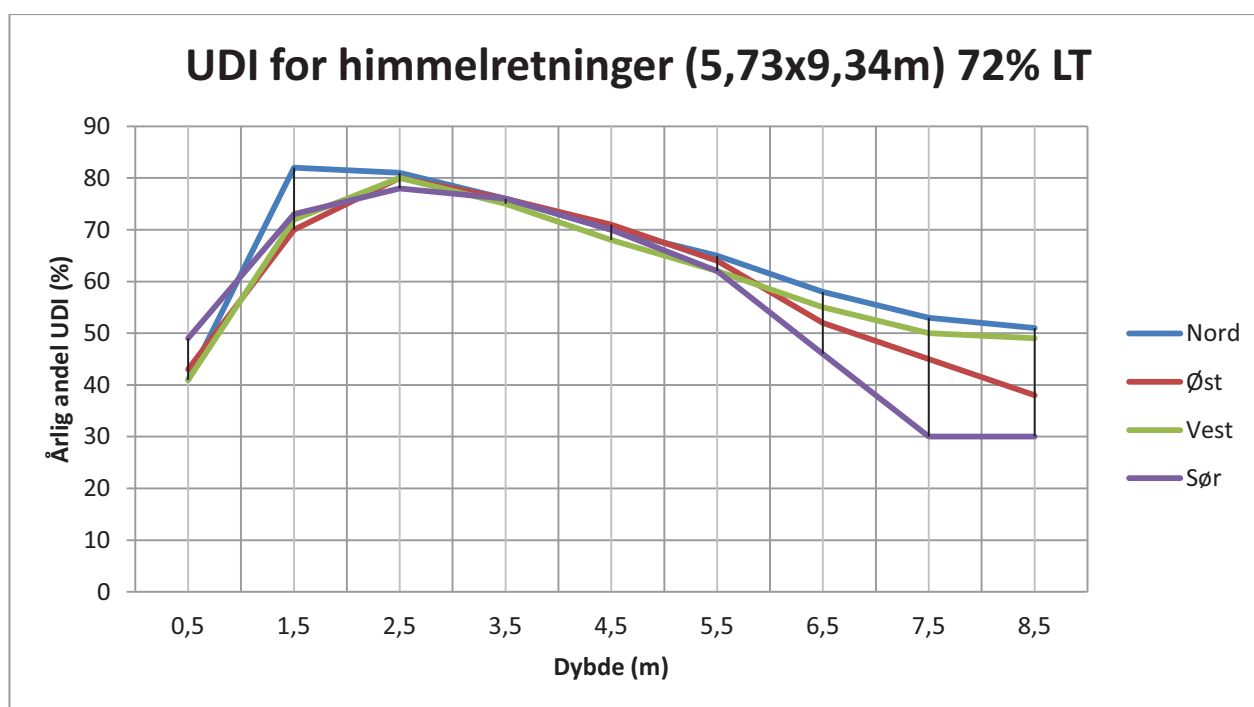
Figur 4.3.8 viser en sammenligning av de to undersøkte rom med sørlig himmelretning og 72 % LT

#### 4.4 Sammenligning av resultater avhengig av himmelretning

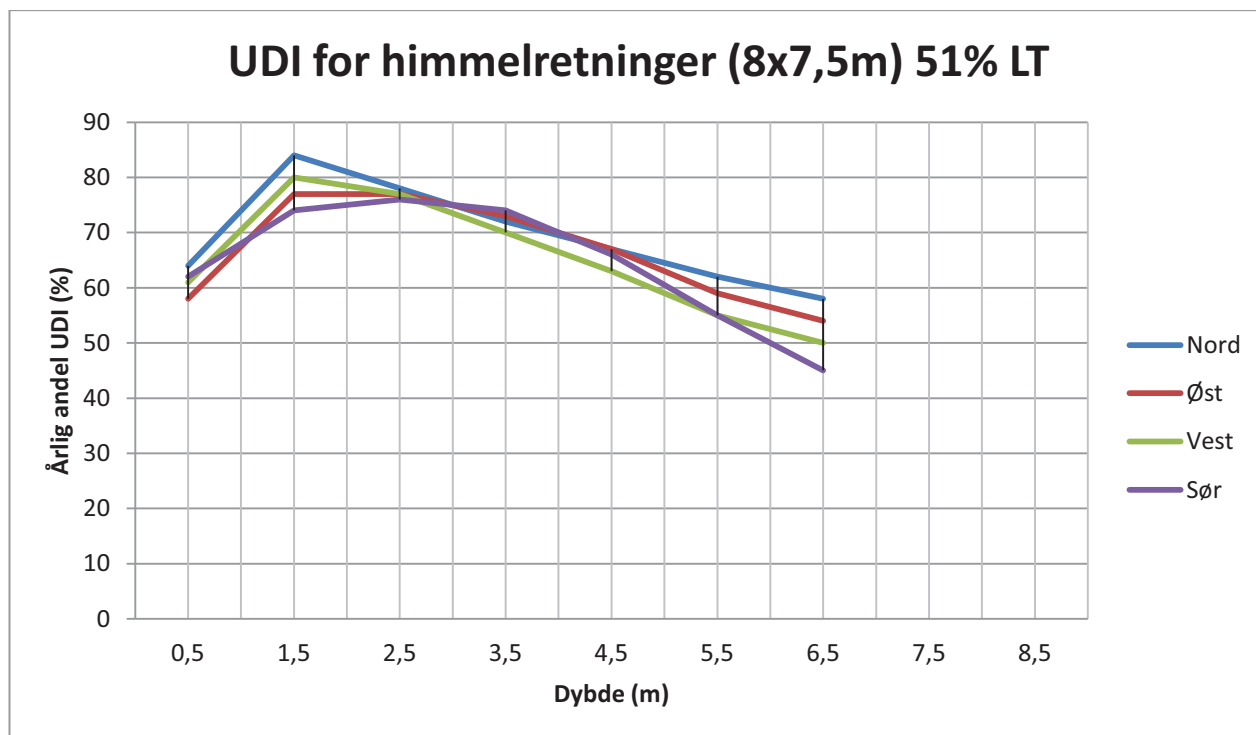


Figur 4.4.1 Sammenligning av ulike himmelretninger for referanserom med 51 % LT

Ved sammenligning av himmelretninger for referanserom ses det at innerste punkter oppnår laveste verdier for sørlig retning, deretter østlig, vestlig, og tilslutt høyest for nordlig retning. Dette virker gjeldende for både 51 % og 72 % lystransmisjon i vinduene. Sørlig himmelretning er helt nede i 21 %. Figur 4.4.1 og 4.4.2 viser sammenligningene.

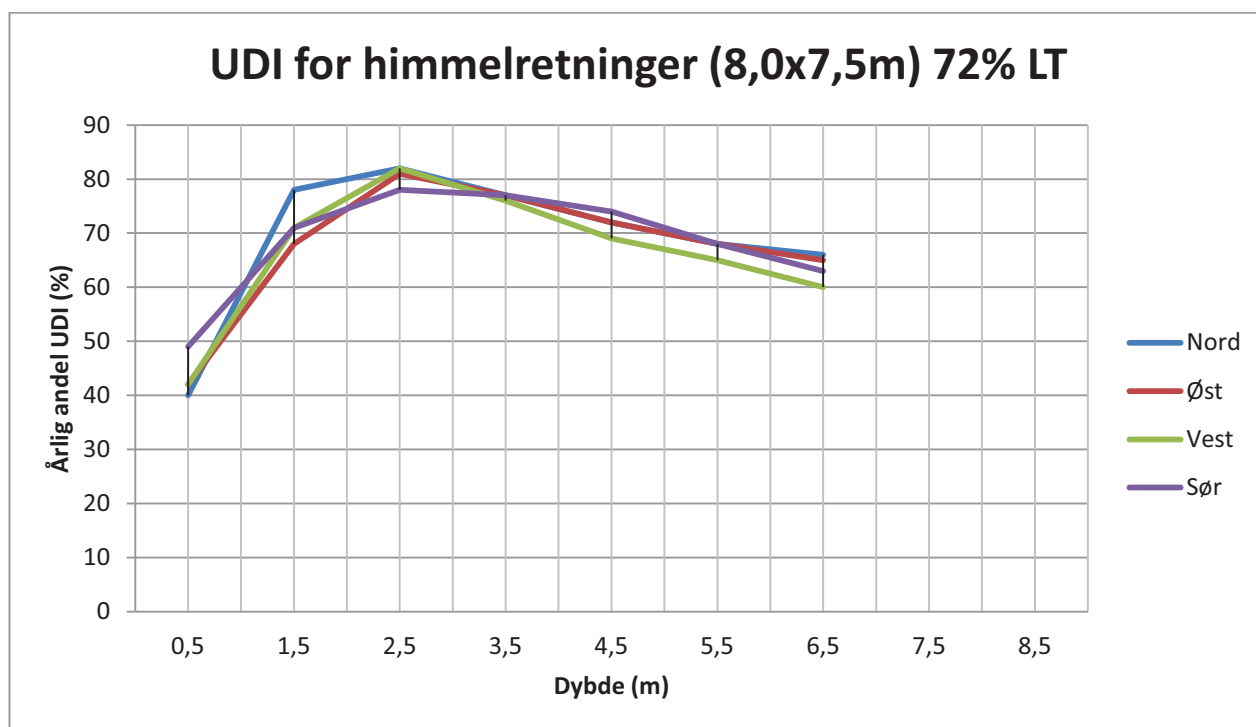


Figur 4.4.2 Sammenligning av de ulike himmelretninger for referanserom med 72 % LT



Figur 4.4.3 Sammenligning av himmelretninger for alternativt rom med 51 % LT

For alternativt rom med 51 % lystransmisjon ses det at innerste punkter oppnår laveste verdier med sørlig retning, deretter vestlig, østlig, og tilslutt høyest for nordlig retning. Med 72 % lystransmisjon er forskjellene ikke like store og vestlig himmelretning oppnår lavest verdi. Figur 4.4.3 og 4.4.4 viser sammenligningene.



Figur 4.4.4 Sammenligning av himmelretninger for alternativt rom med 72 % LT

## 4.5 Oppsummerende sammenligning av utvalgte arealmessige endringer, energibehov og oppnådde energimerke

### Endring i fasadelengde per klasserom (for elevbaser)

Tabell 11 Fasadelengde for klasseromstypene undersøkt

| Klasserom  | Fasadelengde (m) |
|------------|------------------|
| Referanse  | 5,73             |
| Alternativ | 8,0              |

Tabell 11 viser typisk fasadelengde per klasserom for referanserom og alternativ løsning. Dette tilsvarer en økning på 2,27 meter fasadelengde per klasserom. I tillegg har 7-8 av klasserom i baser mulighet for innslipp av lys fra to sider for alternativ løsning.

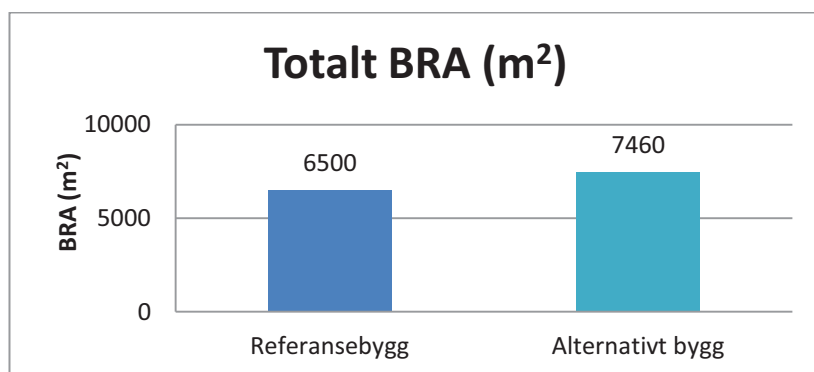
### Antall grupperom i baser uten tilgang på dagslys

Tabell 12 Antall grupperom knyttet til baser med tilgang på dagslys

| Utforming  | Antall grupperom i basearealer uten tilgang på dagslys |
|------------|--|
| Referanse  | 14   |
| Alternativ | 0  |

Tabell 12 viser at ingen grupperom tilknyttet elevbaser er tildelt fasade for referanseprosjekt. For alternativt løsningsforslag er tilsvarende tall 14 stykk. Dette tilsvarer en økning på 14 grupperom med tilgang på dagslys for alternativ løsning i forhold til referanseprosjekt.

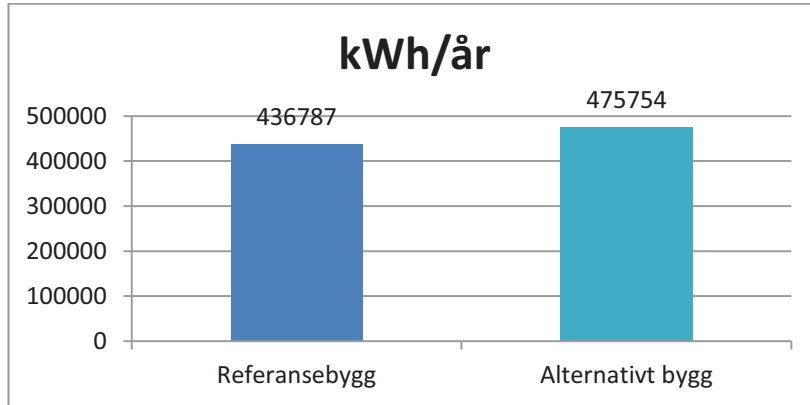
### Totalt BRA(m<sup>2</sup>)



Figur 4.5.1 Omtrentlig totalt areal (BRA) for referansebygg og alternativ løsning

I figur 4.5.1 ses det at totalt areal for referanseprosjekt er på anslagsvis 6500 kvadratmeter. Tilsvarende areal for alternativt bygg ble 7460 kvadratmeter. Dette gir en økning i totalt areal for alternativ løsning i forhold til referansebygg på cirka 14,8 %.

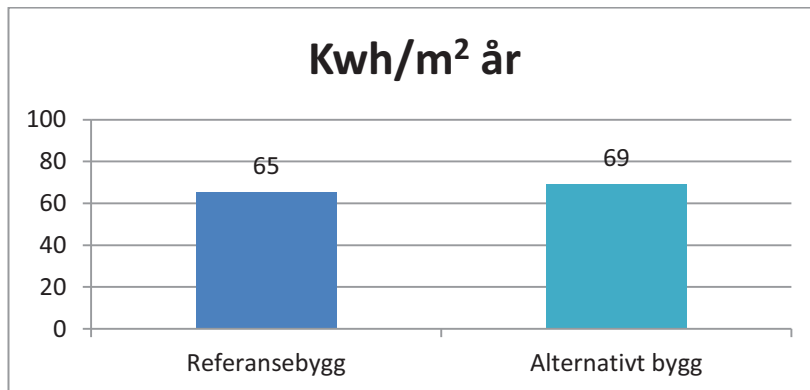
#### Forventet levert energi (kWh/år)



Figur 4.5.2 Sammenligning av forventet levert energi (kWh/år)

Figur 4.5.2 viser forventet levert energi for de to bygninger. Forventet levert energi til alternativt bygg økte totalt 38967 kWh/år i forhold til referansebygg. Dette tilvarer en økning på tilnærmet 8,9 %.

#### Forventet normalisert energibehov (kWh/m<sup>2</sup> år)



Figur 4.5.3 Sammenligning av forventet spesifikke energibehov (kWh/m<sup>2</sup> år)

I figur 4.5.3 ses det at forventet spesifikke energibehov økte med 4 kWh/m<sup>2</sup> år for alternativ løsning. Prosentvis økning på tilnærmet 6,2 %.

#### Oppnådde energimerker

For denne simulering har det vært mulig å oppnå samme energikarakter, A, som referanseprosjektet. Karakter knyttet til energikilder sank én karakter.



## 5. Diskusjon

### 5.1 Dagslys

Gjennom adressering av sentrale spørsmål søkes det i diskusjonen å forstå og analysere oppgavens resultater for så å kunne trekke en konklusjon.

#### Har dagslyset en effekt på mennesket?

Undersøkelsen utført av Heschong (et al 2002) viser en tendens til at det er en viktig dagslyseffekt knyttet til økte vindus- og takvindusarealer i bygninger. (Heschong et al. 2002) Den dokumenterte økningen i elevenes progresjon kan tyde på at dagslys i klasserommet har en positiv effekt på elevene og at gode forhold derfor bør tilstrebes.

#### Generelle fellestrekk mellom grafer?

Aller først må det adresseres at eksakte verdier for punkter mellom utvalgte verdier er ukjent. Ved fremstilling av resultatene er det tegnet en ikke-lineær trendlinje. Dette ble gjort for å gi et anslått bilde på utviklingen i rommenes dybde basert på de kjente verdier. Ved bruk av et større antall punkter kunne antageligvis en trendkurve vært anslått med enda større nøyaktighet. Med dette tatt i betraktning antyder denne fremstillingen visse fellestrekk for samtlige av de undersøkte tilfeller. Fra det ytterste punkt øker prosentandelen oppnådde verdier for Useful Daylight Illuminance noe innover i rommet før verdiene igjen faller jo dypere inn i rommet målepunktene ligger.

Denne kurveform kan ut i fra teori om dagslys av Moore (1991) ha flere forklaringer. Målepunkt nærmest vindu vil kunne utsettes for større eksponering for direkte himmellys og direkte sollys fra de ulike segmentene himmelen er delt opp i for simulering. Dermed kan punkter nærmest vinduet oppnå belyningsnivåer som er så store at de overstiger øvre grense for Useful Daylight Illuminance satt til 2000 lux i henhold til Nabil og Mardaljevic (2005). Således vil en økning i eksponering for lysverdier som overgår intervallets øvre grense føre til en reduksjon av verdier innenfor intervallet. Videre innover i rommet øker avstanden fra lyskilden og belyningsstyrken vil i samsvar med teori (Moore 1991) avta med avstanden fra kilden. I dybden vil da belyningsstyrken avta og punkter eksponeres for mindre deler av de utvendige himmelsegmenter.

I de komplette tabeller for simuleringer kan det ses prosentandel av året hvor verdier over øvre grense og under nedre grense ble oppnådd for de ulike punkter. De aktuelle verdier er i de komplette tabeller presentert som; *UDI<100 (active)*, *100<UDI<2000 (active)*, samt *UDI>2000 (active)*. Betegnelsen "active" vil si at brukerne av rommet betraktes som aktive og vil operere skyggeanordning ved direkte sollys på arbeidsflate. Eksempelvis betraktes nordvendt alternativ utforming med 72 % lystransmisjon. I ytterste punkt er det målt verdier over 2000 lux for 49 % av året. Verdier lavere enn 100 lux ble simulert for 11 % av året. Følgelig ble verdier innenfor disse grenser simulert for 40 % av tiden. Slik er det mulig å identifisere om det er segmentet under eller over det ønskelige intervallet som hovedsakelig inneholder de resterende målinger for året.

Samtlige simuleringer i denne rapport ser ut til å ha noen fellestrekk her. Verdier utenfor Useful Daylight Illuminance ligger i stor grad over øvre grense for punkter nærmest vindu. Lengre inn i klasserommens dybde havner det meste av verdier utenfor i segmentet under nedre grenseverdi. Dette er i tråd med, og taler for, de tidligere omtalte teoretiske forklaringer på kurvenes form.

### Vesentlige forskjeller i resultater for geometriløsninger?

Ved sammenligning av de to dimensjonsalternativene viser resultatene at verdiene er nokså like for begge geometrier i ytre del av rommene. Verdiene stiger fra det ytterste punkt til det nest ytterste, for så å falle gradvis innover i rommens dybde. For samtlige kombinasjoner av lystransmisjon og himmelretning ses det at verdier for referanserom avtar noe mer i dybden enn tilfellet for alternativ løsning. Det er dog viktig å trekke inn det faktum at vindusareal for alternativt klasserom ble økt noe for å oppnå en tilnærmet lik gjennomsnittlig dagslysfaktor som for referanseklasserom. Sett i lys av gjennomsnittlig dagslysfaktor stiller de to løsninger således likt. Økningen i glassareal kan forklares ved at hele klasserommets areal tas i betraktning for en gjennomsnittlig dagslysfaktor. Totalt areal for de to løsninger er på tilnærmet 53,5m<sup>2</sup> for referanse og 60m<sup>2</sup> for alternativ. Det vil si en økning på 6,5m<sup>2</sup> som lyset skal fordeles på. Økning i glassareal vil kunne føre til at rommets indre eksponeres for en større del av de utvendige himmelsegmenter og solposisjoner. En større andel lys vil således kunne slippes inn i det alternative rom slik som forklart av Moore (1991). Den økte lysmengden som kan slippes inn i rommet kan således være en årsak til at de simulerte verdiene innover i alternativt rom ikke avtar like raskt som for referanseklasserom.

Allikevel ses det at den største styrken til det alternative rom ligger i den reduserte dybde. For referanseklasserommet med en dybde av 9,34 meter fortsetter verdiene å synke innover i rommet når det alternative rom allerede er avsluttet. Den laveste simulerte verdi blant de utvalgte punkter ligger helt nede i 21 % i en dybde av 8,5 meter. Denne simulerte verdi gjelder sørvendt referanseklasserom med en lystransmisjon på 51 %. I tillegg er det enda tilnærmet 0,84 meter igjen til rommets bakre vegg. Det er ikke simulert noen verdier for punkter dypere enn 8,5 meter, men det kan allikevel foretas noen antagelser basert på teori og de forenklete trendlinjer. Det ses ut i fra grafer at prosentandel verdier innenfor det ønskelige intervall faller gradvis etter hvert som avstanden fra lyskilden øker. Dette er i samsvar med teori om hvordan belysningsstyrke avtar med avstanden fra kilden (Moore 1991). Således anses det som trygt å anta at punkter dypere enn 8,5 meter vil kunne ha en lavere verdi enn for punkt ved 8,5 meter. Samtidig kan det og tenkes at refleksjonsbidraget fra bakre vegg, som vil avta med avstanden fra bakveggen (Moore 1991), vil kunne føre til at verdien ikke faller i like stor grad som mellom de utenforliggende punkter.

### **Hvor store arealer oppnår årlige prosentandeler Useful Daylight Illuminance på under 50 %?**

I tråd med beskrivelser av New Building Institute (NBI) på deres nettbaserte *Daylight Pattern Guide* er det for utvalgte situasjoner anslått dybden der prosentandel Useful Daylight Illuminance oppnås for mindre enn 50 % av året. En slik grenseverdi er vurdert å være en passende indikator for når forholdene anses som for dårlige. Det anses som rimelig å forvente at et godt design i det minste sørger for gode forhold for mer enn halvparten av tiden. Referanseklasserom med 51 % lystransmisjon er vurdert å være det tilfellet som i størst grad kan sammenlignes med realiteten. For denne løsning oppnår de tre innerste målepunkter for både nord-, øst-, og vestvendt rom Useful Daylight Illuminance under 50 % av tiden undersøkt. Avhengig av himmelretning anslås det at hele 32- 43 % av rommetsareal kan oppnå Useful Daylight Illuminance for under halvparten av de årlige undersøkte timer. Dette skyldes i all hovedsak forekomst av verdier lavere enn 100 lux. Oppgavens anslåtte arealer vurderes å være på den sikre side da en forenklet linje er trukket i den dybde prosentandelen faller til under 50 % tilnærmet midt i rommet. I den samme dybde ser verdier nærmere sidevegger generelt ut til å være noe lavere enn nærmere midten av rommet.

Til sammenligning er det for alternativ løsning kun tilfellet med sørvendt vindu og 51 % lystransmisjon som viser verdier under 50 % av tiden innerst i rommet. Dette tilfellet oppnådde Useful Daylight Illuminance for 45 % av tiden i rommets innerste målepunkt på 6,5 meter. Her er ikke lave verdier nær vindu medtatt da dette i all hovedsak ser ut til å skyldes verdier over øvre grense for Useful Daylight Illuminance.

Det er viktig å merke seg at innerste målepunkt for alternativt klasserom befinner seg 1,0 meter fra rommets bakre vegg. Dette var grunnet hvordan programtillegget Su2ds plasserte rutenettet for målepunkter i modellen.

Det kan allikevel, ut i fra trendlinjer og teori, også her antas at prosentandel Useful Daylight Illuminance vil synke noe fra 6,5 meter til 7,5 meter inn i det alternative rommet. Således kan det for noen av tilfellene, særs vestvendt rom med 51 % lystransmisjon, tenkes at prosentandeler Useful Daylight Illuminance innen den bakerste meter i rommet vil ligge under 50 % også for alternativ løsning.

### **Himmelretning og skyggeinnretning av betydning?**

Målemetoden Useful Daylight Illuminance gjør det mulig å se forskjeller i det samme rom avhengig av fasadens himmelretning. Ut i fra figurene 4.4.1 og 4.4.2 ser man eksempelvis hvordan forskjellen innerst i referanserommet kan variere kraftig fra nordvendt til sørvendt himmelretning. Solens bane over himmelen varierer i løpet av året. Den går opp i øst og ned i vest, med en lavere bane i sørlig retning jo nærmere midten av vinteren. Således vil et rom med sørlige orienteringer kunne utsettes for større mengder direkte sollys enn mer nordlig orienterte. Dette fører til at skyggeinnretning vil senkes oftere for de førstnevnte orienteringer. Dermed blokkeres en større andel av det innfallende lys fra rommets indre, og den totale lysmengden som entrer rommet senkes. Belysningsstyrken, som allerede ytterst i rommet er redusert, vil så avta i rommets dybde slik som forklart av Moore (1991). Dette kan forklare hvorfor prosentandel Useful Daylight Illuminance innerst i de to rom er høyest for nordlig orientering og lavest for sørlig retning for alle unntatt én situasjon. Med 51 % lystransmisjon oppnår sørlig orientert referanserom Useful Daylight Illuminance for så lite som 21 % av året. Dette er i tillegg tilnærmet midt i rommet og det er enda 0,84 meter til bakre vegg. Lavest verdi ved innerste punkt for det alternative rom med 72 % lystransmisjon inntreffer for vestlig orientering.

Det er viktig å være klar over at dersom innstillinger for styring av skyggeløsning ved simulering hadde vært mer detaljert og optimalisert kunne resultatene sett annerledes ut. Det er sannsynlig at styringssystem som benyttes i virkeligheten er av en mer optimalisert type enn de innstillinger benyttet i denne oppgavens simuleringer.

### Utlatte sensorpunkter grunnet usikre verdier

Med avstanden på én meter mellom punktene i rutenettet av sensorpunkter ville innerste rekke i alternativt rom ligget akkurat i veggplanet for bakvegg (7,5 meter). Det ble for et par himmelretninger inkludert en rekke sensorpunkter i denne dybde. Her ble det observert et interessant tilfelle der verdier for innerste sensorpunkt var høyere enn for det nest innerste punkt. Eksempelvis viser fullstendig tabell med simuleringsverdier for nordvendt alternativt rom (72 % LT) at årlig prosentandel Useful Daylight Illuminance øker fra 66 % (ved 6,5 meter) til 69 % (ved 7,5 meter). En slik økning den siste meteren innover i rommet virker noe urealistisk, og det kan derfor stilles spørsmål ved validiteten til akkurat disse målepunktene for disse simuleringene. Dersom denne verdien skulle tas med i betraktning bør det medberegnes at refleksjonsbidraget fra veggen som er *umiddelbart* på innsiden av målepunktet kan være av en urealistisk størrelse.

### Hvordan er forskjellene for ulik lystransmisjon i glasset?

Det synes å være gjeldende for samtlige tilfeller at vinduer med 51 % lystransmisjon fører til en økning i prosentandeler Useful Daylight Illuminance umiddelbart innenfor vinduet. Samtidig viser resultatene at målte prosentandeler Useful Daylight Illuminance videre innover i rommets dybde er lavere enn ved tilsvarende situasjoner med 72 % lystransmisjon. Teorien forklarer at når lystransmisjonen synker slipper vinduet gjennom mindre lys (Moore 1991). Således kan det antas at en reduksjon i lystransmisjon kan føre til at mindre lysmengder med en styrke over 2000 lux slippes inn i rommet. Følgelig vil en større prosentandel verdier havne innenfor intervallet 100-2000 lux i umiddelbar nærhet til lyskilden. Når den totale mengden lys som slippes inn senkes, og deretter avtar med avstanden fra kilden, vil resultatene innerst i rommet bli ytterlig lavere. Dette er i tråd med teori beskrevet av Moore (1991).

Resultatene for referanseutformingen viser at en lystransmisjon på 51 % kan senke den årlige prosentandelen Useful Daylight Illuminance ved dybde 8,5 meter med 9 – 16 %

(avhengig av himmelretning) i forhold til vinduer med 72 % lystransmisjon. For alternativ utforming i dybde 6,5 meter er tilsvarende reduksjon på 8 – 18 % avhengig av himmelretningen. Samtidig sørger den lavere lystransmisjonen for forbedrede forhold nærmere vinduene.

### **Refleksjonsbidrag**

I virkeligheten kan også overflater på eksempelvis rommets bakre vegg bestå av mørkere farger eller glassarealer. I denne oppgavens simuleringer ble bakre vegg modellert som en heldekkende hvit vegg. Eventuelle mørke overflater for dør eller gjennomsiktige glassflater ble ikke tatt med i betraktning. Slike arealer vil i tråd med teori om dagslys og refleksjonsbidrag fra overflater (jfr. Moore 1991) kunne føre til at belygningsnivåene blir noe lavere i rommets dybde. Dette er fordi en mørkere flate vil kunne reflektere en mindre andel av det innfallende lys og et vindusareal vil kunne slippe lyset gjennom.

### **Organisering og møblering av rommet**

Organiseringen av møblering og sittestilling er ikke tatt hensyn til i denne oppgavens simuleringer. I realiteten vil møblering kunne orienteres slik at elevene sitter med ryggen vendt mot lyskilden (vinduet). Dette vil da medføre at brukere selv skygger noe for det innfallende lys på deres arbeidsplass. I tråd med presentert teori om hvordan dagslyset sprer seg vil arbeidsplassen eksponeres for en mindre del av lyskilden, og belygningsstyrken på arbeidsplassen vil kunne reduseres ytterligere.

### **Betraktninger rundt elektrisk belysning**

Elektrisk belysning har ikke vært gjenstand for utdypende undersøkelse i denne oppgaven. Da elektrisk belysning benyttes for å oppnå tilfredsstillende lysnivåer i et rom er det klart at økning i belygningsbidrag fra naturlig lys vil kunne redusere behovet for supplerende elektrisk belysning. Slik har god utnyttelse av dagslyset potensial til å senke kostnader knyttet til elektrisk belysning. Det er grunn til å tro at forbruk av elektrisk belysning i klasserommene kan senkes noe ved den alternative utformingen. Eksakte verdier for dette er dog utenfor denne oppgavens omfang, og avhenger av det installerte systemet for elektrisk belysning.

### Test av lystransmisjon i vindu

Test av lystransmisjon i vindu viste et gjennomsnittlig forhold mellom utvendig og innvendig målte verdier på anslagsvis 0,37. Dette betyr at målt innvendig verdi på innsiden av glasset gjennomsnittlig var tilnærmet 37 % av utvendig verdi. Denne verdi er 14 % lavere enn laveste simulerte verdi for lystransmisjon i vindu. Testen viser at en kanskje må stille seg noe kritisk til oppgitte generelle transmisjonsverdier.

Det er dog viktig å stille seg noe kritisk til både metode og gjennomføring av denne undersøkelse da flere feilkilder kan ha påvirket resultatene i undersøkelsen.

Måleinstrument var av håndholdt type og posisjon ved målinger kan ha variert noe. Ved utvendig måling ble egen kropp forsøkt fjernet mest mulig for å minke en eventuell blokkering av lys. Posisjon av egen kropp ble holdt relativt lik for samtlige målinger. Allikevel kan det være at egen kropp har blokkert deler av det innfallende lys ved utvendige målinger. Bruk av ett måleinstrument førte og til at innvendig og utvendig målinger ikke ble utført samtidig. Korresponderende målinger er målt med tilnærmet tidsforskjell på 1-2 minutter der innvendig måling ble utført først og deretter utvendig måling. Målinger ble imidlertid utført med klar himmel, og resultatene viser en jevn økning i målte lysmengder i tidsrommet undersøkelsen ble utført. Undersøkt vindu ble ikke rengjort før test. Eventuelle partikler på vindu kan således ha påvirket transmisjonsverdiene.

### Styrker og svakheter for stedsspesifikke data og dynamisk simulering

Det er viktig å ha dette med stedsspesifikke faktorer i tankene når man ser på resultatene. Det kan således ikke anses som en helt generell dagslysanalyse av et rom da resultatene for de undersøkte rom er avhengige av de stedsbestemte klimatiske data. Dette kan ses på som både en fordel og en ulempe. Fordelen er at en slik dynamisk simulering av årlige belyningsforhold på en segmentert himmel kan ses på som mer realistisk enn eksempelvis bruk av dagslysfaktoren. Som nevnt tidligere i oppgaven stiller de to utformingene tilnærmet likt med hensyn til gjennomsnittlig dagslysfaktor. Resultatene ved en slik dynamisk simulering viser at resultatene over tid kan variere avhengig av både himmelretning, lystransmisjon og styring av eventuelle skyggeløsninger.



I virkeligheten har et år både dager med blå himmel og strålende sol, delvis overskyete dager, og dager med tett skydekke og mye nedbør. Forskjellene i klima som kan oppstå over større avstander, som for eksempel Lindesnes og Nordkapp. Nord i Norge har man i tillegg sol døgnet rundt på visse tider av året og mørketider en annen del.

Slik kan det være at et rom som oppfyller kravet om 2 % gjennomsnittlig dagslysfaktor i realiteten kan ha svært forskjellige dagslysfaktor gjennom året avhengig av om det eksempelvis ligger i Oslo eller Tromsø.

Det kan derfor være nødvendig å se på dagens minstekrav med et noe kritisk blikk. Er det tilstrekkelig kun å sette minimumskravene til en gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2 %? Uavhengig av både årlige variasjoner og himmelretning? Som vist i denne oppgaven kan det være betydelige variasjoner avhengig av slike faktorer.

Avslutningsvis kan den nedre grense for Useful Daylight Illuminance på 100 lux mulig vurderes å være en noe lav nedre grense. Dersom grensen økes til eksempelvis 300 lux, slik som elev- og lærlingombudet i Oslo opplyser at belysningsstyrken på pulten bør være, vil dybden der denne verdi oppnås under halvparten av tiden kunne være annerledes. For evaluering av klasserom er det mulig at et slikt intervall vil være en ytterligere passende analysemetode. En nedre grense som 300 lux vil i enda større grad kunne bestemme hvilke deler av et rom hvor dagslyset kan belyse arbeidsplassen i tilstrekkelig grad helt alene. Beholdes den øvre grense på 2000 lux vil også områder potensielt utsatt for ukomfortable forhold kunne identifiseres.

### **Mulige feilkilder og avvik fra virkeligheten**

Det kan stilles spørsmål ved nøyaktigheten til de testede modeller i forhold til virkeligheten som er forsøkt å gjenskape. De valgte verdier for refleksjonsfaktorer kan avvike noe fra virkeligheten. I tillegg er vindusdimensjoner basert på målinger gjort for hånd av undertegnede. Samtidig er geometri og detaljnivået i modeller bevisst beholdt relativt enkelt. Som illustrert ved gjennomføring av egen transmisjonstest av et utvalgt vindu kan de valgte lystransmisjonsverdiene for simuleringer være både lavere eller høyere enn de varierende virkelige vinduer. Samtidig kan det også i egen transmisjonstest ha forekommet feilkilder som skitne vinduer, tidsrommet mellom utvendig og innvendig korresponderende målinger, eller feil avlesing eller gjennomføring av undertegnede. Allikevel er det ved *sammenligning* av de to løsninger

opp mot hverandre beholdt tilsvarende verdier for de aller fleste korresponderende variabler.

## 5.2 Arealplaner

### Størrelser på klasserom

Endringer gjort ved alternativ løsning er i tillegg til det alternative klasserommet basert på eget studie av plantegninger og funksjonsprogram fra forprosjektrapport samt egne observasjoner ved referanseprosjekt. Klasserommene store dybde og relativt korte fasadelengde ble endret til et mindre dypt rom med en mer kvadratisk form.

Klasserommene tildelte areal på gjennomsnittlig ca. 54,2m<sup>2</sup> i baser ble økt til omtrentlig 60m<sup>2</sup> for de fleste klasserom i baser. En slik økning har både arealmessige fordeler og ulemper. Den arealmessige styrken anses av undertegnede å ligge i den økte plass per elev. Dette tilrettelegger for mer anvendelig bruk av arealene. Samtidig vil arealene gi skolen en større kapasitet i forbindelse med en eventuell fremtidig økning i antall elever ved skolen. Referanseprosjekt er i følge forprosjektrapport dimensjonert for 560 elever. Dermed må hvert klasserom dimensjoneres for gjennomsnittlig 26-27 elever (560 elever fordelt på 21 klasser). Ved befaring til referanseprosjekt ble det kun observert 18-23 elevplasser i noen observerte klasserom. Det kan da stilles spørsmål ved hvordan klasserommene ved referanseprosjekt vil takle en økning på ytterligere 4-9 elevplasser. Samtidig vil 27 elever på 54,2 m<sup>2</sup> tilsa to kvadratmeter per elev. Dette er tilsvarende det areal elevombudet i Oslo sier hver elev bør ha. Økningen i kvadratmeter for alternativ løsning vil kunne ha økonomiske konsekvenser for både byggekostnader så vel som driftskostnader. Videre kan det argumenteres for at en mer kvadratisk form på klasserommet i mindre grad gir mulighet for inndeling av rommet i to soner, slik som beskrevet av Brantenberg (1980). Samtidig er denne skolen basert på baseprinsippet, slik at andre arealer som fellesareal og grupperom kan benyttes dersom det er ønskelig å dele opp elever i grupper. Slik anses ikke den mer kvadratiske formen som noen betydelig ulempe på dette felt. Den mer kvadratiske form valgt var et resultat av vurdering knyttet til funksjonalitet samt ønsket om å beholde en kompakt form. At den alternative løsning har klasserom med et noe større areal per elev gir mulighet for en eventuell etterfølgende *reduksjon* i arealene dersom økonomiske perspektiver knyttet til energi eller byggekostnader spiller inn i et senere stadium av utformingsprosessen.

### Økning i tildelt fasade til funksjoner og kvadratmeter til fellesareal

Mangelen på dagslys i basenes grupperom ble også adressert i alternativ løsning. Her ble det totalt en økning på 14 grupperom med tilgang til dagslys. Økningen i både fasadelengde per klasserom samt tildelingen av fasade til samtlige grupperom i baser førte til en økning i antall fasademeter. Med denne økningen i funksjoner som tildeles fasade opplevdes det som en utfordring samtidig å tilstrebe en relativt kompakt form. Når omkretsen som omslutter et lukket areal økte så økte også det innvendige areal. De ulike funksjoner skal samtidig tildeles et tilstrekkelig areal og organiseres på en funksjonell måte. Dette førte til en relativt stor økning i kvadratmeter tildelt felles basearealer. Garderobenes relativt store opptak av fasadevegger ble også adressert i alternativ løsning. Gjennom å trekke disse arealer lenger inn i bygningskroppen ble fasadelengder som tidligere var gitt garderober i stedet tildelt klasserom og grupperom.

Samtidig kan argumentet om tapt plass til trafikk delvis forsvare den arealmessige økningen. Et funksjonsprogram oppgitte arealer utelater ofte arealer for trafikk. For fellesarealer har referanseprosjekt økt de tildelte arealer noe i forhold til det opprinnelige ønsket i funksjonsprogrammet. Allikevel kan det stilles spørsmål ved fellesarealenes anvendelighet med tanke på plasseringen midt i mellom skolens kjerne og basenes øvrige funksjoner. Det må da gis plass til persontrafikk på tvers av fellesarealet til og fra de ulike funksjoner. Skal en hver bruker av bygningen kunne komme frem må det avsettes tilstrekkelig plass til trafikk. Dette kan også få betydning for de mulige møbleringsløsninger. Det kan således argumenteres for at alternativets antall kvadratmeter gir et større areal til bruk enn referanseprosjekt. Ved befaring ble det observert møblering av fellesarealene med bruk av ett eller to bord med plass til 6-8 personer. Uten tilstrekkelig med avsatt plass for opphold i rommet er det mulig at området kan få mer av en ren tilknyttende trafikkfunksjon. I realiteten har man kanskje da avgitt benyttbare arealer fra undervisningsrommet og gjort dette til kommunikasjonsareal kategorisert som fellesareal.

Den komplette løsning av et funksjonsprogram med et slikt omfang vil alltid kunne ha sine fordeler og ulemper. Det kan være vanskelig å oppnå optimale forhold for alle aspekter, og det må således gjøres prioriteringer. Noe som har vært tilfellet for også denne oppgaven. Visse aspekter er blitt gitt en høyere prioritering enn andre for å kunne

komme frem til en løsning. Det er klart at utfallet kunne vært nokså annerledes dersom andre forhold ble prioritert i større grad.

### Lovverket og arealer

Et moment til ettertanke er lovgivningens definisjon av "rom for varig opphold" beskrevet i byggeteknisk forskrift med veiledning (TEK10). Den noe uklare definisjonen kan være en viktig årsak til at prosjekter kan velge å utelate eksempelvis grupperom og fellesarealer (til baser) fra denne kategorien. Således kan slike funksjoner plasseres sentralt i det kompakte bygget med lite eller ingen dagslyskilde til stede.

### 5.3 Energibehov

Den alternative bygningskropp medførte i denne undersøkelsen en økning på 38967 kWh/år. Dette tilsvarer en prosentvis økning på 8,9 %. Dividert på det totale areal kom resultatet for alternativ bygningskropp på 69 kWh/m<sup>2</sup>. Dette tilsvarer 6,2 % økning.

Resultatene viser at den alternative bygningskropp vil føre til et høyere energibehov enn referanseprosjekt. Samtidig viser resultatene at også den alternative løsning undersøkt vil kunne oppnå en energikarakter A, hvor øvre grense ligger på  $\leq 70 \text{ kWh/m}^2$ . Dersom oppnåelse av en slik karakter anses som et mål for prosjekter viser denne oppgaven at karakteren er oppnåelig også dersom hensyn til dagslys inkorporeres tidlig i utformingsprosessen.

Definisjonen på varmemengde som passerer gjennom en konstruksjon per tid er beskrevet i oppgavens teorikapittel i henhold til Edvardsen og Ramstad (2007). Varmen som således kan gå tapt gjennom en konstruksjon er avhengig av konstruksjonens U-verdi, arealet til konstruksjonen, temperaturforskjellene og tiden. Ut i fra dette kan det tenkes at en økning i arealet vil gi økning i varmemengden som går tapt. Oppgavens simuleringer er i tillegg utsatt for de samme klimatiske data (temperaturforskjeller) og den samme tid. Det er således mulig å anta at det økte energibehovet delvis kan forklares ved en økning i overflate for den alternative bygningskropp.

Reduksjonen i sum andel el/olje/gass av netto energibehov til 49,6 % førte dog til at denne bygningen falt én karakter på den tilhørende fargeskalaen. Da det er søkt å beholde slike verdier lik som for referanseprosjekt er det noe usikkert for undertegnede akkurat hva som er årsaken til dette. Denne fargekarakter er imidlertid ikke avhengig av

bygningsskroppen, men heller verdier knyttet til energikilder. Sett i sammenheng med den arealmessige endringen var den relative økningen i energibehov tilnærmet som forventet.

### Nøyaktigheten til modell og forskjeller fra referanseprosjekt

Det må tas med i betraktningen av resultatene at denne simulering tok for seg et bygg med vindusarealer som ga noe over 2 % gjennomsnittlig dagslysfaktor i tilnærmet alle oppholdsrom med fasade. Eventuelle store glassarealer, som eksempelvis ble observert ved referansebygningens inngangsparti, er ikke tatt med i betraktning ved energisimulering av alternativ løsning. Det kan argumenteres for at den alternative løsningen *legger mer til rette for økning/omorganisering* av vindusarealer for denne bygningsform dersom det er ønskelig. I tillegg er det knyttet noe usikkerhet til om eventuelle glassarealer i bygningens indre er inkludert ved simulering av referanseprosjekt, og om dette er av signifikant betydning. Slike glassarealer ble heller ikke medtatt i denne oppgavens simulering.

### Mulige feilkilder

I forbindelse med energisimuleringer må det tas høyde for flere mulige feilkilder. Inndataverdier for arealer og overflater er basert på målinger i tegneprogram utført av undertegnede. Slike verdier kan inneholde unøyaktigheter. Det kan og knyttes noe usikkerhet til nøyaktigheten for hvordan soneinndelinger, arealmål, luftvolum ble bestemt for beregninger knyttet til referanseprosjekt er noe uvisst. Samtidig er det viktig å stille seg noe kritisk til nøyaktigheten av egen modell og inndataverdier til egen simulering.

## 6. Konklusjon

### Dagslyset i klasserommet

Ved bruk av dynamiske simuleringer av årlige belyningsnivåer basert på klimadata for Fornebu i Oslo viser denne oppgaven hvordan et tilnærmet 9,3 meter dypt klasserom med persiener kan oppnå belyningsnivåer innenfor intervallet Useful Daylight Illuminance (100-2000 lux) for så lite som 21 % av de årlige timer undersøkt i de innerste deler av rommet. Anslagsvis 32 – 43 % av rommets areal oppnår såkalt Useful Daylight Illuminance for under halvparten av de årlige timene undersøkt avhengig av himmelretning. Det illustreres hvordan faktorer som himmelretning, bevegelige persiener og vinduenes lystransmisjon kan påvirke resultatene. En lystransmisjon på 51 % har for undersøkte tilfeller senket den årlige prosentandelen ved dybde 8,5 meter med 9 – 16 % i forhold til en lystransmisjon på 72 %. For et rom med en slik stor dybde faller den årlige prosentandelen Useful Daylight Illuminance til under 50 % i en omtrentlig dybde av 5,3 – 6,3 meter avhengig av himmelretning. En dybde som tilvarer rett over det dobbelte av himlingshøyden.

En alternativ mindre dyp form vil ut i fra denne oppgavens simuleringer gi økte andeler Useful Daylight Illuminance i klasserommet. De to løsninger oppnår nokså like årlige prosentandeler i rommenes ytre deler. Skal forholdene forbedres betydelig her ser det ut til at andre faktorer enn rommets geometri må endres. Den reduserte dybden for den alternative utforming anses å være den største fordel. Med 51 % lystransmisjon oppnår innerste sensorpunkt for både nordlig, østlig og vestlig himmelretning Useful Daylight Illuminance for 50 % eller mer av de årlige timer simulert. For sørlig himmelretning er resultatet ved innerste sensorpunkt på 45 %. Anslagsvis vil da 20 % av det totale areal oppnå Useful Daylight Illuminance for mindre enn halvparten av tiden. Til sammenligning ble resultatet for det *beste* tilfellet for referanseklasserommet 12 % høyere.

### Dynamiske simuleringer av dagslys

De dynamiske simuleringene utført i denne oppgaven viser hvordan forholdene i to ulike rom med tilnærmet lik gjennomsnittlig dagslysfaktor kan være nokså forskjellig. I stedet for å undersøke momentane forhold under én bestemt himmel tas de ulike årlige

variasjoner med i betraktning. Resultatene av en slik analyse oppleves å gi et mer helhetlig bilde av hvordan forholdene er over tid. Fremstillingen av belyningsverdier i prosentandeler av de undersøkte årlige timer åpner dog for diskusjon rundt hva som kan anses som en godkjent prosentandel. Fastslåing av verdier som kan fungere som generelle krav eller veiledninger kan by på utfordringer.

### **Energibehov og arealer**

Det konkluderes med at utformingen av en skole, fra klasseromsform til bygningskropp og funksjonsplassering, er en kompleks prosess. De forbedrede forholdene knyttet til dagslys medførte for denne oppgaven en økning i både totalt antall kvadratmeter og energiforbruk. En økning i totalt areal (BRA) på 14,8 % resulterte i en 8,9 % økning i forventet levert energi. Det spesifikke energibehov, det vil si den forventede leverte energi delt på bygningens totale areal, økte med tilnærmet 6,2 %. Økningene i energibehov og areal vil kunne ha energiøkonomisk konsekvens samt gi økte byggekostnader. Oppgaven viser videre at energikarakter A også kan oppnås for en slik løsning der klasserommenes dybde og form, samt grupperommenes tilgang på dagslys, ble adressert tidlig i utformingsprosessen. Det hele kan omsider bli en prioriteringssak avhengig av økonomiske, pedagogiske, så vel som dagslysmessige vurderinger.

### **Forslag til videre arbeid**

Muligheten de nye simuleringssystemer gir for stedsbestemte simuleringer av årlig varierende dagslysforhold åpner for at mye kan analyseres innenfor dette felt i fremtiden. Bruk av slike verktøy for optimalisering av dagslysforhold spesifikt for undervisningsarealer kan være spennende å utforske videre. Muligheten for analyse basert på stedavhengige værdata med årlige variasjoner åpner for mange mulige undersøkelser for optimalisering etter norske forhold. Effekten av ulike tekniske anordninger for å optimalisere innslipp av dagslys anses som spennende selv om det ikke er utdypende behandlet i denne oppgaven. Denne utforskningen av gode løsninger anses som høyst anvendbar på undervisningslokaler. Videre er sammenhengen mellom dagslysforhold og potensielle besparelser til elektrisk belysning et viktig tema som henger sammen med energiforbruket i bygninger.



## 7. Litteraturliste

Tegninger fra Haukerød Skole er hentet åpent på nett fra følgende adresse:

[http://www100.sandefjord.kommune.no/k2000/k2pub.nsf/viewAttachments/C1256F08003DCC59C12578A20031E3DD/\\$FILE/11019422.PDF](http://www100.sandefjord.kommune.no/k2000/k2pub.nsf/viewAttachments/C1256F08003DCC59C12578A20031E3DD/$FILE/11019422.PDF) (sist lest 12.05.2014)

Advancedbuildings. (2014). *Daylight Pattern Guide, 2014*. Tilgjengelig fra:

<http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/useful-daylight-illuminance> (lest sist 12.05.2014).

Blom, P. (1999). Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg, Byggforskserien blad 421.505. I: *Norges byggforskningsinstitutt*.

Bourgeois, D., Reinhart, C. & Ward, G. (2008). Standard daylight coefficient model for dynamic daylighting simulations. *Building Research & Information*, 36 (1): 68-82.

Brantenberg, B. C. (1980). *et bedre skolemiljø*.

Buvik, K. (2009). Grunnskolebygg. Funksjoner og arealer Byggforskserien blad 342.205. I: *SINTEF Byggforsk*.

Dalland, O. (2012). *Metode og Oppgaveskriving*. 5 utg.: Gyldendal Akademisk.

Daysim. (2014a). Tilgjengelig fra: <http://daysim.ning.com/> (lest sist 12.05.2014).

Daysim. (2014b). Tilgjengelig fra: <http://daysim.ning.com/page/program-structure> (lest sist 12.05.2014).

Daysim. (2014c). Tilgjengelig fra: <http://daysim.ning.com/page/daysim-in-sketchup> (lest sist 12.05.2014).

Direktoratet for byggkvalitet. (2014). Tilgjengelig fra:

<http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/?dpx=/dpx/content/tekniskekrav/13/12/&q=dagslys> (lest sist 12.05.2014).

Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. (2007). *Trehus Håndbok 53: Norges Byggforskningsinstitutt*. 333 s.

Elevombud. (2014). *Elev- og lærlingombudet i Oslo, Skolemiljø*. Tilgjengelig fra: <http://elevombud.no/elev/rettigheter-i-offentlig-skole/> (lest sist 12.05.2014).

Energimerking. (2014a). Tilgjengelig fra: [www.energimerking.no](http://www.energimerking.no) (lest sist 12.05.2014).

Energimerking. (2014b). Tilgjengelig fra: <http://energimerking.no/no/Energimerking-B bygg/Energimerking-av-bygg/Om-energiattesten/Energimerkeskalaen/> (lest sist 12.05.2014).

Energimerking. (2014c). *karakterene i energiattesten*. Tilgjengelig fra:

<http://energimerking.no/no/Energimerking-B bygg/Energimerking-av-bygg/Om-energiattesten/Karakterene-i-energiattesten/> (lest sist 12.05.2014).

EnergyPlus. (2014). Tilgjengelig fra:

[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/re](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/re)



- gion=6\_europe\_wmo\_region\_6/country=NOR/cname=Norway (lest sist 12.05.2014).
- Heschong, L., Wright, R. L. & Okura, S. (2002). Daylighting impacts on human performance in school. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31 (2): 101-114.
- Houck, L. D. (2012). *Dagslysets kår blant vinner- og taperprosjekter i arkitektkonkurranser om nye skoler, IMT-rapport nr 46/2012* Ås: Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Mardaljevic, J., Heschong, L. & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*, 41 (3): 261-283.
- Moore, F. (1991). Concepts and Practice of Architectural Daylighting.
- Mysen, M. (2005). Inneklima og ventilasjon i skoler, Byggforskserien blad 552.311. I: *SINTEF Byggforsk*.
- Nabil, A. & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 37 (1): 41-57.
- Nersveen, J. (2001). Metode for distribusjon av dagslys i bygninger, Byggforskserien blad 421.621. I: *Norges byggforskningsinstitutt*.
- Nersveen, J. (2004). Byggforskseriens blad 421.626, Beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor og glassareal. I: *Norges byggforskningsinstitutt*.
- Standard Norge. (2007). *NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data*. Oslo: Standard Norge.
- Programbyggerne. (2014a). Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/start> (lest sist 12.05.2014).
- Radiance. (2012a). Tilgjengelig fra: <http://www.radiance-online.org/about> (lest sist 12.05.2014).
- Radiance. (2012b). Tilgjengelig fra: <http://www.radiance-online.org/about/detailed-description.html> (lest sist 12.05.2014).
- Reinhart, C. F. & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33 (7): 683-697.
- Reinhart, C. F. (2004). Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy*, 77 (1): 15-28.
- SketchUp. (2013). Tilgjengelig fra: <http://www.sketchup.com/> (lest sist 12.05.2014).
- Store Norske Leksikon. (2014). *Elektromagnetisk stråling* Tilgjengelig fra: [http://snl.no/elektromagnetisk\\_str%C3%A5ling](http://snl.no/elektromagnetisk_str%C3%A5ling) (lest sist 12.05.2014).
- Store Norske Leksikon. (2014). *Baseskole*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/baseskole> (lest sist 12.05.2014).
- Su2ds. (2014). Tilgjengelig fra: <http://code.google.com/p/su2ds/> (lest sist 12.05.2014).

## 8. Vedlegg

### 8.1 Fullstendige DAYSIM-resultater for samtlige simuleringer

#### Nordvendt referanserom med 51 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>1-100</sub> [%] (active) | UDI <sub>1-100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>1-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>1-2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 40                                | 100                                | 60                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 699120                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,7    | 27                                | 77                                 | 73                                   | 23                                    | 0                                  | 0                                   | 26               | 0                 | 1257419                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,4    | 29                                | 89                                 | 71                                   | 11                                    | 0                                  | 0                                   | 18               | 0                 | 1052865                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 33                                | 99                                 | 67                                   | 1                                     | 0                                  | 0                                   | 3                | 0                 | 826270                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,7    | 41                                | 100                                | 59                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 594364                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,5    | 48                                | 100                                | 52                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 458138                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 58                                | 100                                | 42                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 351649                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,3    | 64                                | 100                                | 36                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 305045                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 66                                | 100                                | 34                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 294032                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,4    | 15                                | 32                                 | 84                                   | 68                                    | 1                                  | 0                                   | 68               | 4                 | 3461543                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 3,5    | 20                                | 42                                 | 80                                   | 58                                    | 0                                  | 0                                   | 57               | 0                 | 2183094                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 24                                | 59                                 | 76                                   | 41                                    | 0                                  | 0                                   | 40               | 0                 | 1443079                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 30                                | 92                                 | 70                                   | 8                                     | 0                                  | 0                                   | 14               | 0                 | 977998                       |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 38                                | 100                                | 62                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 655451                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 46                                | 100                                | 54                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 490826                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 55                                | 100                                | 45                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 371871                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 62                                | 100                                | 38                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 316646                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 64                                | 100                                | 36                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 304205                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 9,7    | 13                                | 25                                 | 72                                   | 75                                    | 15                                 | 0                                   | 77               | 23                | 5028193                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,5    | 17                                | 36                                 | 83                                   | 64                                    | 0                                  | 0                                   | 62               | 0                 | 2675703                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 23                                | 54                                 | 77                                   | 46                                    | 0                                  | 0                                   | 45               | 0                 | 1599946                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 29                                | 87                                 | 71                                   | 13                                    | 0                                  | 0                                   | 19               | 0                 | 1031976                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 36                                | 100                                | 64                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 714856                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 44                                | 100                                | 56                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 512239                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 53                                | 100                                | 47                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 389055                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 62                                | 100                                | 38                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 322481                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 64                                | 100                                | 36                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 305278                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,4   | 13                                | 24                                 | 64                                   | 76                                    | 23                                 | 0                                   | 79               | 28                | 5390822                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,8    | 16                                | 34                                 | 84                                   | 66                                    | 0                                  | 0                                   | 65               | 0                 | 2851994                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,4    | 23                                | 53                                 | 77                                   | 47                                    | 0                                  | 0                                   | 45               | 0                 | 1618927                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 29                                | 87                                 | 71                                   | 13                                    | 0                                  | 0                                   | 19               | 0                 | 1027098                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 36                                | 100                                | 64                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 700101                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 44                                | 100                                | 56                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 507957                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 52                                | 100                                | 48                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 398562                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 62                                | 100                                | 38                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 318994                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 64                                | 100                                | 36                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 301901                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 8,3    | 13                                | 27                                 | 76                                   | 73                                    | 11                                 | 0                                   | 74               | 16                | 4364950                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 4,0    | 18                                | 38                                 | 82                                   | 62                                    | 0                                  | 0                                   | 60               | 0                 | 2473424                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 24                                | 56                                 | 76                                   | 44                                    | 0                                  | 0                                   | 41               | 0                 | 1488383                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 30                                | 90                                 | 70                                   | 10                                    | 0                                  | 0                                   | 15               | 0                 | 976026                       |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 37                                | 100                                | 63                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 675844                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 45                                | 100                                | 55                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 492023                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 55                                | 100                                | 45                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 366181                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 63                                | 100                                | 37                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 309538                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 65                                | 100                                | 35                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 294783                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 1,8    | 26                                | 68                                 | 74                                   | 32                                    | 0                                  | 0                                   | 29               | 0                 | 1342742                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 2,5    | 22                                | 50                                 | 78                                   | 50                                    | 0                                  | 0                                   | 47               | 0                 | 1727496                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 26                                | 66                                 | 74                                   | 34                                    | 0                                  | 0                                   | 31               | 0                 | 1264241                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,1    | 31                                | 95                                 | 69                                   | 5                                     | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 898930                       |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 39                                | 100                                | 61                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 622237                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 46                                | 100                                | 54                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 480738                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 56                                | 100                                | 44                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 357688                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,3    | 65                                | 100                                | 35                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 295445                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 69                                | 100                                | 31                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 274554                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Østvendt referanserom med 51 % lystransmisjon

| y (m) | x (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 52                             | 97                              | 48                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 590909                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,7    | 29                             | 62                              | 71                                  | 38                                   | 0                               | 0                                | 27               | 0                 | 1106914                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,4    | 32                             | 69                              | 68                                  | 31                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 976304                       |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,1    | 36                             | 80                              | 64                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 9                | 0                 | 803955                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,7    | 49                             | 93                              | 51                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 584544                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 58                             | 97                              | 42                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 475143                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 66                             | 100                             | 34                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 378282                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 71                             | 100                             | 29                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 306177                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 75                             | 100                             | 25                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 277315                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,5    | 15                             | 29                              | 78                                  | 71                                   | 7                               | 0                                | 64               | 17                | 3415474                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 3,5    | 19                             | 38                              | 80                                  | 62                                   | 1                               | 0                                | 48               | 3                 | 2157070                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,0    | 25                             | 51                              | 75                                  | 49                                   | 0                               | 0                                | 34               | 0                 | 1407933                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 31                             | 70                              | 69                                  | 30                                   | 0                               | 0                                | 17               | 0                 | 973676                       |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 40                             | 85                              | 60                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 695547                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 51                             | 93                              | 49                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 515897                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 66                             | 100                             | 34                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 381395                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 70                             | 100                             | 30                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 323041                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 72                             | 100                             | 28                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 299288                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 9,7    | 13                             | 23                              | 64                                  | 77                                   | 23                              | 0                                | 73               | 39                | 5320481                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,5    | 17                             | 33                              | 80                                  | 67                                   | 3                               | 0                                | 59               | 11                | 2862632                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,4    | 23                             | 45                              | 76                                  | 55                                   | 1                               | 0                                | 40               | 1                 | 1702595                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 29                             | 64                              | 71                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 22               | 0                 | 1086984                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 37                             | 82                              | 63                                  | 18                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 738106                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 48                             | 90                              | 52                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 533689                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 64                             | 98                              | 36                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 379201                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 69                             | 100                             | 31                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 325981                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 71                             | 100                             | 29                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 306807                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,4   | 13                             | 22                              | 59                                  | 78                                   | 29                              | 0                                | 68               | 45                | 6095609                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,8    | 16                             | 31                              | 78                                  | 69                                   | 6                               | 0                                | 64               | 18                | 3213668                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,4    | 23                             | 43                              | 76                                  | 57                                   | 1                               | 0                                | 43               | 3                 | 1788038                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 28                             | 62                              | 72                                  | 38                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1106839                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 36                             | 80                              | 64                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 744132                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 48                             | 89                              | 52                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 528747                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 61                             | 97                              | 39                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 392585                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 70                             | 100                             | 30                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 325621                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 71                             | 100                             | 29                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 311924                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 8,3    | 13                             | 24                              | 64                                  | 76                                   | 22                              | 0                                | 69               | 39                | 5272544                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 4,0    | 17                             | 32                              | 78                                  | 68                                   | 5                               | 0                                | 64               | 18                | 2919653                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 23                             | 44                              | 76                                  | 56                                   | 1                               | 0                                | 43               | 4                 | 1672338                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 29                             | 63                              | 71                                  | 37                                   | 0                               | 0                                | 21               | 0                 | 1047653                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 35                             | 79                              | 65                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 712567                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 47                             | 88                              | 53                                  | 12                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 511327                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 62                             | 97                              | 38                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 387422                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 70                             | 100                             | 30                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 315844                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 72                             | 100                             | 28                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 303836                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 1,9    | 24                             | 46                              | 74                                  | 54                                   | 2                               | 0                                | 39               | 2                 | 1711750                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 2,4    | 22                             | 38                              | 76                                  | 62                                   | 2                               | 0                                | 56               | 13                | 2039505                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 24                             | 48                              | 75                                  | 52                                   | 1                               | 0                                | 37               | 3                 | 1444597                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,1    | 29                             | 65                              | 71                                  | 35                                   | 0                               | 0                                | 18               | 0                 | 973842                       |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 35                             | 79                              | 65                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 675788                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 46                             | 86                              | 54                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 504601                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 65                             | 99                              | 35                                  | 1                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 371195                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,3    | 71                             | 100                             | 29                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 311991                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 73                             | 100                             | 27                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 291590                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Vestvendt referanserom med 51 % lystransmisjon

| y (m) | x (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>&lt;100</sub> [%] (active) | UDI <sub>&lt;100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>≥2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>≥2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                  | 92                                   | 62                                   | 8                                     | 0                                 | 0                                  | 13               | 0                 | 760808                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,7    | 26                                  | 66                                   | 74                                   | 34                                    | 0                                 | 0                                  | 35               | 0                 | 1427886                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,4    | 28                                  | 73                                   | 72                                   | 27                                    | 0                                 | 0                                  | 28               | 0                 | 1224809                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,1    | 33                                  | 86                                   | 67                                   | 14                                    | 0                                 | 0                                  | 15               | 0                 | 925447                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 41                                  | 98                                   | 59                                   | 2                                     | 0                                 | 0                                  | 4                | 0                 | 662648                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 48                                  | 100                                  | 52                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 500282                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 56                                  | 100                                  | 44                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 373688                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,3    | 64                                  | 100                                  | 36                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 312710                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 66                                  | 100                                  | 34                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 297358                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,4    | 15                                  | 29                                   | 71                                   | 71                                    | 15                                | 0                                  | 62               | 22                | 4510845                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 3,6    | 19                                  | 38                                   | 79                                   | 62                                    | 2                                 | 0                                  | 59               | 7                 | 2734719                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,0    | 24                                  | 55                                   | 76                                   | 45                                    | 0                                 | 0                                  | 40               | 0                 | 1642390                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 32                                  | 82                                   | 68                                   | 18                                    | 0                                 | 0                                  | 21               | 0                 | 1058314                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                  | 97                                   | 62                                   | 3                                     | 0                                 | 0                                  | 6                | 0                 | 751565                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 45                                  | 100                                  | 55                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 544964                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 54                                  | 100                                  | 46                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 395720                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 62                                  | 100                                  | 38                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 326741                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 65                                  | 100                                  | 35                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 298019                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 9,6    | 13                                  | 24                                   | 62                                   | 76                                    | 25                                | 0                                  | 66               | 36                | 6131041                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,5    | 17                                  | 34                                   | 80                                   | 66                                    | 3                                 | 0                                  | 63               | 9                 | 3177561                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 23                                  | 52                                   | 77                                   | 48                                    | 0                                 | 0                                  | 43               | 0                 | 1798042                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 30                                  | 80                                   | 70                                   | 20                                    | 0                                 | 0                                  | 24               | 0                 | 1125450                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                  | 97                                   | 62                                   | 3                                     | 0                                 | 0                                  | 5                | 0                 | 755347                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 46                                  | 100                                  | 54                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 531883                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 53                                  | 100                                  | 47                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 416661                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 62                                  | 100                                  | 38                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 330798                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 64                                  | 100                                  | 36                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 310264                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,3   | 13                                  | 23                                   | 60                                   | 77                                    | 27                                | 0                                  | 67               | 38                | 6254243                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,8    | 16                                  | 34                                   | 81                                   | 66                                    | 3                                 | 0                                  | 61               | 7                 | 3222045                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,4    | 23                                  | 51                                   | 77                                   | 49                                    | 0                                 | 0                                  | 44               | 0                 | 1809824                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 31                                  | 82                                   | 69                                   | 18                                    | 0                                 | 0                                  | 23               | 0                 | 1106719                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                  | 97                                   | 62                                   | 3                                     | 0                                 | 0                                  | 5                | 0                 | 764826                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 47                                  | 100                                  | 53                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 517000                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 54                                  | 100                                  | 46                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 392607                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 63                                  | 100                                  | 37                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 320800                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 67                                  | 100                                  | 33                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 285501                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 8,2    | 14                                  | 27                                   | 74                                   | 73                                    | 13                                | 0                                  | 71               | 21                | 4418500                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 3,9    | 19                                  | 39                                   | 81                                   | 61                                    | 0                                 | 0                                  | 55               | 1                 | 2480188                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 25                                  | 56                                   | 75                                   | 44                                    | 0                                 | 0                                  | 39               | 0                 | 1535040                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 32                                  | 86                                   | 68                                   | 14                                    | 0                                 | 0                                  | 19               | 0                 | 1007715                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 39                                  | 100                                  | 61                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 3                | 0                 | 704717                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 47                                  | 100                                  | 53                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 518247                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 55                                  | 100                                  | 45                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 384740                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 63                                  | 100                                  | 37                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 315200                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 67                                  | 100                                  | 33                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 286787                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 1,8    | 29                                  | 77                                   | 71                                   | 23                                    | 0                                 | 0                                  | 27               | 0                 | 1067550                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 2,4    | 24                                  | 52                                   | 76                                   | 48                                    | 0                                 | 0                                  | 42               | 0                 | 1541724                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 29                                  | 69                                   | 71                                   | 31                                    | 0                                 | 0                                  | 30               | 0                 | 1178841                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 34                                  | 93                                   | 66                                   | 7                                     | 0                                 | 0                                  | 12               | 0                 | 893449                       |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 41                                  | 100                                  | 59                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 645070                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 49                                  | 100                                  | 51                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 480244                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 56                                  | 100                                  | 44                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 382237                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,3    | 65                                  | 100                                  | 35                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 304010                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 68                                  | 100                                  | 32                                   | 0                                     | 0                                 | 0                                  | 0                | 0                 | 286442                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Sørvendt referanserom med 51 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 1,0    | 53                             | 81                              | 47                                  | 19                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 636520                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,7    | 28                             | 47                              | 72                                  | 53                                   | 0                               | 0                                | 20               | 1                 | 1199092                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,4    | 29                             | 49                              | 71                                  | 51                                   | 0                               | 0                                | 18               | 0                 | 1055704                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 34                             | 59                              | 66                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 14               | 0                 | 775308                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 45                             | 76                              | 55                                  | 24                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 583691                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 62                             | 93                              | 38                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 442419                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 74                             | 100                             | 26                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 332940                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 79                             | 100                             | 21                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 283374                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 80                             | 100                             | 20                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 268396                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,4    | 14                             | 26                              | 70                                  | 74                                   | 16                              | 0                                | 58               | 44                | 4122622                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 3,6    | 18                             | 32                              | 77                                  | 68                                   | 5                               | 0                                | 51               | 27                | 2431783                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,0    | 23                             | 40                              | 76                                  | 60                                   | 1                               | 0                                | 30               | 6                 | 1460278                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 29                             | 53                              | 71                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 16               | 0                 | 915296                       |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 67                              | 62                                  | 33                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 657591                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 59                             | 88                              | 41                                  | 12                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 464288                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 71                             | 98                              | 29                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 359601                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 78                             | 100                             | 22                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 292955                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 79                             | 100                             | 21                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 281095                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 9,6    | 13                             | 23                              | 63                                  | 77                                   | 24                              | 1                                | 57               | 57                | 6029076                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,5    | 16                             | 29                              | 75                                  | 71                                   | 8                               | 0                                | 56               | 37                | 3049633                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 22                             | 38                              | 77                                  | 62                                   | 1                               | 0                                | 37               | 11                | 1697974                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 28                             | 53                              | 72                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 17               | 0                 | 977847                       |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 37                             | 67                              | 63                                  | 33                                   | 0                               | 0                                | 12               | 0                 | 697281                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 56                             | 85                              | 44                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 479387                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 72                             | 98                              | 28                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 353049                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 78                             | 100                             | 22                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 295031                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 79                             | 100                             | 21                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 285585                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,3   | 13                             | 22                              | 63                                  | 76                                   | 25                              | 2                                | 58               | 58                | 6583387                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,8    | 16                             | 29                              | 76                                  | 71                                   | 8                               | 0                                | 56               | 38                | 3287610                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,4    | 22                             | 38                              | 76                                  | 62                                   | 2                               | 0                                | 36               | 11                | 1736728                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 28                             | 53                              | 72                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 18               | 0                 | 1047603                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 68                              | 62                                  | 32                                   | 0                               | 0                                | 11               | 0                 | 699997                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 54                             | 83                              | 46                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 499946                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 73                             | 99                              | 27                                  | 1                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 348189                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 78                             | 100                             | 22                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 296530                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 79                             | 100                             | 21                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 279574                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 8,2    | 13                             | 24                              | 74                                  | 76                                   | 13                              | 0                                | 58               | 48                | 5352220                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 3,9    | 17                             | 32                              | 77                                  | 68                                   | 6                               | 0                                | 50               | 27                | 2705769                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 24                             | 43                              | 75                                  | 57                                   | 1                               | 0                                | 30               | 7                 | 1548776                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,3    | 31                             | 59                              | 68                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 16               | 0                 | 970905                       |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 43                             | 73                              | 57                                  | 27                                   | 0                               | 0                                | 9                | 0                 | 657664                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 58                             | 86                              | 42                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 468201                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 73                             | 99                              | 27                                  | 1                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 344133                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,4    | 79                             | 100                             | 21                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 288860                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 80                             | 100                             | 20                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 272355                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 1,9    | 31                             | 56                              | 69                                  | 44                                   | 0                               | 0                                | 18               | 1                 | 1564182                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 2,4    | 24                             | 42                              | 75                                  | 58                                   | 1                               | 0                                | 32               | 9                 | 1770442                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 28                             | 50                              | 72                                  | 50                                   | 1                               | 0                                | 22               | 2                 | 1307057                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,1    | 37                             | 66                              | 63                                  | 34                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 876058                       |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 49                             | 78                              | 51                                  | 22                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 610428                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 61                             | 89                              | 39                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 449173                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,4    | 73                             | 98                              | 27                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 342342                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,3    | 80                             | 100                             | 20                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 276557                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,3    | 81                             | 100                             | 19                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 259300                       |

**Nordvendt referanserom med 72 % lystransmisjon**

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>100</sub> [%] (active) | UDI <sub>100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 1,4    | 31                              | 90                               | 69                                   | 10                                    | 0                                | 0                                 | 16               | 0                 | 1105053                      |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 2,5    | 22                              | 51                               | 78                                   | 49                                    | 0                                | 0                                 | 48               | 0                 | 1830634                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 23                              | 55                               | 77                                   | 45                                    | 0                                | 0                                 | 43               | 0                 | 1569997                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 27                              | 71                               | 73                                   | 29                                    | 0                                | 0                                 | 28               | 0                 | 1184578                      |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 32                              | 98                               | 68                                   | 2                                     | 0                                | 0                                 | 8                | 0                 | 853747                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 37                              | 100                              | 63                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 665925                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 44                              | 100                              | 56                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 510604                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 49                              | 100                              | 51                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 428945                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 51                              | 100                              | 49                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 401328                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 9,8    | 13                              | 25                               | 71                                   | 75                                    | 16                               | 0                                 | 78               | 24                | 5202182                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 5,1    | 16                              | 33                               | 84                                   | 67                                    | 0                                | 0                                 | 66               | 1                 | 3159659                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,9    | 21                              | 45                               | 79                                   | 55                                    | 0                                | 0                                 | 54               | 0                 | 2014113                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,8    | 25                              | 60                               | 75                                   | 40                                    | 0                                | 0                                 | 38               | 0                 | 1378419                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 31                              | 94                               | 69                                   | 6                                     | 0                                | 0                                 | 13               | 0                 | 922964                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 36                              | 100                              | 64                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 694717                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 43                              | 100                              | 57                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 531800                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 48                              | 100                              | 52                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 442917                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 49                              | 100                              | 51                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 431277                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 14,6   | 12                              | 20                               | 44                                   | 80                                    | 44                               | 0                                 | 80               | 48                | 7447627                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,5    | 14                              | 29                               | 83                                   | 71                                    | 2                                | 0                                 | 72               | 8                 | 3834946                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 20                              | 41                               | 80                                   | 59                                    | 0                                | 0                                 | 58               | 0                 | 2269514                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 57                               | 76                                   | 43                                    | 0                                | 0                                 | 41               | 0                 | 1454658                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 29                              | 86                               | 71                                   | 14                                    | 0                                | 0                                 | 19               | 0                 | 1017962                      |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 727509                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 43                              | 100                              | 57                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 547451                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 47                              | 100                              | 53                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 460583                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 48                              | 100                              | 52                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 439679                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,6   | 12                              | 19                               | 41                                   | 81                                    | 47                               | 0                                 | 77               | 51                | 7937714                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 6,9    | 14                              | 28                               | 82                                   | 72                                    | 4                                | 0                                 | 74               | 11                | 4090538                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,5    | 19                              | 40                               | 81                                   | 60                                    | 0                                | 0                                 | 58               | 0                 | 2309310                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 57                               | 76                                   | 43                                    | 0                                | 0                                 | 41               | 0                 | 1451413                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 30                              | 90                               | 70                                   | 10                                    | 0                                | 0                                 | 16               | 0                 | 977338                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 721338                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 42                              | 100                              | 58                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 565609                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 47                              | 100                              | 53                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 458294                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 49                              | 100                              | 51                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 427365                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 12,4   | 12                              | 22                               | 50                                   | 78                                    | 37                               | 0                                 | 80               | 40                | 6445313                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,8    | 15                              | 31                               | 84                                   | 69                                    | 1                                | 0                                 | 70               | 5                 | 3534051                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,1    | 20                              | 42                               | 80                                   | 58                                    | 0                                | 0                                 | 56               | 0                 | 2150331                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,9    | 25                              | 58                               | 75                                   | 42                                    | 0                                | 0                                 | 39               | 0                 | 1406489                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 31                              | 91                               | 69                                   | 9                                     | 0                                | 0                                 | 15               | 0                 | 953507                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 37                              | 100                              | 63                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 682208                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 43                              | 100                              | 57                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 524601                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 49                              | 100                              | 51                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 436049                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 50                              | 100                              | 50                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 418443                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 3,0    | 21                              | 45                               | 79                                   | 55                                    | 0                                | 0                                 | 53               | 0                 | 2131915                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 3,7    | 18                              | 38                               | 82                                   | 62                                    | 0                                | 0                                 | 59               | 0                 | 2521576                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 22                              | 47                               | 78                                   | 53                                    | 0                                | 0                                 | 50               | 0                 | 1811986                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 26                              | 63                               | 74                                   | 37                                    | 0                                | 0                                 | 34               | 0                 | 1280395                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 31                              | 94                               | 69                                   | 6                                     | 0                                | 0                                 | 11               | 0                 | 902093                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 37                              | 100                              | 63                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 669709                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 44                              | 100                              | 56                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 509058                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 50                              | 100                              | 50                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 418829                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,4    | 52                              | 100                              | 48                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 392181                       |

Østvendt referanserom med 72 % lystransmisjon

| y (m) | x (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 1,4    | 33                             | 70                              | 67                                  | 30                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 920689                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 2,5    | 24                             | 45                              | 76                                  | 55                                   | 0                               | 0                                | 38               | 0                 | 1571108                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 25                             | 49                              | 75                                  | 51                                   | 0                               | 0                                | 34               | 0                 | 1375585                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 29                             | 59                              | 71                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 24               | 0                 | 1082281                      |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 36                             | 79                              | 64                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 776246                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 43                             | 87                              | 57                                  | 13                                   | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 630680                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 57                             | 96                              | 43                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 476038                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 62                             | 97                              | 38                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 413654                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 63                             | 98                              | 37                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 394855                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 9,9    | 13                             | 23                              | 66                                  | 77                                   | 21                              | 0                                | 74               | 38                | 4919892                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 5,3    | 16                             | 30                              | 81                                  | 70                                   | 3                               | 0                                | 61               | 13                | 3080807                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 3,0    | 21                             | 39                              | 79                                  | 61                                   | 0                               | 0                                | 44               | 1                 | 1950828                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,8    | 27                             | 53                              | 73                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 30               | 0                 | 1277317                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 31                             | 68                              | 69                                  | 32                                   | 0                               | 0                                | 17               | 0                 | 938992                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 39                             | 83                              | 61                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 694685                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 51                             | 92                              | 49                                  | 8                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 508700                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 60                             | 96                              | 40                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 432580                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 63                             | 97                              | 37                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 398472                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 14,5   | 12                             | 19                              | 50                                  | 77                                   | 38                              | 4                                | 65               | 54                | 7563101                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,5    | 14                             | 27                              | 75                                  | 73                                   | 11                              | 0                                | 69               | 24                | 3894314                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                             | 36                              | 80                                  | 64                                   | 0                               | 0                                | 51               | 6                 | 2294060                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,9    | 25                             | 50                              | 75                                  | 50                                   | 0                               | 0                                | 34               | 0                 | 1418094                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 30                             | 64                              | 70                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 1004806                      |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 81                              | 62                                  | 19                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 703114                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 48                             | 90                              | 52                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 531419                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 58                             | 95                              | 42                                  | 5                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 438572                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 61                             | 97                              | 39                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 411485                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,7   | 12                             | 18                              | 43                                  | 73                                   | 46                              | 8                                | 57               | 59                | 8673440                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 6,9    | 14                             | 26                              | 70                                  | 74                                   | 16                              | 0                                | 71               | 32                | 4402692                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                             | 35                              | 80                                  | 65                                   | 1                               | 0                                | 56               | 10                | 2433194                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                             | 47                              | 76                                  | 53                                   | 0                               | 0                                | 37               | 1                 | 1507380                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 29                             | 63                              | 71                                  | 37                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 1011649                      |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 36                             | 78                              | 64                                  | 22                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 726204                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 48                             | 89                              | 52                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 529792                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 55                             | 93                              | 45                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 439823                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 62                             | 97                              | 38                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 397500                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 12,5   | 12                             | 20                              | 49                                  | 75                                   | 39                              | 5                                | 60               | 55                | 7531151                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,8    | 14                             | 27                              | 72                                  | 73                                   | 14                              | 0                                | 69               | 29                | 3986749                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,1    | 19                             | 35                              | 79                                  | 65                                   | 2                               | 0                                | 57               | 12                | 2319187                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,9    | 24                             | 47                              | 76                                  | 53                                   | 0                               | 0                                | 37               | 3                 | 1478272                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 30                             | 64                              | 70                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 19               | 0                 | 970065                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 35                             | 77                              | 65                                  | 23                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 708910                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 45                             | 86                              | 55                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 531685                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 56                             | 93                              | 44                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 426406                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 58                             | 94                              | 42                                  | 6                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 404913                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 3,0    | 20                             | 35                              | 76                                  | 65                                   | 4                               | 0                                | 56               | 16                | 2722262                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 3,6    | 18                             | 31                              | 78                                  | 69                                   | 4                               | 0                                | 65               | 21                | 2843398                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 21                             | 37                              | 78                                  | 63                                   | 1                               | 0                                | 55               | 12                | 2030328                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 25                             | 49                              | 75                                  | 51                                   | 0                               | 0                                | 33               | 1                 | 1333243                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 30                             | 64                              | 70                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 18               | 0                 | 938227                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 36                             | 79                              | 64                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 664017                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 44                             | 85                              | 56                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 509871                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 57                             | 93                              | 43                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 412453                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,4    | 60                             | 95                              | 40                                  | 5                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 388909                       |

**Vestvendt referanserom med 72 % lystransmisjon**

| y (m) | x (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 1,4    | 29                             | 72                              | 70                                  | 28                                   | 1                               | 0                                | 28               | 0                 | 1214824                      |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 2,5    | 22                             | 44                              | 78                                  | 56                                   | 0                               | 0                                | 53               | 6                 | 2045048                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 2,1    | 23                             | 50                              | 77                                  | 50                                   | 0                               | 0                                | 45               | 2                 | 1723261                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 28                             | 69                              | 72                                  | 31                                   | 0                               | 0                                | 30               | 0                 | 1224919                      |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 33                             | 84                              | 67                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 16               | 0                 | 928421                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 40                             | 97                              | 60                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 696937                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 46                             | 100                             | 54                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 514372                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 51                             | 100                             | 49                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 435159                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 52                             | 100                             | 48                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 427805                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 9,8    | 13                             | 24                              | 59                                  | 76                                   | 28                              | 0                                | 64               | 42                | 6671665                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 5,1    | 16                             | 31                              | 74                                  | 69                                   | 10                              | 0                                | 67               | 17                | 3692394                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,9    | 21                             | 42                              | 79                                  | 58                                   | 0                               | 0                                | 52               | 3                 | 2253995                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,8    | 25                             | 57                              | 75                                  | 43                                   | 0                               | 0                                | 36               | 0                 | 1451279                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 32                             | 83                              | 68                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 19               | 0                 | 985829                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 96                              | 62                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 744348                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 45                             | 100                             | 55                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 555218                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 455276                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 51                             | 100                             | 49                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 433506                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 14,6   | 12                             | 20                              | 43                                  | 80                                   | 45                              | 0                                | 57               | 55                | 8893533                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,5    | 14                             | 28                              | 72                                  | 72                                   | 14                              | 0                                | 70               | 22                | 4369190                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,3    | 20                             | 40                              | 80                                  | 60                                   | 0                               | 0                                | 54               | 3                 | 2482341                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 25                             | 54                              | 75                                  | 46                                   | 0                               | 0                                | 39               | 0                 | 1570561                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 31                             | 80                              | 69                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 22               | 0                 | 1053582                      |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 96                              | 62                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 745338                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 44                             | 100                             | 56                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 565005                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 461462                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 51                             | 100                             | 49                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 436382                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,6   | 12                             | 19                              | 41                                  | 81                                   | 48                              | 0                                | 57               | 55                | 8977226                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 6,9    | 14                             | 28                              | 72                                  | 72                                   | 14                              | 0                                | 70               | 21                | 4388298                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,5    | 20                             | 39                              | 80                                  | 61                                   | 0                               | 0                                | 53               | 1                 | 2452294                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 25                             | 55                              | 75                                  | 45                                   | 0                               | 0                                | 39               | 0                 | 1532336                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 32                             | 82                              | 68                                  | 18                                   | 0                               | 0                                | 21               | 0                 | 1042167                      |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 97                              | 62                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 744258                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 45                             | 100                             | 55                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 550160                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 444550                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 51                             | 100                             | 49                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 430525                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 12,4   | 12                             | 22                              | 54                                  | 78                                   | 34                              | 0                                | 72               | 44                | 6332609                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,7    | 15                             | 31                              | 80                                  | 69                                   | 6                               | 0                                | 63               | 10                | 3470572                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,1    | 21                             | 42                              | 79                                  | 58                                   | 0                               | 0                                | 50               | 0                 | 2133428                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,9    | 27                             | 59                              | 73                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 36               | 0                 | 1386345                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 33                             | 86                              | 67                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 18               | 0                 | 956835                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 40                             | 99                              | 60                                  | 1                                    | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 690453                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 47                             | 100                             | 53                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 504818                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 444060                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,4    | 53                             | 100                             | 47                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 392172                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 3,1    | 23                             | 46                              | 77                                  | 54                                   | 0                               | 0                                | 46               | 0                 | 1727497                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 3,6    | 20                             | 39                              | 80                                  | 61                                   | 0                               | 0                                | 52               | 0                 | 2225093                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 23                             | 48                              | 77                                  | 52                                   | 0                               | 0                                | 44               | 0                 | 1688455                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 28                             | 64                              | 72                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 31               | 0                 | 1223351                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 34                             | 91                              | 66                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 885738                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 40                             | 100                             | 60                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 675694                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 47                             | 100                             | 53                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 519399                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 52                             | 100                             | 48                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 415426                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,4    | 55                             | 100                             | 45                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 380221                       |



## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Sørvendt referanserom med 72 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>100</sub> [%] (active) | UDI <sub>100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 1,4    | 35                              | 56                               | 64                                   | 44                                    | 1                                | 0                                 | 13               | 0                 | 1007632                      |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 2,6    | 22                              | 36                               | 77                                   | 64                                    | 1                                | 0                                 | 38               | 15                | 1737344                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 41                               | 76                                   | 59                                    | 1                                | 0                                 | 27               | 4                 | 1417289                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 26                              | 46                               | 74                                   | 54                                    | 0                                | 0                                 | 17               | 0                 | 1065592                      |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 31                              | 55                               | 69                                   | 45                                    | 0                                | 0                                 | 13               | 0                 | 806129                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 40                              | 68                               | 60                                   | 32                                    | 0                                | 0                                 | 7                | 0                 | 605552                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 61                              | 90                               | 39                                   | 10                                    | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 451212                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 71                              | 97                               | 29                                   | 3                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 376595                       |
| 0,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 73                              | 98                               | 27                                   | 2                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 350742                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 9,7    | 13                              | 23                               | 63                                   | 76                                    | 24                               | 1                                 | 61               | 56                | 5876375                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 5,2    | 15                              | 28                               | 74                                   | 72                                    | 11                               | 0                                 | 62               | 42                | 3313717                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,9    | 20                              | 34                               | 79                                   | 66                                    | 1                                | 0                                 | 45               | 20                | 1967367                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,8    | 24                              | 42                               | 76                                   | 58                                    | 0                                | 0                                 | 23               | 2                 | 1254817                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 30                              | 54                               | 70                                   | 46                                    | 0                                | 0                                 | 14               | 0                 | 862564                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 36                              | 65                               | 64                                   | 35                                    | 0                                | 0                                 | 9                | 0                 | 645450                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 55                              | 83                               | 45                                   | 17                                    | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 481640                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 69                              | 96                               | 31                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 392171                       |
| 1,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 69                              | 96                               | 31                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 375779                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 14,5   | 12                              | 19                               | 50                                   | 69                                    | 39                               | 12                                | 58               | 66                | 8455068                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,6    | 14                              | 25                               | 73                                   | 75                                    | 13                               | 0                                 | 65               | 50                | 4221479                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 18                              | 32                               | 79                                   | 68                                    | 3                                | 0                                 | 52               | 28                | 2312028                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 40                               | 76                                   | 60                                    | 0                                | 0                                 | 28               | 5                 | 1407792                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 29                              | 52                               | 71                                   | 48                                    | 0                                | 0                                 | 15               | 0                 | 920797                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 37                              | 66                               | 63                                   | 34                                    | 0                                | 0                                 | 9                | 0                 | 649946                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 55                              | 83                               | 45                                   | 17                                    | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 479943                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 69                              | 96                               | 31                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 389217                       |
| 2,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 69                              | 96                               | 31                                   | 5                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 379272                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,7   | 12                              | 18                               | 49                                   | 68                                    | 40                               | 14                                | 59               | 68                | 9358474                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 6,9    | 14                              | 25                               | 73                                   | 75                                    | 13                               | 0                                 | 63               | 51                | 4435469                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,5    | 19                              | 33                               | 78                                   | 67                                    | 4                                | 0                                 | 51               | 27                | 2345510                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 41                               | 76                                   | 59                                    | 0                                | 0                                 | 28               | 5                 | 1411508                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 30                              | 55                               | 70                                   | 45                                    | 0                                | 0                                 | 15               | 0                 | 904318                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 38                              | 67                               | 62                                   | 33                                    | 0                                | 0                                 | 8                | 0                 | 655915                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 54                              | 82                               | 46                                   | 18                                    | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 484821                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 70                              | 96                               | 30                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 379246                       |
| 3,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 70                              | 96                               | 30                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 372983                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 12,5   | 12                              | 20                               | 58                                   | 72                                    | 29                               | 7                                 | 61               | 62                | 7705221                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,7    | 15                              | 27                               | 78                                   | 73                                    | 8                                | 0                                 | 59               | 40                | 3730943                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,1    | 20                              | 35                               | 78                                   | 65                                    | 2                                | 0                                 | 46               | 21                | 2156441                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,9    | 25                              | 44                               | 75                                   | 56                                    | 0                                | 0                                 | 23               | 3                 | 1313925                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 32                              | 58                               | 68                                   | 42                                    | 0                                | 0                                 | 13               | 0                 | 880571                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 42                              | 71                               | 58                                   | 29                                    | 0                                | 0                                 | 7                | 0                 | 629757                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 57                              | 85                               | 43                                   | 15                                    | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 461286                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 67                              | 94                               | 33                                   | 6                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 388272                       |
| 4,5   | 8,5   | 0,72  | 0,5    | 70                              | 96                               | 30                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 362832                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 3,1    | 23                              | 39                               | 77                                   | 61                                    | 0                                | 0                                 | 30               | 7                 | 2467632                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 3,6    | 19                              | 34                               | 79                                   | 66                                    | 2                                | 0                                 | 44               | 19                | 2476752                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 23                              | 39                               | 76                                   | 61                                    | 1                                | 0                                 | 35               | 12                | 1769789                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 28                              | 50                               | 72                                   | 50                                    | 0                                | 0                                 | 18               | 1                 | 1164530                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 34                              | 61                               | 66                                   | 39                                    | 0                                | 0                                 | 12               | 0                 | 846560                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 45                              | 74                               | 55                                   | 26                                    | 0                                | 0                                 | 6                | 0                 | 596716                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 60                              | 87                               | 40                                   | 13                                    | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 450082                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 69                              | 95                               | 31                                   | 5                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 367365                       |
| 5,5   | 8,5   | 0,72  | 0,4    | 76                              | 99                               | 24                                   | 1                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 320569                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Nordvendt alternativ med 51 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>1-100</sub> [%] (active) | UDI <sub>1-100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>2-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>2-2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,6    | 51                                | 100                                | 49                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 503221                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,2    | 33                                | 97                                 | 67                                   | 3                                     | 0                                  | 0                                   | 6                | 0                 | 952843                       |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 32                                | 97                                 | 68                                   | 3                                     | 0                                  | 0                                   | 7                | 0                 | 934331                       |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 0,9    | 35                                | 100                                | 65                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 1                | 0                 | 782549                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 39                                | 100                                | 61                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 644197                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 44                                | 100                                | 56                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 528950                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 46                                | 100                                | 54                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 492179                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 41                                | 100                                | 59                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 562631                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 4,5    | 17                                | 40                                 | 83                                   | 60                                    | 0                                  | 0                                   | 59               | 0                 | 2475518                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 2,7    | 22                                | 51                                 | 78                                   | 49                                    | 0                                  | 0                                   | 48               | 0                 | 1833145                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 27                                | 77                                 | 73                                   | 23                                    | 0                                  | 0                                   | 28               | 0                 | 1240738                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,1    | 32                                | 97                                 | 68                                   | 3                                     | 0                                  | 0                                   | 8                | 0                 | 886791                       |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 37                                | 100                                | 63                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 691202                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 43                                | 100                                | 57                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 566447                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 44                                | 100                                | 56                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 517324                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 43                                | 100                                | 57                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 538047                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 8,0    | 13                                | 28                                 | 80                                   | 72                                    | 7                                  | 0                                   | 73               | 13                | 4320739                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,3    | 17                                | 37                                 | 83                                   | 63                                    | 0                                  | 0                                   | 61               | 0                 | 2655724                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 23                                | 54                                 | 77                                   | 46                                    | 0                                  | 0                                   | 45               | 0                 | 1610711                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 28                                | 86                                 | 72                                   | 14                                    | 0                                  | 0                                   | 22               | 0                 | 1085065                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 34                                | 100                                | 66                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 1                | 0                 | 776560                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 40                                | 100                                | 60                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 617444                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 43                                | 100                                | 57                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 549640                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,8    | 37                                | 100                                | 63                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 654579                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,0   | 13                                | 24                                 | 70                                   | 76                                    | 17                                 | 0                                   | 78               | 25                | 5253896                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,9    | 16                                | 34                                 | 84                                   | 66                                    | 0                                  | 0                                   | 65               | 1                 | 2954018                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                                | 49                                 | 78                                   | 51                                    | 0                                  | 0                                   | 49               | 0                 | 1781576                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 28                                | 81                                 | 72                                   | 19                                    | 0                                  | 0                                   | 25               | 0                 | 1135888                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 33                                | 99                                 | 67                                   | 1                                     | 0                                  | 0                                   | 4                | 0                 | 801498                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 38                                | 100                                | 62                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 652261                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 42                                | 100                                | 58                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 559932                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 39                                | 100                                | 61                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 608433                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 10,6   | 13                                | 23                                 | 64                                   | 77                                    | 23                                 | 0                                   | 79               | 29                | 5514705                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,0    | 16                                | 34                                 | 84                                   | 66                                    | 0                                  | 0                                   | 65               | 1                 | 2995131                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                                | 49                                 | 78                                   | 51                                    | 0                                  | 0                                   | 50               | 0                 | 1765746                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 28                                | 80                                 | 72                                   | 20                                    | 0                                  | 0                                   | 25               | 0                 | 1131533                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 33                                | 99                                 | 67                                   | 1                                     | 0                                  | 0                                   | 4                | 0                 | 795435                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 38                                | 100                                | 62                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 625529                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 42                                | 100                                | 58                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 558042                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 37                                | 100                                | 63                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 644477                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 10,6   | 13                                | 25                                 | 71                                   | 75                                    | 16                                 | 0                                   | 77               | 23                | 4863042                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 5,0    | 17                                | 36                                 | 83                                   | 64                                    | 0                                  | 0                                   | 62               | 0                 | 2591004                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 23                                | 54                                 | 77                                   | 46                                    | 0                                  | 0                                   | 44               | 0                 | 1556663                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 29                                | 85                                 | 71                                   | 15                                    | 0                                  | 0                                   | 21               | 0                 | 1053645                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 35                                | 100                                | 65                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 714902                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 39                                | 100                                | 61                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 615533                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 43                                | 100                                | 57                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 518837                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 40                                | 100                                | 60                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 586211                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 3,7    | 19                                | 43                                 | 81                                   | 57                                    | 0                                  | 0                                   | 54               | 0                 | 2066931                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 2,8    | 22                                | 49                                 | 78                                   | 51                                    | 0                                  | 0                                   | 48               | 0                 | 1740167                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 26                                | 71                                 | 74                                   | 29                                    | 0                                  | 0                                   | 30               | 0                 | 1221634                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 32                                | 97                                 | 68                                   | 3                                     | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 877985                       |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 36                                | 100                                | 64                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 683487                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 42                                | 100                                | 58                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 560926                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 44                                | 100                                | 56                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 501928                       |
| 6,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 42                                | 100                                | 58                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 541954                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 0,7    | 44                                | 100                                | 56                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 569506                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 1,3    | 31                                | 89                                 | 69                                   | 11                                    | 0                                  | 0                                   | 12               | 0                 | 962445                       |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 31                                | 94                                 | 69                                   | 6                                     | 0                                  | 0                                   | 11               | 0                 | 915585                       |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 34                                | 100                                | 66                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 1                | 0                 | 759112                       |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 0,7    | 40                                | 100                                | 60                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 603022                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 43                                | 100                                | 57                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 524975                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 47                                | 100                                | 53                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 455242                       |
| 7,5   | 7,5   | 0,72  | 0,5    | 45                                | 100                                | 55                                   | 0                                     | 0                                  | 0                                   | 0                | 0                 | 483820                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Østvendt alternativ med 51 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,6    | 60                             | 100                             | 40                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 430322                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,2    | 38                             | 84                              | 62                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 12               | 0                 | 815585                       |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,1    | 39                             | 86                              | 61                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 780624                       |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 41                             | 91                              | 59                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 714903                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,7    | 51                             | 98                              | 49                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 601017                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 55                             | 99                              | 45                                  | 1                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 511068                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 59                             | 100                             | 41                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 454943                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 57                             | 100                             | 43                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 467622                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 4,7    | 17                             | 35                              | 83                                  | 65                                   | 0                               | 0                                | 53               | 2                 | 2443513                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 2,6    | 23                             | 47                              | 77                                  | 53                                   | 0                               | 0                                | 42               | 0                 | 1637901                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 28                             | 63                              | 72                                  | 37                                   | 0                               | 0                                | 29               | 0                 | 1189828                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 34                             | 79                              | 66                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 14               | 0                 | 878183                       |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 41                             | 91                              | 59                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 718921                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 50                             | 97                              | 50                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 566878                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 55                             | 98                              | 45                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 507709                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 49                             | 96                              | 51                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 557084                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 7,9    | 13                             | 26                              | 71                                  | 74                                   | 16                              | 0                                | 69               | 28                | 4508899                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,3    | 17                             | 34                              | 82                                  | 66                                   | 2                               | 0                                | 58               | 6                 | 2724758                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 23                             | 48                              | 77                                  | 52                                   | 0                               | 0                                | 40               | 0                 | 1615272                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 29                             | 66                              | 71                                  | 34                                   | 0                               | 0                                | 25               | 0                 | 1123641                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 37                             | 85                              | 63                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 797249                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 45                             | 93                              | 55                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 613903                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 52                             | 97                              | 48                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 538321                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 43                             | 91                              | 57                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 630342                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,0   | 13                             | 23                              | 62                                  | 77                                   | 25                              | 0                                | 71               | 39                | 5714213                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 5,0    | 16                             | 31                              | 80                                  | 69                                   | 5                               | 0                                | 63               | 12                | 3167298                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 23                             | 45                              | 77                                  | 55                                   | 0                               | 0                                | 45               | 1                 | 1833752                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 27                             | 61                              | 73                                  | 39                                   | 0                               | 0                                | 28               | 0                 | 1222000                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 35                             | 81                              | 65                                  | 19                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 834536                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 41                             | 89                              | 59                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 663295                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 49                             | 94                              | 51                                  | 6                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 547276                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 40                             | 88                              | 60                                  | 12                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 666463                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 10,7   | 13                             | 22                              | 58                                  | 78                                   | 30                              | 0                                | 68               | 43                | 6409720                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,1    | 16                             | 31                              | 77                                  | 69                                   | 7                               | 0                                | 65               | 14                | 3369337                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                             | 44                              | 77                                  | 56                                   | 1                               | 0                                | 46               | 2                 | 1914217                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 27                             | 60                              | 73                                  | 40                                   | 0                               | 0                                | 29               | 0                 | 1243462                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 33                             | 78                              | 67                                  | 22                                   | 0                               | 0                                | 11               | 0                 | 865283                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 41                             | 88                              | 59                                  | 12                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 654434                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 46                             | 92                              | 54                                  | 8                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 553513                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 41                             | 89                              | 59                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 636880                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 9,6    | 13                             | 23                              | 61                                  | 77                                   | 26                              | 0                                | 68               | 40                | 5997692                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 4,4    | 16                             | 32                              | 78                                  | 68                                   | 6                               | 0                                | 64               | 14                | 3090653                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 23                             | 45                              | 76                                  | 55                                   | 1                               | 0                                | 45               | 2                 | 1789612                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 28                             | 64                              | 72                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 25               | 0                 | 1127287                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 33                             | 78                              | 67                                  | 22                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 818996                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 41                             | 87                              | 59                                  | 13                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 638506                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 46                             | 90                              | 54                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 550470                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 36                             | 83                              | 64                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 683027                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 3,8    | 18                             | 34                              | 74                                  | 66                                   | 8                               | 0                                | 57               | 17                | 3090624                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 2,8    | 21                             | 39                              | 76                                  | 61                                   | 4                               | 0                                | 55               | 9                 | 2197450                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 25                             | 53                              | 74                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 35               | 0                 | 1410632                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 29                             | 68                              | 71                                  | 32                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 1008639                      |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 34                             | 80                              | 66                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 738486                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 41                             | 86                              | 59                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 603885                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 47                             | 91                              | 53                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 516064                       |
| 6,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 40                             | 85                              | 60                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 598725                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 0,7    | 52                             | 98                              | 48                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 664312                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 1,3    | 28                             | 60                              | 72                                  | 40                                   | 0                               | 0                                | 28               | 0                 | 1164569                      |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 29                             | 64                              | 71                                  | 36                                   | 0                               | 0                                | 24               | 0                 | 1057315                      |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 32                             | 75                              | 68                                  | 25                                   | 0                               | 0                                | 14               | 0                 | 837611                       |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 35                             | 80                              | 65                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 688766                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 41                             | 86                              | 59                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 571558                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 52                             | 94                              | 48                                  | 6                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 471768                       |
| 7,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 43                             | 87                              | 57                                  | 13                                   | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 550729                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler - En case studie

### Vestvendt alternativ med 51 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,6    | 55                             | 100                             | 45                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 444030                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,2    | 31                             | 75                              | 69                                  | 25                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1037012                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 30                             | 75                              | 70                                  | 25                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1042553                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 0,9    | 34                             | 84                              | 66                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 819105                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 40                             | 92                              | 60                                  | 8                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 683058                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 47                             | 98                              | 53                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 566707                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 51                             | 100                             | 49                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 503261                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 4,6    | 16                             | 34                              | 77                                  | 66                                   | 7                               | 0                                | 60               | 14                | 3095335                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 2,7    | 22                             | 43                              | 77                                  | 57                                   | 1                               | 0                                | 52               | 7                 | 2144891                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 26                             | 65                              | 74                                  | 35                                   | 0                               | 0                                | 32               | 0                 | 1377472                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 32                             | 79                              | 68                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 1005966                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 38                             | 91                              | 62                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 749547                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 45                             | 97                              | 55                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 619783                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 49                             | 100                             | 51                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 550182                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 8,0    | 13                             | 26                              | 68                                  | 74                                   | 18                              | 0                                | 65               | 33                | 5165053                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,1    | 17                             | 34                              | 80                                  | 66                                   | 4                               | 0                                | 62               | 13                | 3012430                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 23                             | 48                              | 77                                  | 52                                   | 0                               | 0                                | 44               | 2                 | 1854417                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 29                             | 74                              | 71                                  | 26                                   | 0                               | 0                                | 26               | 0                 | 1177243                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 36                             | 89                              | 64                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 841309                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 44                             | 97                              | 56                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 667810                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 49                             | 100                             | 51                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 561198                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,1   | 13                             | 23                              | 63                                  | 77                                   | 25                              | 0                                | 67               | 42                | 6128902                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,9    | 16                             | 31                              | 79                                  | 69                                   | 6                               | 0                                | 64               | 16                | 3448804                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 23                             | 46                              | 77                                  | 54                                   | 0                               | 0                                | 46               | 3                 | 1996165                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 29                             | 70                              | 71                                  | 30                                   | 0                               | 0                                | 28               | 0                 | 1278705                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 36                             | 89                              | 64                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 862781                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 44                             | 98                              | 56                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 667083                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,7    | 48                             | 100                             | 52                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 575147                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 10,6   | 13                             | 23                              | 61                                  | 77                                   | 26                              | 0                                | 68               | 42                | 6236781                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,1    | 16                             | 32                              | 80                                  | 68                                   | 5                               | 0                                | 63               | 14                | 3411184                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,7    | 23                             | 46                              | 77                                  | 54                                   | 0                               | 0                                | 45               | 1                 | 1983435                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 30                             | 74                              | 70                                  | 26                                   | 0                               | 0                                | 26               | 0                 | 1217562                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 37                             | 90                              | 63                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 864453                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 45                             | 98                              | 55                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 648594                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 543166                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 9,5    | 13                             | 24                              | 68                                  | 76                                   | 19                              | 0                                | 71               | 33                | 5269321                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 4,4    | 17                             | 35                              | 82                                  | 65                                   | 1                               | 0                                | 57               | 6                 | 2827412                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 25                             | 52                              | 75                                  | 48                                   | 0                               | 0                                | 39               | 0                 | 1675538                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 32                             | 80                              | 68                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1106696                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 40                             | 95                              | 60                                  | 5                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 801143                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 46                             | 100                             | 54                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 1                | 0                 | 620055                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 532643                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 3,8    | 21                             | 42                              | 79                                  | 58                                   | 0                               | 0                                | 47               | 0                 | 1941573                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 2,7    | 24                             | 50                              | 76                                  | 50                                   | 0                               | 0                                | 42               | 0                 | 1667032                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 29                             | 68                              | 71                                  | 32                                   | 0                               | 0                                | 29               | 0                 | 1234345                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 37                             | 91                              | 63                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 883286                       |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 43                             | 98                              | 57                                  | 2                                    | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 695654                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 48                             | 100                             | 52                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 568168                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 51                             | 100                             | 49                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 510480                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 0,7    | 52                             | 100                             | 48                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 472629                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 1,3    | 36                             | 88                              | 64                                  | 12                                   | 0                               | 0                                | 15               | 0                 | 847690                       |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 37                             | 90                              | 63                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 850333                       |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 41                             | 97                              | 59                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 725263                       |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 46                             | 100                             | 54                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 615894                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 50                             | 100                             | 50                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 523778                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 53                             | 100                             | 47                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 465230                       |

# Dagslys og energiforhold i kompakte skoler - En case studie

## Sørvendt alternativ med 51 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,6    | 73                             | 100                             | 27                                  | 0                                    | 0                               | 0                                | 0                | 0                 | 392776                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,2    | 39                             | 60                              | 61                                  | 40                                   | 0                               | 0                                | 12               | 0                 | 846117                       |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 35                             | 56                              | 65                                  | 44                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 846628                       |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 39                             | 61                              | 61                                  | 39                                   | 0                               | 0                                | 11               | 0                 | 720782                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 0,8    | 47                             | 74                              | 53                                  | 26                                   | 0                               | 0                                | 8                | 0                 | 598987                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 57                             | 86                              | 43                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 499135                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 67                             | 96                              | 33                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 421994                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 56                             | 84                              | 44                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 495057                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 4,5    | 17                             | 30                              | 74                                  | 70                                   | 9                               | 0                                | 49               | 28                | 2830063                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 2,6    | 22                             | 36                              | 76                                  | 64                                   | 2                               | 0                                | 37               | 12                | 1836547                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 26                             | 44                              | 74                                  | 56                                   | 1                               | 0                                | 23               | 1                 | 1270067                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 32                             | 53                              | 68                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 15               | 0                 | 859737                       |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 41                             | 66                              | 59                                  | 34                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 663394                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 55                             | 83                              | 45                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 522515                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 62                             | 91                              | 38                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 462086                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 55                             | 83                              | 45                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 519426                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 7,9    | 13                             | 24                              | 68                                  | 76                                   | 19                              | 0                                | 60               | 51                | 5154495                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 4,3    | 16                             | 29                              | 74                                  | 71                                   | 10                              | 0                                | 55               | 35                | 2927076                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 2,3    | 22                             | 38                              | 76                                  | 62                                   | 2                               | 0                                | 35               | 10                | 1690520                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 26                             | 47                              | 74                                  | 53                                   | 0                               | 0                                | 18               | 0                 | 1061433                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 34                             | 59                              | 66                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 739127                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 47                             | 75                              | 53                                  | 25                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 577179                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 58                             | 87                              | 42                                  | 13                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 493856                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 49                             | 78                              | 51                                  | 22                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 552552                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 10,1   | 13                             | 22                              | 63                                  | 76                                   | 25                              | 1                                | 58               | 58                | 6409662                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 4,8    | 16                             | 28                              | 73                                  | 72                                   | 11                              | 0                                | 58               | 40                | 3289206                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                             | 36                              | 76                                  | 64                                   | 2                               | 0                                | 39               | 14                | 1866017                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 26                             | 46                              | 74                                  | 54                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 1147402                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 34                             | 60                              | 66                                  | 40                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 753768                       |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 45                             | 73                              | 55                                  | 27                                   | 0                               | 0                                | 8                | 0                 | 597760                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 56                             | 85                              | 44                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 501865                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 40                             | 69                              | 60                                  | 31                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 614777                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 10,7   | 13                             | 22                              | 62                                  | 76                                   | 26                              | 2                                | 56               | 59                | 6920463                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 5,1    | 15                             | 28                              | 74                                  | 72                                   | 11                              | 0                                | 60               | 43                | 3491675                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 2,7    | 21                             | 36                              | 76                                  | 64                                   | 2                               | 0                                | 40               | 15                | 1925893                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 1,6    | 26                             | 47                              | 74                                  | 53                                   | 0                               | 0                                | 19               | 0                 | 1163322                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 34                             | 60                              | 66                                  | 40                                   | 0                               | 0                                | 14               | 0                 | 796343                       |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 0,8    | 45                             | 73                              | 55                                  | 27                                   | 0                               | 0                                | 8                | 0                 | 599576                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 55                             | 83                              | 45                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 506837                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 43                             | 72                              | 57                                  | 28                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 586967                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 9,5    | 13                             | 23                              | 67                                  | 77                                   | 20                              | 1                                | 58               | 56                | 6121266                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 4,4    | 16                             | 30                              | 76                                  | 70                                   | 7                               | 0                                | 54               | 35                | 3057920                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 2,4    | 23                             | 39                              | 76                                  | 61                                   | 2                               | 0                                | 35               | 10                | 1719282                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 29                             | 53                              | 71                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 17               | 0                 | 1030338                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,0    | 36                             | 63                              | 64                                  | 37                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 773421                       |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 49                             | 77                              | 51                                  | 23                                   | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 570400                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 56                             | 84                              | 44                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 493602                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 46                             | 75                              | 54                                  | 25                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 567533                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 3,8    | 19                             | 34                              | 77                                  | 66                                   | 4                               | 0                                | 42               | 19                | 2731318                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 2,8    | 22                             | 38                              | 76                                  | 62                                   | 2                               | 0                                | 40               | 16                | 2011682                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 27                             | 48                              | 72                                  | 52                                   | 1                               | 0                                | 22               | 2                 | 1319538                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,2    | 35                             | 61                              | 65                                  | 39                                   | 0                               | 0                                | 14               | 0                 | 893695                       |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 0,9    | 45                             | 73                              | 55                                  | 27                                   | 0                               | 0                                | 9                | 0                 | 659385                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 0,7    | 53                             | 81                              | 47                                  | 19                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 530772                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,6    | 60                             | 87                              | 40                                  | 13                                   | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 465665                       |
| 6,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 51                             | 79                              | 49                                  | 21                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 525458                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 0,7    | 67                             | 96                              | 33                                  | 4                                    | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 566023                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 1,3    | 40                             | 68                              | 60                                  | 32                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 1009260                      |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,2    | 39                             | 66                              | 61                                  | 34                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 957189                       |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,0    | 42                             | 70                              | 58                                  | 30                                   | 0                               | 0                                | 11               | 0                 | 763153                       |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 0,7    | 52                             | 80                              | 48                                  | 20                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 581792                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,6    | 58                             | 85                              | 42                                  | 15                                   | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 493976                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,5    | 64                             | 90                              | 36                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 439157                       |
| 7,5   | 7,5   | 0,72  | 0,6    | 50                             | 78                              | 50                                  | 22                                   | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 544189                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler - En case studie

### Nordvendt alternativ med 72 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>100</sub> [%] (active) | UDI <sub>100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 39                              | 100                              | 61                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 823668                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,9    | 25                              | 64                               | 75                                   | 36                                    | 0                                | 0                                 | 36               | 0                 | 1467550                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 26                              | 67                               | 74                                   | 33                                    | 0                                | 0                                 | 33               | 0                 | 1355433                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 29                              | 85                               | 71                                   | 15                                    | 0                                | 0                                 | 21               | 0                 | 1118425                      |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 32                              | 98                               | 68                                   | 2                                     | 0                                | 0                                 | 9                | 0                 | 884345                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 34                              | 100                              | 66                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 770901                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 38                              | 100                              | 62                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 652719                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,8    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 733201                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,7    | 14                              | 31                               | 84                                   | 69                                    | 2                                | 0                                 | 70               | 6                 | 3775451                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 4,0    | 18                              | 38                               | 82                                   | 62                                    | 0                                | 0                                 | 61               | 0                 | 2631884                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 22                              | 50                               | 78                                   | 50                                    | 0                                | 0                                 | 49               | 0                 | 1803973                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 26                              | 66                               | 74                                   | 34                                    | 0                                | 0                                 | 34               | 0                 | 1311016                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 31                              | 93                               | 69                                   | 7                                     | 0                                | 0                                 | 16               | 0                 | 971335                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 33                              | 99                               | 67                                   | 1                                     | 0                                | 0                                 | 6                | 0                 | 823656                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 724803                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 32                              | 99                               | 68                                   | 1                                     | 0                                | 0                                 | 6                | 0                 | 840618                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 12,0   | 12                              | 22                               | 56                                   | 78                                    | 32                               | 0                                 | 80               | 37                | 6367852                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,1    | 14                              | 30                               | 84                                   | 70                                    | 2                                | 0                                 | 71               | 6                 | 3758096                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                              | 40                               | 81                                   | 60                                    | 0                                | 0                                 | 58               | 0                 | 2316714                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,1    | 24                              | 56                               | 76                                   | 44                                    | 0                                | 0                                 | 43               | 0                 | 1530916                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 28                              | 83                               | 72                                   | 17                                    | 0                                | 0                                 | 23               | 0                 | 1084281                      |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 31                              | 96                               | 69                                   | 4                                     | 0                                | 0                                 | 11               | 0                 | 887073                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 34                              | 100                              | 66                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 2                | 0                 | 772460                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 31                              | 98                               | 69                                   | 2                                     | 0                                | 0                                 | 9                | 0                 | 860555                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,2   | 12                              | 19                               | 42                                   | 81                                    | 46                               | 0                                 | 78               | 50                | 7825449                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 7,1    | 14                              | 28                               | 80                                   | 72                                    | 6                                | 0                                 | 73               | 12                | 4245994                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,8    | 18                              | 38                               | 82                                   | 62                                    | 0                                | 0                                 | 60               | 0                 | 2536037                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 23                              | 52                               | 77                                   | 48                                    | 0                                | 0                                 | 46               | 0                 | 1621527                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,5    | 28                              | 77                               | 72                                   | 23                                    | 0                                | 0                                 | 26               | 0                 | 1138935                      |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 31                              | 95                               | 69                                   | 5                                     | 0                                | 0                                 | 13               | 0                 | 905330                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 34                              | 100                              | 66                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 5                | 0                 | 789817                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 1,1    | 30                              | 95                               | 70                                   | 5                                     | 0                                | 0                                 | 13               | 0                 | 902366                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 16,2   | 11                              | 18                               | 40                                   | 82                                    | 49                               | 0                                 | 75               | 52                | 8296908                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 7,4    | 14                              | 27                               | 78                                   | 73                                    | 8                                | 0                                 | 74               | 14                | 4334378                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,8    | 18                              | 38                               | 82                                   | 62                                    | 0                                | 0                                 | 60               | 0                 | 2483749                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 23                              | 52                               | 77                                   | 48                                    | 0                                | 0                                 | 46               | 0                 | 1613122                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,5    | 28                              | 79                               | 72                                   | 21                                    | 0                                | 0                                 | 25               | 0                 | 1118190                      |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 32                              | 97                               | 68                                   | 3                                     | 0                                | 0                                 | 10               | 0                 | 863968                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 1,0    | 34                              | 100                              | 66                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 779058                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 31                              | 95                               | 69                                   | 5                                     | 0                                | 0                                 | 12               | 0                 | 887952                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 14,3   | 12                              | 20                               | 44                                   | 80                                    | 44                               | 0                                 | 80               | 47                | 7218524                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 6,5    | 14                              | 29                               | 84                                   | 71                                    | 2                                | 0                                 | 72               | 8                 | 3779896                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 3,3    | 20                              | 41                               | 80                                   | 59                                    | 0                                | 0                                 | 57               | 0                 | 2216709                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 56                               | 76                                   | 44                                    | 0                                | 0                                 | 42               | 0                 | 1472372                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 28                              | 80                               | 72                                   | 20                                    | 0                                | 0                                 | 24               | 0                 | 1087978                      |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 32                              | 97                               | 68                                   | 3                                     | 0                                | 0                                 | 9                | 0                 | 865773                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 1                | 0                 | 723466                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 33                              | 100                              | 67                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 3                | 0                 | 785614                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 5,7    | 15                              | 32                               | 84                                   | 68                                    | 1                                | 0                                 | 66               | 2                 | 3193227                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 4,1    | 17                              | 37                               | 83                                   | 63                                    | 0                                | 0                                 | 61               | 0                 | 2562453                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                              | 48                               | 78                                   | 52                                    | 0                                | 0                                 | 50               | 0                 | 1772583                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 26                              | 63                               | 74                                   | 37                                    | 0                                | 0                                 | 35               | 0                 | 1290528                      |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 31                              | 92                               | 69                                   | 8                                     | 0                                | 0                                 | 16               | 0                 | 959917                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 33                              | 100                              | 67                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 5                | 0                 | 795811                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 36                              | 100                              | 64                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 705553                       |
| 6,5   | 7,5   | 0,72  | 0,8    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 722992                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 1,2    | 33                              | 95                               | 67                                   | 5                                     | 0                                | 0                                 | 9                | 0                 | 918080                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 2,0    | 24                              | 57                               | 76                                   | 43                                    | 0                                | 0                                 | 40               | 0                 | 1460777                      |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 25                              | 61                               | 75                                   | 39                                    | 0                                | 0                                 | 36               | 0                 | 1347471                      |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 28                              | 77                               | 72                                   | 23                                    | 0                                | 0                                 | 24               | 0                 | 1094298                      |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 32                              | 97                               | 68                                   | 3                                     | 0                                | 0                                 | 10               | 0                 | 872001                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 728358                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 37                              | 100                              | 63                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 645928                       |
| 7,5   | 7,5   | 0,72  | 0,8    | 35                              | 100                              | 65                                   | 0                                     | 0                                | 0                                 | 0                | 0                 | 697006                       |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler - En case studie

### Østvendt alternativ med 72 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI-100 [%]<br>(active) | UDI-100 [%]<br>(passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%]<br>(active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%]<br>(passive) | UDI-2000 [%]<br>(active) | UDI-2000 [%]<br>(passive) | DSP [%]<br>(active) | DSP [%]<br>(passive) | annual light exposure<br>[luxh] |
|-------|-------|-------|--------|-------------------------|--------------------------|---|--|--------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 48                      | 94                       | 52                                      | 6  | 0                        | 0                         | 8                   | 0                    | 655610                          |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,7    | 29                      | 61                       | 71                                      | 39                                       | 0                        | 0                         | 29                  | 0                    | 1125898                         |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 28                      | 56                       | 72                                      | 44                                       | 0                        | 0                         | 32                  | 0                    | 1200326                         |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 31                      | 66                       | 69                                      | 34                                       | 0                        | 0                         | 23                  | 0                    | 1000307                         |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 36                      | 80                       | 64                                      | 20                                       | 0                        | 0                         | 13                  | 0                    | 815343                          |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 42                      | 90                       | 58                                      | 10                                       | 0                        | 0                         | 5                   | 0                    | 689042                          |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 46                      | 94                       | 54                                      | 6  | 0                        | 0                         | 2                   | 0                    | 620549                          |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,8    | 41                      | 89                       | 59                                      | 11                                       | 0                        | 0                         | 3                   | 0                    | 680434                          |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 7,0    | 15                      | 29                       | 79                                      | 71                                       | 7                        | 0                         | 65                  | 15                   | 3514136                         |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 4,0    | 18                      | 35                       | 82                                      | 65                                       | 0                        | 0                         | 52                  | 1                    | 2368641                         |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 23                      | 45                       | 77                                      | 55                                       | 0                        | 0                         | 42                  | 0                    | 1682637                         |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 27                      | 56                       | 73                                      | 44                                       | 0                        | 0                         | 32                  | 0                    | 1222751                         |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 33                      | 74                       | 67                                      | 26                                       | 0                        | 0                         | 17                  | 0                    | 912590                          |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 36                      | 81                       | 64                                      | 19                                       | 0                        | 0                         | 11                  | 0                    | 789101                          |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 42                      | 90                       | 58                                      | 10                                       | 0                        | 0                         | 4                   | 0                    | 664942                          |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 40                      | 87                       | 60                                      | 13                                       | 0                        | 0                         | 4                   | 0                    | 694563                          |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 12,1   | 12                      | 21                       | 56                                      | 79                                       | 32                       | 0                         | 70                  | 46                   | 6529105                         |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,1    | 14                      | 28                       | 78                                      | 72                                       | 8                        | 0                         | 67                  | 18                   | 3660411                         |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                      | 37                       | 80                                      | 63                                       | 0                        | 0                         | 50                  | 1                    | 2238756                         |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,1    | 24                      | 49                       | 76                                      | 51                                       | 0                        | 0                         | 38                  | 0                    | 1506534                         |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 29                      | 64                       | 71                                      | 36                                       | 0                        | 0                         | 24                  | 0                    | 1075043                         |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 34                      | 77                       | 66                                      | 23                                       | 0                        | 0                         | 14                  | 0                    | 845821                          |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 39                      | 86                       | 61                                      | 14                                       | 0                        | 0                         | 6                   | 0                    | 711082                          |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 33                      | 77                       | 67                                      | 23                                       | 0                        | 0                         | 12                  | 0                    | 825684                          |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,1   | 12                      | 19                       | 48                                      | 78                                       | 40                       | 3                         | 62                  | 54                   | 8134887                         |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 7,2    | 14                      | 26                       | 70                                      | 74                                       | 16                       | 0                         | 72                  | 28                   | 4350922                         |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,8    | 18                      | 35                       | 82                                      | 65                                       | 0                        | 0                         | 56                  | 5                    | 2544746                         |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 24                      | 46                       | 76                                      | 54                                       | 0                        | 0                         | 41                  | 0                    | 1639180                         |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,5    | 28                      | 62                       | 72                                      | 38                                       | 0                        | 0                         | 26                  | 0                    | 1123912                         |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 33                      | 76                       | 67                                      | 24                                       | 0                        | 0                         | 15                  | 0                    | 855556                          |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 36                      | 82                       | 64                                      | 18                                       | 0                        | 0                         | 9                   | 0                    | 750648                          |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 33                      | 76                       | 67                                      | 24                                       | 0                        | 0                         | 13                  | 0                    | 847612                          |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 16,1   | 11                      | 18                       | 42                                      | 76                                       | 46                       | 6                         | 55                  | 59                   | 9209554                         |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 7,4    | 14                      | 25                       | 68                                      | 75                                       | 18                       | 0                         | 72                  | 31                   | 4671224                         |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,8    | 18                      | 34                       | 81                                      | 66                                       | 1                        | 0                         | 57                  | 7                    | 2568127                         |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 23                      | 45                       | 77                                      | 55                                       | 0                        | 0                         | 41                  | 0                    | 1672465                         |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,5    | 28                      | 61                       | 72                                      | 39                                       | 0                        | 0                         | 27                  | 0                    | 1147312                         |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 32                      | 73                       | 68                                      | 27                                       | 0                        | 0                         | 16                  | 0                    | 880031                          |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 35                      | 80                       | 65                                      | 20                                       | 0                        | 0                         | 9                   | 0                    | 762077                          |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 32                      | 75                       | 68                                      | 25                                       | 0                        | 0                         | 13                  | 0                    | 846931                          |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 14,5   | 12                      | 19                       | 45                                      | 76                                       | 43                       | 5                         | 58                  | 56                   | 8650493                         |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 6,3    | 14                      | 27                       | 72                                      | 73                                       | 14                       | 0                         | 71                  | 26                   | 4218675                         |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                      | 35                       | 80                                      | 65                                       | 1                        | 0                         | 57                  | 8                    | 2449473                         |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 24                      | 48                       | 76                                      | 52                                       | 0                        | 0                         | 39                  | 0                    | 1556342                         |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 28                      | 61                       | 72                                      | 39                                       | 0                        | 0                         | 26                  | 0                    | 1129314                         |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 32                      | 73                       | 68                                      | 27                                       | 0                        | 0                         | 15                  | 0                    | 877246                          |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 35                      | 80                       | 65                                      | 20                                       | 0                        | 0                         | 8                   | 0                    | 737378                          |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 31                      | 73                       | 69                                      | 27                                       | 0                        | 0                         | 14                  | 0                    | 865637                          |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 5,8    | 15                      | 28                       | 70                                      | 72                                       | 16                       | 0                         | 60                  | 28                   | 4611175                         |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 4,1    | 16                      | 32                       | 78                                      | 68                                       | 5                        | 0                         | 65                  | 17                   | 3026684                         |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                      | 40                       | 78                                      | 60                                       | 1                        | 0                         | 52                  | 6                    | 1980202                         |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 25                      | 51                       | 75                                      | 49                                       | 0                        | 0                         | 34                  | 0                    | 1380855                         |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 29                      | 66                       | 71                                      | 34                                       | 0                        | 0                         | 21                  | 0                    | 1011255                         |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 10,0   | 32                      | 75                       | 68                                      | 25                                       | 0                        | 0                         | 13                  | 0                    | 821024                          |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 34                      | 79                       | 66                                      | 21                                       | 0                        | 0                         | 8                   | 0                    | 731948                          |
| 6,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 33                      | 78                       | 67                                      | 22                                       | 0                        | 0                         | 8                   | 0                    | 751724                          |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 1,2    | 32                      | 67                       | 67                                      | 33                                       | 2                        | 0                         | 24                  | 0                    | 1140785                         |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 2,1    | 23                      | 43                       | 76                                      | 57                                       | 1                        | 0                         | 47                  | 3                    | 1731023                         |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 24                      | 47                       | 76                                      | 53                                       | 0                        | 0                         | 40                  | 1                    | 1505617                         |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 27                      | 56                       | 73                                      | 44                                       | 0                        | 0                         | 29                  | 0                    | 1201728                         |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 30                      | 69                       | 70                                      | 31                                       | 0                        | 0                         | 18                  | 0                    | 918706                          |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 33                      | 77                       | 67                                      | 23                                       | 0                        | 0                         | 10                  | 0                    | 763754                          |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 36                      | 81                       | 64                                      | 19                                       | 0                        | 0                         | 5                   | 0                    | 660041                          |
| 7,5   | 7,5   | 0,72  | 0,8    | 33                      | 78                       | 67                                      | 22                                       | 0                        | 0                         | 7                   | 0                    | 739516                          |

## Dagslys og energiforhold i kompakte skoler – En case studie

### Vestvendt alternativ med 72 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI<sub>100</sub> [%] (active) | UDI<sub>100</sub> [%] (passive) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI<sub>2000</sub> [%] (active) | UDI<sub>2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 42                             | 93                              | 58                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 11               | 0                 | 674534                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,9    | 24                             | 52                              | 76                                  | 48                                   | 0                               | 0                                | 40               | 3                 | 1546700                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,7    | 24                             | 54                              | 76                                  | 46                                   | 0                               | 0                                | 37               | 1                 | 1450785                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 28                             | 67                              | 72                                  | 33                                   | 0                               | 0                                | 28               | 0                 | 1168727                      |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 31                             | 77                              | 69                                  | 23                                   | 0                               | 0                                | 20               | 0                 | 963877                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 36                             | 86                              | 64                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 10               | 0                 | 784743                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 39                             | 91                              | 61                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 5                | 0                 | 695228                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,8    | 14                             | 28                              | 71                                  | 72                                   | 15                              | 0                                | 65               | 28                | 4524394                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 3,9    | 18                             | 34                              | 79                                  | 66                                   | 4                               | 0                                | 62               | 14                | 2867198                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 22                             | 44                              | 78                                  | 56                                   | 0                               | 0                                | 49               | 6                 | 1931176                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 26                             | 58                              | 74                                  | 42                                   | 0                               | 0                                | 34               | 0                 | 1386589                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,2    | 31                             | 77                              | 69                                  | 23                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1032452                      |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 35                             | 86                              | 65                                  | 14                                   | 0                               | 0                                | 12               | 0                 | 828707                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 38                             | 91                              | 62                                  | 9                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 726992                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 12,0   | 12                             | 22                              | 52                                  | 77                                   | 35                              | 1                                | 57               | 52                | 7477208                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,1    | 14                             | 28                              | 73                                  | 72                                   | 13                              | 0                                | 68               | 26                | 4283369                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                             | 37                              | 81                                  | 63                                   | 0                               | 0                                | 57               | 8                 | 2537564                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,1    | 24                             | 51                              | 76                                  | 49                                   | 0                               | 0                                | 40               | 1                 | 1648589                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 29                             | 71                              | 71                                  | 29                                   | 0                               | 0                                | 26               | 0                 | 1169447                      |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 34                             | 84                              | 66                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 15               | 0                 | 896996                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 37                             | 89                              | 63                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 9                | 0                 | 786860                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,1   | 11                             | 19                              | 44                                  | 79                                   | 45                              | 2                                | 55               | 58                | 8790194                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 7,1    | 14                             | 26                              | 71                                  | 74                                   | 15                              | 0                                | 70               | 30                | 4753923                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,8    | 18                             | 35                              | 82                                  | 65                                   | 0                               | 0                                | 57               | 9                 | 2734641                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 24                             | 49                              | 76                                  | 51                                   | 0                               | 0                                | 41               | 1                 | 1718212                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 30                             | 73                              | 70                                  | 27                                   | 0                               | 0                                | 25               | 0                 | 1144219                      |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 1,2    | 34                             | 83                              | 66                                  | 17                                   | 0                               | 0                                | 17               | 0                 | 935963                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 37                             | 90                              | 63                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 8                | 0                 | 785257                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 16,1   | 11                             | 18                              | 42                                  | 80                                   | 47                              | 2                                | 56               | 59                | 9033906                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 7,4    | 14                             | 26                              | 71                                  | 74                                   | 15                              | 0                                | 70               | 29                | 4765369                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,9    | 18                             | 36                              | 82                                  | 64                                   | 0                               | 0                                | 56               | 7                 | 2733789                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 24                             | 51                              | 76                                  | 49                                   | 0                               | 0                                | 39               | 0                 | 1646808                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,5    | 31                             | 72                              | 69                                  | 28                                   | 0                               | 0                                | 26               | 0                 | 1152233                      |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 35                             | 87                              | 65                                  | 13                                   | 0                               | 0                                | 14               | 0                 | 886799                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 40                             | 93                              | 60                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 7                | 0                 | 756154                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 14,3   | 12                             | 20                              | 50                                  | 80                                   | 39                              | 0                                | 64               | 53                | 7586982                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 6,4    | 14                             | 28                              | 77                                  | 72                                   | 9                               | 0                                | 66               | 18                | 3924175                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 3,3    | 20                             | 40                              | 80                                  | 60                                   | 0                               | 0                                | 50               | 2                 | 2294320                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 2,1    | 25                             | 53                              | 75                                  | 47                                   | 0                               | 0                                | 37               | 0                 | 1525221                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 32                             | 77                              | 68                                  | 23                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1076525                      |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 37                             | 90                              | 63                                  | 10                                   | 0                               | 0                                | 11               | 0                 | 823709                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 40                             | 95                              | 60                                  | 5                                    | 0                               | 0                                | 6                | 0                 | 748891                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 5,8    | 16                             | 33                              | 83                                  | 67                                   | 2                               | 0                                | 57               | 6                 | 2849026                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 4,0    | 18                             | 37                              | 82                                  | 63                                   | 0                               | 0                                | 51               | 2                 | 2361532                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 24                             | 48                              | 76                                  | 52                                   | 0                               | 0                                | 42               | 0                 | 1714700                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 29                             | 63                              | 71                                  | 37                                   | 0                               | 0                                | 31               | 0                 | 1247166                      |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 34                             | 84                              | 66                                  | 16                                   | 0                               | 0                                | 19               | 0                 | 954352                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 39                             | 93                              | 61                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 8                | 0                 | 784616                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 43                             | 97                              | 57                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 3                | 0                 | 692883                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 1,2    | 39                             | 93                              | 61                                  | 7                                    | 0                               | 0                                | 12               | 0                 | 747155                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 2,0    | 28                             | 59                              | 72                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 33               | 0                 | 1236252                      |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,9    | 28                             | 59                              | 72                                  | 41                                   | 0                               | 0                                | 33               | 0                 | 1240298                      |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 32                             | 76                              | 68                                  | 24                                   | 0                               | 0                                | 23               | 0                 | 1024315                      |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 36                             | 89                              | 64                                  | 11                                   | 0                               | 0                                | 13               | 0                 | 851726                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 42                             | 97                              | 58                                  | 3                                    | 0                               | 0                                | 4                | 0                 | 713300                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 45                             | 99                              | 55                                  | 1                                    | 0                               | 0                                | 2                | 0                 | 649057                       |

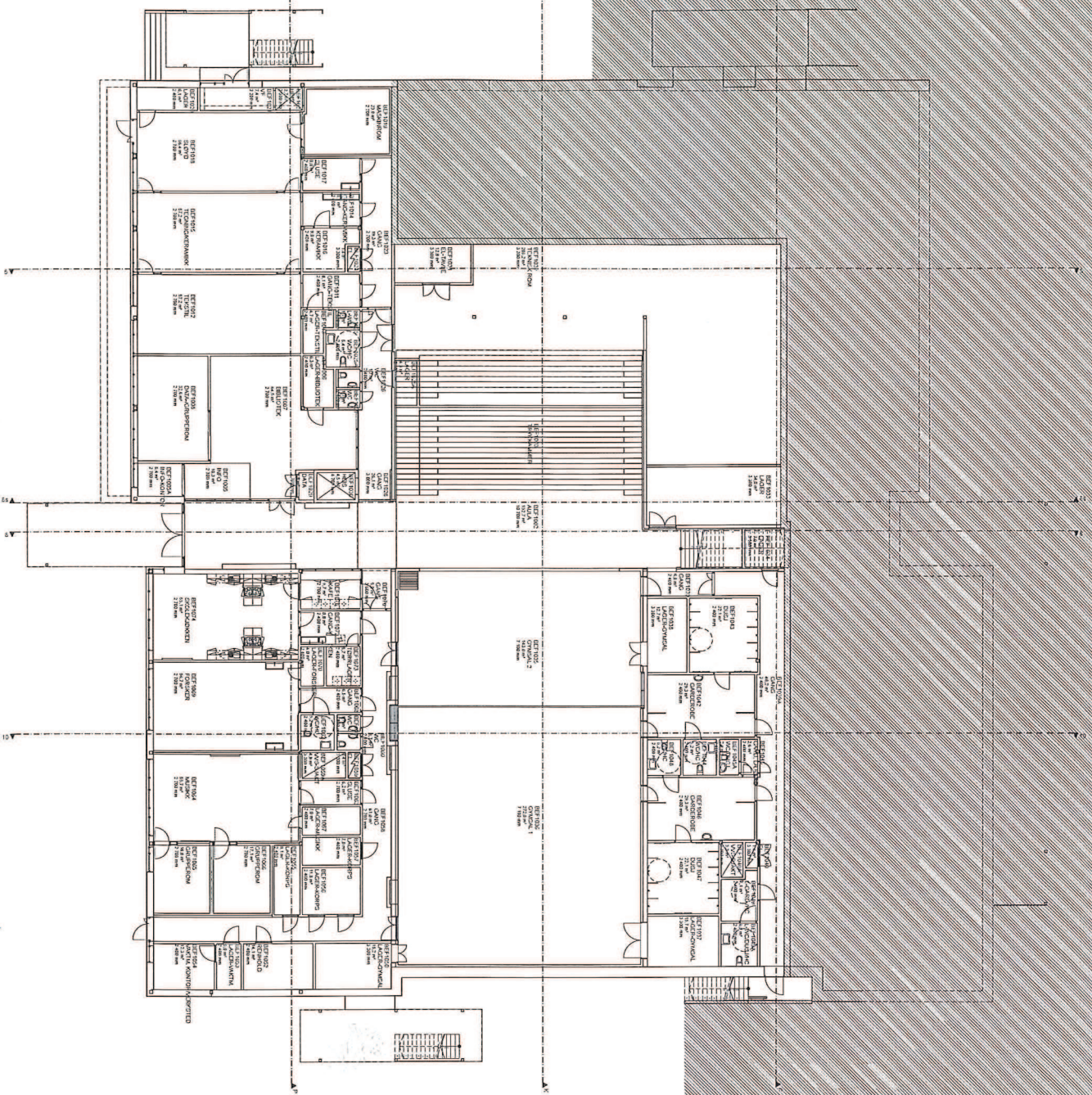


Sørvendt alternativ med 72 % lystransmisjon

| x (m) | y (m) | z (m) | DF [%] | UDI <sub>1-100</sub> [%] (active) | UDI <sub>1-100</sub> [%] (passive) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>100-2000</sub> [%] (passive) | UDI <sub>1-2000</sub> [%] (active) | UDI <sub>1-2000</sub> [%] (passive) | DSP [%] (active) | DSP [%] (passive) | annual light exposure [luxh] |
|-------|-------|-------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0,5   | 0,5   | 0,72  | 0,9    | 56                                | 83                                 | 44                                   | 17                                    | 0                                  | 0                                   | 5                | 0                 | 584664                       |
| 0,5   | 1,5   | 0,72  | 1,8    | 28                                | 45                                 | 72                                   | 55                                    | 0                                  | 0                                   | 18               | 1                 | 1211712                      |
| 0,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 26                                | 43                                 | 74                                   | 57                                    | 0                                  | 0                                   | 19               | 1                 | 1217384                      |
| 0,5   | 3,5   | 0,72  | 1,4    | 30                                | 50                                 | 70                                   | 50                                    | 0                                  | 0                                   | 14               | 0                 | 954750                       |
| 0,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 33                                | 53                                 | 67                                   | 47                                    | 0                                  | 0                                   | 13               | 0                 | 806556                       |
| 0,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                | 62                                 | 62                                   | 38                                    | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 657054                       |
| 0,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 43                                | 68                                 | 57                                   | 32                                    | 0                                  | 0                                   | 6                | 0                 | 587466                       |
| 0,5   | 7,5   | 0,72  | 0,7    | 42                                | 69                                 | 58                                   | 31                                    | 0                                  | 0                                   | 6                | 0                 | 573331                       |
| 1,5   | 0,5   | 0,72  | 6,9    | 14                                | 25                                 | 71                                   | 75                                    | 15                                 | 0                                   | 59               | 42                | 3995918                      |
| 1,5   | 1,5   | 0,72  | 4,0    | 17                                | 30                                 | 77                                   | 70                                    | 6                                  | 0                                   | 50               | 29                | 2551751                      |
| 1,5   | 2,5   | 0,72  | 2,6    | 22                                | 35                                 | 77                                   | 65                                    | 1                                  | 0                                   | 38               | 14                | 1726559                      |
| 1,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 25                                | 43                                 | 75                                   | 57                                    | 0                                  | 0                                   | 19               | 0                 | 1180780                      |
| 1,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 29                                | 49                                 | 71                                   | 51                                    | 0                                  | 0                                   | 15               | 0                 | 890895                       |
| 1,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 34                                | 57                                 | 66                                   | 43                                    | 0                                  | 0                                   | 10               | 0                 | 719834                       |
| 1,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 36                                | 61                                 | 64                                   | 39                                    | 0                                  | 0                                   | 8                | 0                 | 647499                       |
| 1,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 32                                | 57                                 | 68                                   | 43                                    | 0                                  | 0                                   | 10               | 0                 | 721100                       |
| 2,5   | 0,5   | 0,72  | 12,2   | 12                                | 21                                 | 59                                   | 74                                    | 29                                 | 5                                   | 58               | 62                | 7445901                      |
| 2,5   | 1,5   | 0,72  | 6,3    | 14                                | 26                                 | 71                                   | 74                                    | 15                                 | 0                                   | 64               | 47                | 3969863                      |
| 2,5   | 2,5   | 0,72  | 3,3    | 19                                | 32                                 | 78                                   | 68                                    | 3                                  | 0                                   | 50               | 26                | 2261570                      |
| 2,5   | 3,5   | 0,72  | 2,0    | 23                                | 40                                 | 77                                   | 60                                    | 0                                  | 0                                   | 27               | 5                 | 1397785                      |
| 2,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 27                                | 47                                 | 73                                   | 53                                    | 0                                  | 0                                   | 16               | 0                 | 984974                       |
| 2,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 32                                | 55                                 | 68                                   | 45                                    | 0                                  | 0                                   | 12               | 0                 | 768331                       |
| 2,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 35                                | 60                                 | 65                                   | 40                                    | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 667108                       |
| 2,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 31                                | 54                                 | 69                                   | 46                                    | 0                                  | 0                                   | 12               | 0                 | 766502                       |
| 3,5   | 0,5   | 0,72  | 15,2   | 12                                | 18                                 | 50                                   | 68                                    | 38                                 | 13                                  | 58               | 67                | 9017400                      |
| 3,5   | 1,5   | 0,72  | 7,2    | 14                                | 24                                 | 70                                   | 76                                    | 16                                 | 0                                   | 64               | 53                | 4529800                      |
| 3,5   | 2,5   | 0,72  | 3,8    | 17                                | 30                                 | 78                                   | 70                                    | 5                                  | 0                                   | 55               | 32                | 2539468                      |
| 3,5   | 3,5   | 0,72  | 2,3    | 22                                | 38                                 | 78                                   | 62                                    | 0                                  | 0                                   | 32               | 9                 | 1550206                      |
| 3,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 27                                | 48                                 | 73                                   | 52                                    | 0                                  | 0                                   | 16               | 0                 | 1009304                      |
| 3,5   | 5,5   | 0,72  | 1,2    | 31                                | 54                                 | 69                                   | 46                                    | 0                                  | 0                                   | 13               | 0                 | 822759                       |
| 3,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 34                                | 59                                 | 66                                   | 41                                    | 0                                  | 0                                   | 10               | 0                 | 684696                       |
| 3,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 31                                | 55                                 | 69                                   | 45                                    | 0                                  | 0                                   | 12               | 0                 | 771185                       |
| 4,5   | 0,5   | 0,72  | 16,1   | 11                                | 18                                 | 49                                   | 67                                    | 40                                 | 16                                  | 59               | 68                | 9788216                      |
| 4,5   | 1,5   | 0,72  | 7,4    | 14                                | 24                                 | 71                                   | 76                                    | 15                                 | 0                                   | 65               | 55                | 4698447                      |
| 4,5   | 2,5   | 0,72  | 3,9    | 17                                | 30                                 | 78                                   | 70                                    | 5                                  | 0                                   | 56               | 34                | 2624082                      |
| 4,5   | 3,5   | 0,72  | 2,2    | 22                                | 38                                 | 77                                   | 62                                    | 0                                  | 0                                   | 32               | 9                 | 1556096                      |
| 4,5   | 4,5   | 0,72  | 1,5    | 26                                | 47                                 | 74                                   | 53                                    | 0                                  | 0                                   | 17               | 0                 | 1080872                      |
| 4,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 32                                | 56                                 | 68                                   | 44                                    | 0                                  | 0                                   | 12               | 0                 | 800638                       |
| 4,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 37                                | 64                                 | 63                                   | 36                                    | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 661789                       |
| 4,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 33                                | 57                                 | 67                                   | 43                                    | 0                                  | 0                                   | 10               | 0                 | 737666                       |
| 5,5   | 0,5   | 0,72  | 14,3   | 12                                | 19                                 | 54                                   | 70                                    | 35                                 | 11                                  | 60               | 66                | 8600371                      |
| 5,5   | 1,5   | 0,72  | 6,5    | 14                                | 25                                 | 75                                   | 75                                    | 11                                 | 0                                   | 63               | 49                | 4203342                      |
| 5,5   | 2,5   | 0,72  | 3,4    | 19                                | 33                                 | 78                                   | 67                                    | 3                                  | 0                                   | 51               | 27                | 2321283                      |
| 5,5   | 3,5   | 0,72  | 2,1    | 23                                | 40                                 | 77                                   | 60                                    | 0                                  | 0                                   | 28               | 6                 | 1447533                      |
| 5,5   | 4,5   | 0,72  | 1,4    | 28                                | 50                                 | 72                                   | 50                                    | 0                                  | 0                                   | 15               | 0                 | 1000903                      |
| 5,5   | 5,5   | 0,72  | 1,1    | 35                                | 60                                 | 65                                   | 40                                    | 0                                  | 0                                   | 11               | 0                 | 768449                       |
| 5,5   | 6,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                | 64                                 | 62                                   | 36                                    | 0                                  | 0                                   | 8                | 0                 | 665682                       |
| 5,5   | 7,5   | 0,72  | 1,0    | 34                                | 59                                 | 66                                   | 41                                    | 0                                  | 0                                   | 11               | 0                 | 761365                       |
| 6,5   | 0,5   | 0,72  | 6,0    | 15                                | 29                                 | 78                                   | 71                                    | 7                                  | 0                                   | 52               | 32                | 4021691                      |
| 6,5   | 1,5   | 0,72  | 4,1    | 17                                | 31                                 | 78                                   | 69                                    | 5                                  | 0                                   | 50               | 29                | 2800566                      |
| 6,5   | 2,5   | 0,72  | 2,5    | 22                                | 38                                 | 76                                   | 62                                    | 1                                  | 0                                   | 38               | 15                | 1784514                      |
| 6,5   | 3,5   | 0,72  | 1,7    | 26                                | 45                                 | 74                                   | 55                                    | 0                                  | 0                                   | 20               | 2                 | 1231957                      |
| 6,5   | 4,5   | 0,72  | 1,3    | 31                                | 56                                 | 69                                   | 44                                    | 0                                  | 0                                   | 13               | 0                 | 899748                       |
| 6,5   | 5,5   | 0,72  | 1,0    | 37                                | 63                                 | 63                                   | 37                                    | 0                                  | 0                                   | 10               | 0                 | 729783                       |
| 6,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 43                                | 70                                 | 57                                   | 30                                    | 0                                  | 0                                   | 7                | 0                 | 624940                       |
| 6,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 37                                | 63                                 | 63                                   | 37                                    | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 701164                       |
| 7,5   | 0,5   | 0,72  | 1,2    | 48                                | 74                                 | 52                                   | 26                                    | 0                                  | 0                                   | 9                | 0                 | 907535                       |
| 7,5   | 1,5   | 0,72  | 2,1    | 26                                | 45                                 | 74                                   | 55                                    | 0                                  | 0                                   | 25               | 6                 | 1497432                      |
| 7,5   | 2,5   | 0,72  | 1,8    | 27                                | 47                                 | 72                                   | 53                                    | 1                                  | 0                                   | 20               | 3                 | 1310892                      |
| 7,5   | 3,5   | 0,72  | 1,5    | 30                                | 52                                 | 70                                   | 48                                    | 0                                  | 0                                   | 15               | 0                 | 1074072                      |
| 7,5   | 4,5   | 0,72  | 1,1    | 36                                | 62                                 | 64                                   | 38                                    | 0                                  | 0                                   | 11               | 0                 | 808397                       |
| 7,5   | 5,5   | 0,72  | 0,9    | 43                                | 69                                 | 57                                   | 31                                    | 0                                  | 0                                   | 8                | 0                 | 663993                       |
| 7,5   | 6,5   | 0,72  | 0,8    | 46                                | 73                                 | 54                                   | 27                                    | 0                                  | 0                                   | 5                | 0                 | 591494                       |
| 7,5   | 7,5   | 0,72  | 0,9    | 38                                | 64                                 | 62                                   | 36                                    | 0                                  | 0                                   | 8                | 0                 | 705201                       |

8.2 Plantegninger for alternativ løsning og referanseprosjekt





SANDEFJORD KOMMUNE

**HAUKERØD SKOLE  
FORPROSJEKT**



**L2** L2 ARKITEKTER AS  
FRØGNERVEIEN 22, 0263 OSLO  
TLF: 22129950, FAX: 22129951, post@l2.no

THEM: PLAN 1. ETASJE



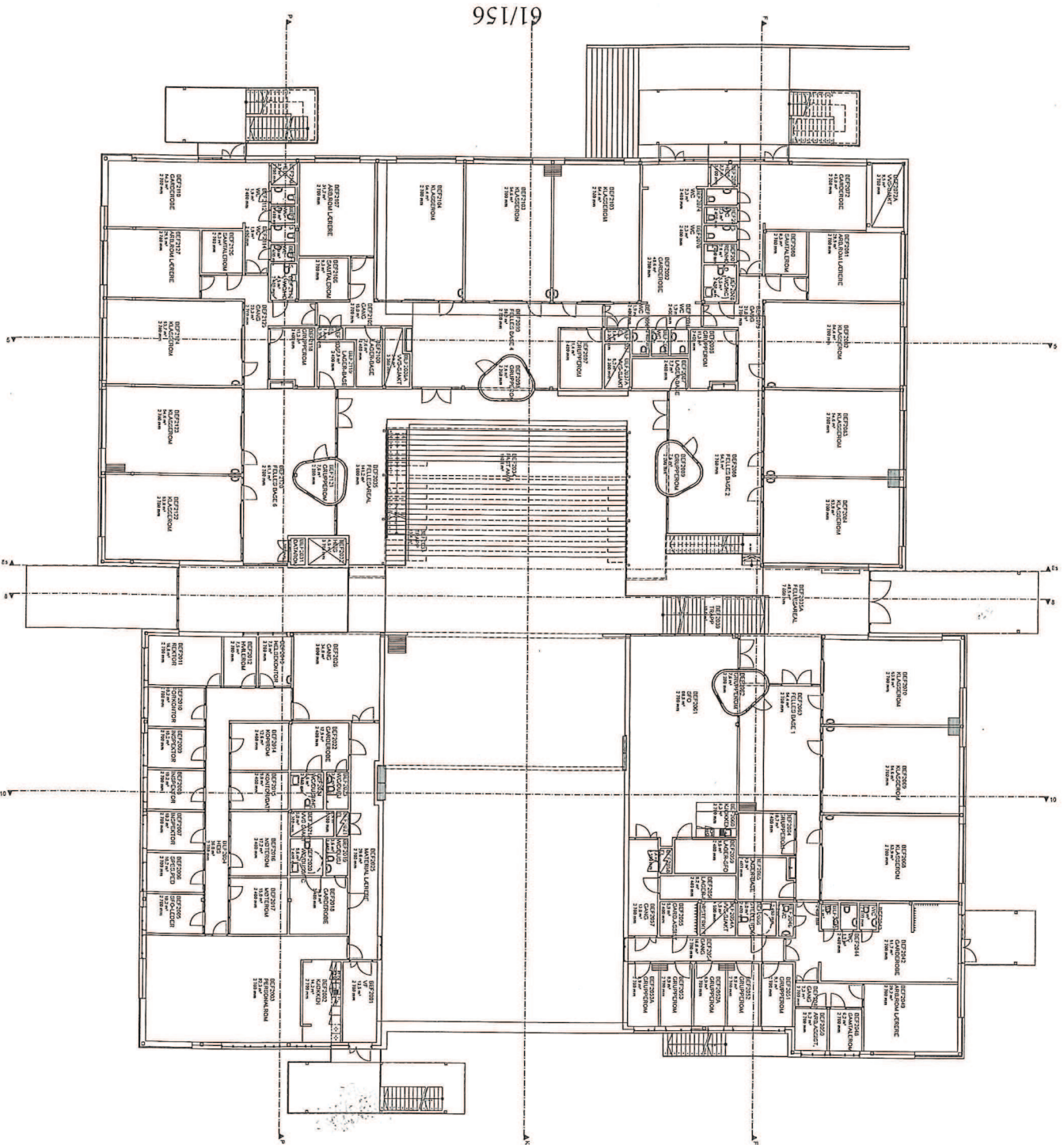
DATE: 08.04.2011

MAKS. 1:200 (A2)  
1:400 (A4)

TIDENGSNUMMER:  
A 20 01 001

REV: D1





61/156



SANDEFJORD KOMMUNE

# HAUKERØD SKOLE FORPROSJEKT



**L2** ARKITEKTER AS  
FRØGNERVEIEN 22, 0263 OSLO  
Tlf: 22129950, Fax: 22129951, post@l2.no

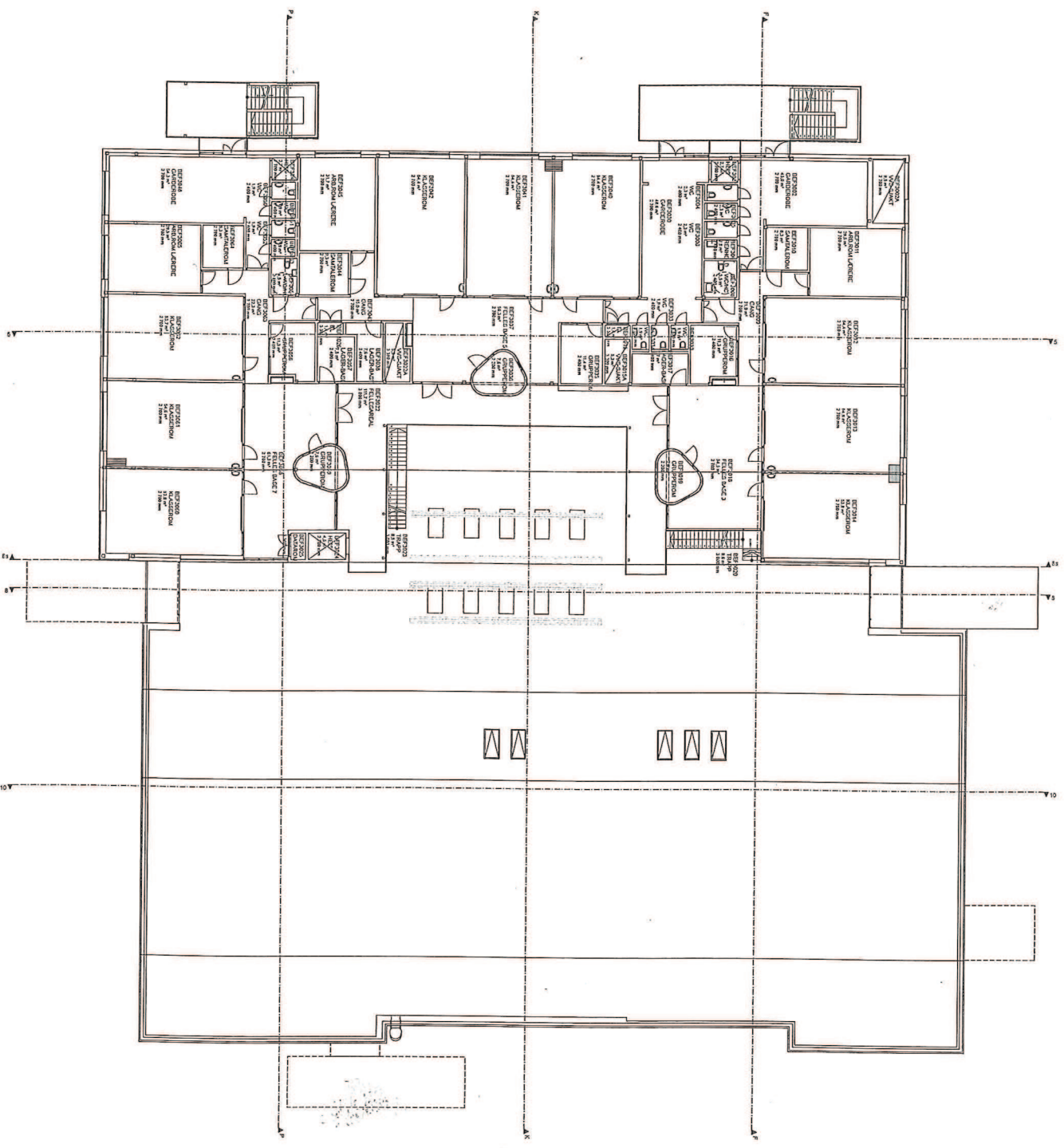


PLAN 2: ETASJE

TEKNOLOGISNUMMER  
A 20 02 001

REV:  
D1

Dato: 08.04.2011  
Målestokk: 1:200 (A2)  
1:400 (A4)



**SANDEFJORD KOMMUNE**  
**HAUKERØD SKOLE**  
**FORPROSJEKT**

**L2** ARKITEKTER AS  
 FROGNERNVEIEN 22, 0263 OSLO  
 TLF: 22129950, FAX: 22129951, post@l2.no

Titel: **PLAN 3. ETASJE**



Dato: 08.04.2011  
 Skala: 1:200 (A2)  
 1:400 (A4)

Teknikknummer: **A 20 03 001**

Rev: **D1**



**SONEINDELING I SIMIEN:**

- Oppholdsarealer
- Korridorer og aula
- Lager og garderobes
- WC og dusjer

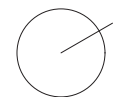


1:400



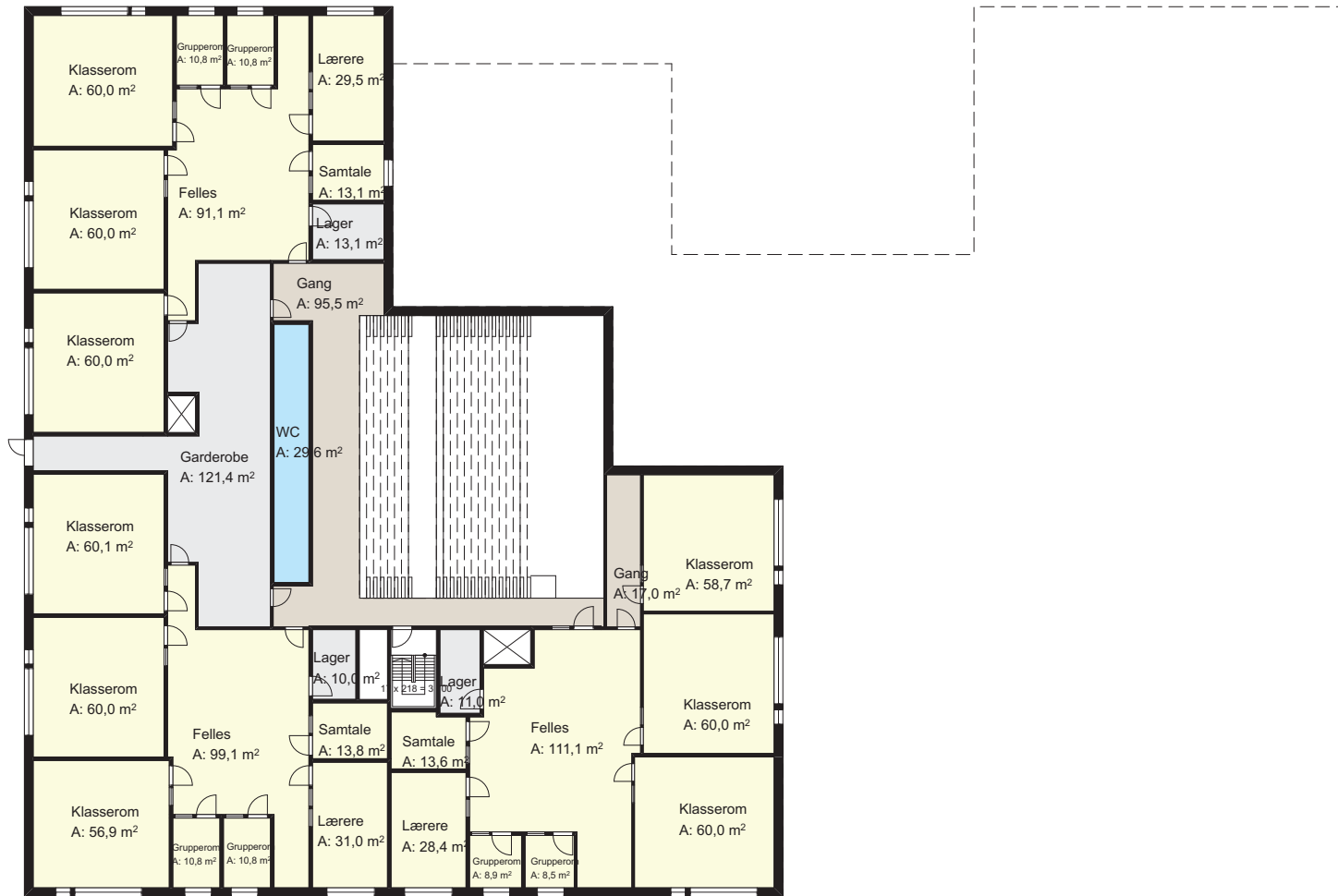
**SONEINDELING I SIMIEN:**

- Oppholdsarealer
- Korridorer og aula
- Lager og garderober
- WC og dusjer



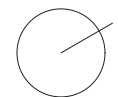
1:400





**SONEINDELING I  
SIMIEN:**

-  Oppholdsarealer
-  Korridorer og aula
-  Lager og garderober
-  WC og dusjer



1:400







Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)