



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017

30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Analyse av forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon i en BIPV-fasade – en case-studie med OsloSolar

Analysis of the relationship between daylight, heat loss and energy production in a BIPV-façade
- a case study with OsloSolar

Johanne Thurmann-Moe
Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne oppgaven markerer avslutningen på det femårige masterstudiet i byggeteknikk og arkitektur ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet ved fakultet for realfag og teknologi (Realtek) høsten 2017 av Johanne Thurmann-Moe.

Jeg har lenge hatt en interesse for bygningsintegrerte solceller, og ønsket å skrive en oppgave relatert til denne tematikken. Det ble derfor tidlig i prosessen tatt kontakt med den rådgivende ingeniørbedriften, Rambøll, og raskt inngått et samarbeid da denne interessen var delt. Jeg ønsker å rette en takk til Rambøll og avdelingen for «VVS, energi- og miljø i bygg», som har tatt meg imot med åpne armer. Takk for lån av utstyr og tilgang på standarder og lignende. En spesielt stor takk til Magnus Killingland (Rambøll) som introduserte meg til OsloSolar som case, og har fungert som ekstern veileder gjennom hele prosessen.

Jeg har generelt opplevd stor velvillighet og hjelpsomhet fra alle jeg har vært i kontakt med i løpet av arbeidsprosessen, noe som har gjort oppgaven både enklere og mer inspirerende å gjennomføre.

Takk til hovedveileder Leif Daniel Houck (NMBU) for gode råd, tilbakemeldinger og konstruktiv kritikk på veien.

Takk til medstudenter for inspirasjon og samarbeid gjennom hele studiet. Takk til Elias for arbeidsselskap sene kvelder. Takk til Marie, Ingeborg og mamma for korrekturlesing, og takk til Tobias for å lure meg med på ferie fra arbeidet med oppgaven da det var det jeg trengte mest.

Ås, desember 2017

Johanne Thurmann-Moe

Sammendrag

I en verden som står overfor store klimautfordringer, og med en byggenæring som er ansvarlig for 40 % av energibruken i Europa, har EU vedtatt tiltak for å fremme bærekraft og fornybar energi. For byggenæringen medfører dette krav om «nesten nullenergibygg»-nivå for nye offentlige bygg fra 2018, og for alle nye bygg fra 2020. Fremveksten av slike bærekraftige bygg har ført til en etterspørsel etter innovative, optimale løsninger som gjør det mulig for bygget å produsere (nesten) like mye, eller mer energi enn det bruker. De nye byggene må møte alle tekniske krav, samt ta hensyn til verdien av gode dagslysforhold.

Gjennom caset «OsloSolar», belyser oppgaven en metode for å optimalisere fasaden til det som trolig kommer til å bli verdens største plusshus. Forskningsspørsmålet som undersøkes er: *Hva er det optimale forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon for fasaden i caset «OsloSolar»?*

Den vitenskapelige metoden som er anvendt er en kombinasjon av en litteraturstudie, gjennomføring av simuleringer samt intervjuer, møter og samtaler med ulike aktører i bransjen. Undersøkelsen er gjort på grunnlag av egenprodusert empiri. Resultater fra 42 ulike simuleringer av dagslys i «DIVA for Rhino», og 21 ulike simuleringer av energiproduksjon i «Skelion» er satt opp mot hverandre. Det er også beregnet varmetap for de ulike fasadesammensetningene. Med kunnskap opparbeidet gjennom litteraturstudiet og resultatene fra simuleringene, vurderes den optimale fasaden for OsloSolar til å være en fasade med 50% glass og 50% vegg (solcellemodulareal). Ytterveggelementene vil ved bruk av høyeffektiv isolasjon ha en tykkelse på 400mm og en U-verdi = 0,07. Vinduselementene vil være en kombinasjon av «redirecting glass» (for eksempel aerogelglass) og elektrokromatiske glass med U-verdier på henholdsvis 0,3 og 0,7. Fasadesammensetningen oppfyller alle prosjektspesifikke og tekniske krav.

Per i dag brukes stort sett forskjellige dataprogrammer for å simulere ulike egenskaper for bygget, som kan gjøre det vanskelig å veie parameterne opp mot hverandre. På sikt bør byggenæringen ta i bruk algoritmebaserte optimaliseringsprogrammer, som vil gjøre prosessen lettere, og resultatene mer nøyaktige.

Abstract

In a world facing big challenges due to climate change, and with the construction industry contributing with 40% to the European energy consumption, the EU has adopted restrictive measures in order to promote sustainability and renewable energy. For the building sector, this means that from 2018, all new public buildings must meet the requirements of a «nearly zero energy building», and the same will be required of all new buildings from 2020. The growth of sustainable buildings has led to a demand for innovative, optimal solutions, where buildings can produce (nearly) as much, or more energy than its energy demand. The new buildings must meet the technical requirements, and should take the value of good daylight conditions into account.

Through the case «OsloSolar», the thesis highlights one way to optimize the façade of what will probably be the world's largest energy-plus-house. The research question investigated is: *What is the optimal relationship between daylight, heat loss and energy production for the façade in the case «OsloSolar»?*

The scientific method applied is a combination of a literature study, implementation of simulations, as well as interviews, meetings and conversations with people in the industry. The investigation is based on own-produced empiricism. Results from 42 simulations of daylight in «DIVA for Rhino», and 21 simulations of energy production in «Skelion» are compared. It is also calculated heat loss for the various façade compositions. With knowledge gained through the literature study and the results from the simulations, a façade with 50% glass and 50% wall (area for solar cells), is considered the optimal solution. By using high-efficient insulation, the wall elements will have a thickness of 400mm and a U-value = 0.07. The window elements will be made of «redirecting glass» (aerogel glass) and electrochromic glass with U-values of 0.3 and 0.7, respectively. The chosen façade composition meets all technical and project specific requirements.

Currently, several types of computer software are used to simulate different properties of a building, which can make it difficult to evaluate the parameters up against each other. In the future, the construction industry should use algorithm-based optimization software, which will simplify the process and make the results more precise.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	iv
Innholdsfortegnelse.....	v
Begreper/ Definisjoner.....	vii
Akronymer og forkortelser.....	xiii
1. Innledning.....	1
1.1 Problemstilling/Forskningsspørsmål.....	4
1.2 Oppgavens begrensning.....	5
1.3 Oppgavens oppbygning.....	7
2. Metode.....	9
2.1 Litteraturstudie.....	11
2.2 Intervju/samtaler og workshop.....	11
2.3 Gjennomføring av simuleringer.....	13
2.3.1 «Rhino».....	13
2.3.1.1 Modellering i «Rhino».....	14
2.3.2 «SketchUp».....	17
2.3.3 Solcellesimulering i «Skelion».....	17
2.3.3.1 PVWatts og PVGIS.....	18
2.3.4 Dagslyssimulering i «DIVA».....	19
2.3.4.1 Daylight autonomy.....	21
2.3.4.2 UDI.....	23
2.3.4.3 Annual Glare (og «point and time»-glare).....	23
2.3.5 Optimalisering i Excel.....	24
2.3.5.1 Beregning av varmetap.....	26
2.3.5.2 Beregning av korrelasjonskoeffisient.....	27
3. Teori.....	29
3.1. Solceller.....	29
3.1.1 Solkraft.....	29
3.1.2 Hvordan et solcellesystem er bygget opp.....	30
3.1.3 Hvordan solcellepanelet fungerer/produserer strøm (teknologien).....	32
3.1.4 Solcellenes effekt, og forhold som kan påvirke den.....	35
3.1.5 Installere solkraft i Norge?.....	36
3.1.5.1 Potensialet.....	37
3.1.5.2 Økonomisk lønnsomt?.....	39
3.1.5.3: Støtteordninger.....	42
3.1.6 BIPV eller BAPV?.....	43
3.1.7 PVT.....	43
3.1.8 Solcellesimuleringsprogram.....	44
3.1.8.1 «Skelion».....	44
3.2 Dagslys.....	46
3.2.1 Et krav eller en nødvendighet på arbeidsplassen?.....	46
3.2.2 Dagslyssimulering.....	47
3.2.2.1 Dagslysfaktor.....	48
3.2.2.2 Dagslysautonomi.....	49
3.2.2.3 UDI (Useful Daylight Illuminance).....	49
3.2.2.4 Dagslyssimuleringsprogram.....	50

3.3 U-verdi, G-verdi og varmetap	51
3.4 Futurebuilt	53
3.5 BREEAM	54
3.5.1: Hva er BREEAM?	54
3.5.2 Verdiskaping som et resultat av miljøsertifisering.	54
3.6 Materialvalg.....	56
3.6.1 Valg av isolasjon og fasadens tykkelse	56
3.6.2 Valg av glass og dets innvirkning på dagslys.....	56
3.6.2.1 Redirecting glass (RDG).....	58
3.6.2.2 Elektrokromatiske vinduer	59
3.7 Optimaliseringsteori.....	61
4. CASE: OsloSolar	65
4.1 Energi- og miljøkonsept.....	68
4.1.1 Solceller.....	68
4.1.2 Solarwall	69
4.1.3 Planløsning	70
4.1.4 Ventilasjon.....	70
4.1.5 Biodiversitet og luftrensning fra planter	71
4.1.6 Vann	71
4.1.7 Dagslys	71
4.1.8 BREEAM-sertifisering	72
4.2 «Base case»	73
5. Resultater/Analyse/Tolkning	75
5.1 Resultater fra simuleringer og beregninger	75
5.1.1 Med og uten vindusbånd	75
5.1.2 Med og uten vinkel i vinduskarm under vindusbånd	76
5.1.3 Resultater for ulike WWR.....	77
5.2 Analyse av resultater.....	82
5.2.1 «Trade off»	82
5.2.3 Valg av fasadesammensetning/WWR	83
5.2.3.1 UDI.....	85
6. Diskusjon.....	87
6.1 Rammeverk og krav for «bærekraftige bygg».....	87
6.2 Hvordan optimalisere dagslys og utformingen av vinduer i caset?.....	89
6.3 Hvordan optimalisere veggtykkelse og vurdere hensiktsmessig isolasjonsmateriale med tanke på varmetap i caset?	91
6.4 Hvordan optimalisere energiproduksjon i caset, og hvilke muligheter og utfordringer oppstår ved bruk av BIPV?	92
6.4 Muligheter og utfordringer/begrensninger gir bruk av valgte simuleringstøys.	95
6.4.1 DA og UDI	95
6.4.2 DF	95
6.4.3 Glare/Blending	95
6.4.4 PVGIS og PVWatts.....	96
6.5 Må det velges mellom enten godt dagslys eller høy energiproduksjon?	97
7. Konklusjon.....	99
8. Videre arbeid	103
9. Litteratur	105

Begreper/ Definisjoner

Det er valgt å definere noen av begrepene oppgaven tar i bruk, da forståelsen av disse kan tolkes på ulike måter. Tanken er at leseren skal kunne slå opp ord og uttrykk i denne listen, og dermed forstå oppgaven korrekt på grunnlag av definisjonene som legges til grunn.

Aerogel: En blanding av karbon, silisiumdioksid og flere andre stoffer. Et svært lett og transparent materiale som fungerer godt for å slippe inn og spre lyset. Hensiktsmessig å bruke i vinduer det ikke er behov for utsikt, men for dagslys lenger inn i rommet. Gode isolasjonsegenskaper (Delphin 2013).

Amorft silisium: *«Amorfe materialer, ikke-krystallinske materialer, materialer som mangler langtrekkende regelmessighet i sin atomære oppbygging. De har fysiske egenskaper som er forskjellig fra tilsvarende krystallinske materialer. Amorft silisium er lovende fotovoltaisk materiale for omdannelse av solenergi til elektrisitet.»* heter det i Store Norske Leksikons definisjon av «amorfe materialer» (Fjellvåg 2009).

Azimuth: Kompassvinkelen sollyset kommer fra. Klokket 12 vil solen alltid stå dirkete mot sør på den nordlige halvkule (Azimuth = 0), og dirkete mot nord på det sørlige halvkule (Azimuth = 180) (pveducation 2017).

Balansert ventilasjon: *«Ved balansert ventilasjon sørger vifter for både tilførsel og avtrekk av omtrent like store mengder ventilasjonsluft. Innvendige kanaler fordeler frisklufta (utelufta) rundt i bygningen. Frisklufta tilføres rommene gjennom tilførselsventiler. Systemet gir mulighet for å overføre varmen i avtrekkslufta til tillufta i en varmegjenvinningsenhet på en enkel måte»* (SINTEF Byggforsk 2015, pkt. 221).

Benchmarking: Engelsk uttrykk for å sammenligne produkter, arbeidsmåter eller lignende ut fra et sett kriterier eller standardverdier (Prosjektnorge 2017).

bks-blader: SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer (SINTEF Byggforsk Byggetaljer)

BREEAM-NOR: Varemerket BREEAM er eid av BRE Global. BREEAM-NOR er den landsspesifikke versjonen av BREEAM, utviklet og eid av NGBC (NGBC 2016).

Båndgap: Forskjellen i energi mellom elektroner i valensbåndet og elektroner i ledningsbåndet. De elektronene som blir slått løs av fotonene, men ikke bundet i atomene (Valmøt 2016).

Cradle 2 cradle: (vugge til vugge): «*Hele produktets livsløp fra råvareuttak, design, valg av innsatsfaktorer, produksjonsprosesser, transport, bruk av produktet og til håndtering som avfall*» (Regjeringen.no 1997, 5.2.9).

Dagslysfaktor: (DF) Et forhold mellom mengden av belysning tilgjengelig inne, og på samme tid mengden tilgjengelig belysning ute ved overskyende forhold. «*forholdet mellom innendørs og utendørs belysningsstyrke under et definert himmelforhold*» (Almås et al. 2016, s. 10)

Energimerkeordningen: Krav om at alle bygg som skal selges eller leies ut fra 01.07.2010 skal ha en energiattest (Energimerking.no 2009).

Enova: «*forvalter midlene i Energifondet. Pengene i dette fondet kommer fra avkastning fra klimateknologifondet (Fond for klima, fornybar energi og energiomlegging) og et lite kostnadspåslag på strømrregningen (nettariffen)*» (Enova 2017, avsn. 7).

Evapotranspirasjon (ET): Total fordampning fra en vegetasjon. Sammensatt av *evaporasjon* fra fysiske objekter og *transpirasjon* fra plantenes overflate (Berner 2012).

FiT: Feed-in Tarrifs er et konsept som går ut på at elektrisitet produsert av et PV-system blir og sendt ut på nettet blir solgt for en forhåndsbestemt sum og garantert for en gitt periode (International Energy Agency 2016).

Forbildeprosjekt: Futurebuilt beskriver forbildeprosjekter som områder eller bygg som skal redusere klimagassutslippene for byggene i gjennom hele livsløpet. Dvs. både i byggefase og driften av bygget. De skriver at «*Forbildeprosjektene skal ha høy arkitektonisk kvalitet, bidra til et godt bymiljø og ligge nær kollektivknutepunkter*» (Futurebuilt 2016, avsn 1).

Fotovoltaisk effekt: Energien i solens stråling konverteres direkte til elektrisitet (Zaitsev et al. 2016).

kWp: «Enheten kWp (kilo watt peak) brukes i forbindelse med solceller og er en betegnelse for hvor stor solcellens maksimale ytelse er under såkalte standard testforhold, f.eks. reduseres solcellenes ytelse av høy temperatur» (Fortum 2017, avsn 1).

Lagringsbatteri: For systemer som ikke er koblet til nettet, må man ha et batteri som kan lagre energien til perioder med liten eller ingen produksjon. Overskyede dager, eller om natta. Batterienes lagringskapasitet og levetid varierer mye, men de må som regel bytte ca hvert 5.-10. År (International Energy Agency 2016).

Moore's lov: Størrelsen på en transistor halveres ca. hver 24. måned. Dette fører til at kostnadene også synker (Larsen 2015).

Nettparitet: (engelsk: «grid parity») er et uttrykk som ofte brukes når det er snakk om kostnadsutvikling for solceller. Nettparitet innebærer at man har nådd en produksjonskostnad som kan konkurrere med konvensjonelle kraftproduksjonsmetoder, uten støtteordninger. (Fornybar.no 2016c)

NEB/ZEB (nullenergibyg/ zero energy/emmision building): Bygg som produserer like mye energi som de bruker (Rambøll & Link Arkitektur 2013).

nNEB (Nesten nullenergibyg): Bygg som produserer nesten like mye energi som de bruker. «Nesten nullenergibyg for norske forhold skal ha 70 % lavere energibruk enn TEK10 (gjeldende forskriftsnivå). Energibruk beregnes som netto levert energi til bygget. Energivarer vektet i henhold til klimapåvirkning eller fornybar andel» (Rambøll & Link Arkitektur 2013, s. 3).

PCM: Faseendrende materiale (Phase Change Material) er materiale som endrer fase mellom flytende og fast ved gitte temperaturer. Materiale har 5-14 ganger så stor varmelagringskapasitet som vanlig bygningsmateriale som for eksempel mur (SINTEF 2017).

Plusshus: Bygg som produserer mer energi enn de bruker (Rambøll & Link Arkitektur 2013).

Sirkulær økonomi: «I motsetning til en lineær økonomisk modell, basert på at man utvinner ressurser, produserer, bruker og kvitter seg med dem via deponi/forbrenning, så er en sirkulær økonomi basert på gjenbruk, reparasjon, oppussing/forbedring og materialgjenvinning i et kretsløp hvor færrest mulig ressurser går tapt (closing the loop) – og hvor produktene og ressursene de består av blir høyt verdsatt» (Klima- og miljødepartementet 2016, avsn. 4).

Skorsteinseffekt: Termisk oppdrift gjør at luft trekkes oppover i en vertikal kanal. Fenomenet kan også forekomme i heissjakter, trapperom osv. (Kollegiet for brannfaglig terminologi 2013).

Statsbyggs klimagassregnskap: Klimagassregnskap.no er den beregningsmodellen som er brukt mest for klimagassberegninger for bygg og byggeprosjekter i Norge per i dag. Lansert i 2007. Ny løsning fra 2018 (Statsbygg 2017).

Swanson's lov: Loven er oppkalt etter Richard Swanson (grunnlegger av SunPower Corporation) og viser hvordan solcelleproduksjonsprisene følger en jevn nedgang årlig, mer presist synker kostnadene med 20% for hver gang den globale installerte kapasiteten doubles. Loven blir sammenlignet med Moores lov (Carr 2012).

Tilbakebetalingstid: Antall år det tar for å produsere elektrisitet for å kompensere for den elektrisiteten som ble brukt i produksjons- og installasjonsprosessen (International Energy Agency 2016). Brukes også om økonomiske forhold. Hvor lang tid det tar å tjene inn det som ble investert.

Trade-off: Når man må prioritere noen «problemer» i større grad enn andre. Man gir en kvalitet opp, for å få mer av en annen kvalitet. Det norske ordet «avveining» defineres som følger: «Når dommeren skal treffe sin avgjørelse, er det altså en rekke momenter som kan være av betydning. Momentene kan trekke i ulik retning, og det blir da dommerens oppgave å foreta en avveining» (Thor Falkanger 2017, avsn. 10).

U-verdi: også kalt varmegjennomgangskoeffisient. Et mål på i hvilken grad varme slipper igjennom en bygningskomponent (Byggforsk 2017).

Varmekonduktivitet: λ (W/(mK)). Varmestrømmen (W) som går gjennom et homogent tverrsnitt av et materiale på 1m^2 når det er $1\text{K}/\text{C}$ i temperaturforskjell på overflate av de to sidene (Byggforsk 2017).

Varmeovergangsmotstanden: R_{si} og R_{se} er motstanden mellom sjiktets innvendige og utvendige overflate og inne-/uteluft. Se tabell for verdier (Byggforsk 2017).

Varmetette skott: Antagelse om ingen sideveis varmestrøm i konstruksjonen (Glava.no 2017).

Akronymer og forkortelser

AB: «Ambient bounce»

AC: Vekselstrøm

AECEA: Asia Europa Clean Energy Advisory

ASTM: The American Society for Testing and Materials

BAPV: «Building applied photovoltaics» / Solcellepaneler installert på konstruksjon

BIM: Bygningsinformasjonsmodell

BIPV: «Building integrated photovoltaics» / Bygningsintegrete solcellepaneler

BRA: Bruksareal

BREEAM: «Building Research Establishment`s Environmental Assessment Method»

CAD: «Computer Aided Design»

CdTe: CadmiumTellurid

CIGS: CupperIndiumGalliumSelenid

CPV: Konsentrerte solceller

DC: Likestrøm

DWG: «drawing»-filformat (brukes i CAD)

EC: Elektrokromatisk

EJ: Exajoule

EPS: «Expanded Polystyrene»

EROI: «Energy return on energy investet»

IEA: «International Energy Agency»

IFE: Institutt for Energiteknikk

FiT: «Feed-in Tariff»

DA: «Daylight autonomy»/Dagslysautonomi

DF: Dagslysfaktor

FoU: Forskning og utviklingsarbeid

K: Korrelasjonsfaktor

KWp: «Kilowatt peak»

LCOE: «Levelized Cost Of Energy»

LEED: «Leadership in Energy and Environmental Design»

MVA: Merverdiavgift

NGBC: «Norwegian Green Building Council»

nNEB: Nesten nullenergi bygg

PCM: «Fase Change Material»/Faseendende materiale

PVT: Hybrid solcelle og solfanger

RDG: «Redirecting Glass»

SHGC/G-verdi: «Solar Heat Gain Coefficient»

TMY: «Thermal Meteorological Year»

USGBC: «US Green Building Council»

VIP: Vakuumisolasjonspanel

(V)LT: «(visible) light transmittance» Lystransmisjon

Wp: «Peak Watt»

WWF: Verdens naturfond

WWR: «Window-to-Wall ratio»

XPS: «Extruded Polystyrene»

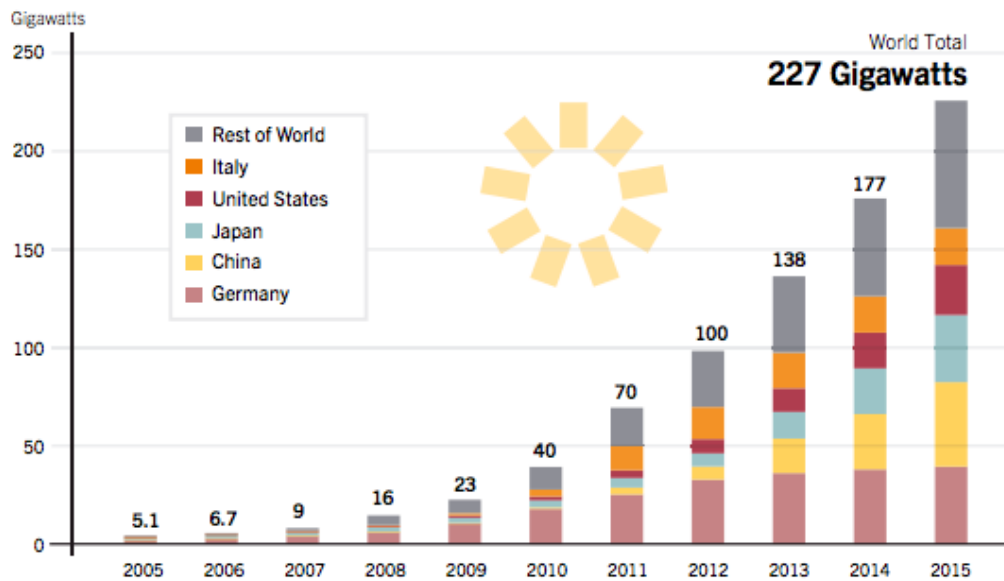
1. Innledning

«Every day we are paying more for energy than we should due to poor insulation, inefficient lights, appliances, and heating and cooling equipment - money we could save by investing in energy efficiency.»

- Bernie Sanders

Den globale oppvarmingen av jordkloden har ført til at verdenssamfunnet har begynt å gjøre tiltak for å bremse og prøve å hindre klimaforandringene fra å nå faretruende nivåer. Det er stor enighet om at den globale temperaturen ikke bør stige mer enn 2 grader, og at det bør omstilles fra fossil til fornybar energi. Et slikt tiltak bedre kjent som «20-20-20 målene», ble vedtatt av EU i 2007. Ifølge EU (2014) går vedtaket ut på å senke drivhusgassutslippene med 20%, øke fornybar energikilde andelen til 20%, samt øke energieffektiviteten med 20% sammenlignet med 1990-nivå. (European Commission 2014).

Byggenæringen står for 40% av energibruk og ca. 36% av CO₂-utslippene i Europa (European Commission 2014). En annen del av EU-vedtaket krever derfor energimerking av bygg, samt et mål om at alle offentlige bygg som oppføres etter 2018 og alle bygg som oppføres etter 2020 skal være nesten nullenergibygge (nNEB). Definisjonen av nNEB, er blitt gjort opp til det enkelte landet å definere, men et nNEB skal produsere nesten like mye energi som det bruker, og en slik omstilling vil kreve store tiltak (Olje- og energidepartementet 2015). Som Bernie Sanders indikerer i det innledende sitatet, er nøkkelen til bærekraftige, økonomisk lønnsomme bygg å investere i energieffektive løsninger. Energiproduksjon, og da hovedsakelig solkraft, blir et viktig middel for å nå energimålene i bygg, og bidrar samtidig til de overordnede målene om økning av fornybare energikilder og mengde installert solkraft. Ifølge figurer publisert av AECEA (Asia Europe Clean Energy (Solar) Advisory) har Kina allerede i August 2017 nådd sine «installert solkraft- mål» for 2020, tre år før tiden. Dette legger et stort press på Europa. (Morgan 2017)



Figur 1: Figuren er hentet fra *Renewables 2016 Global Status Report* (Sawin et al. 2016), og viser total installert solcellekapasitet globalt i perioden 2005-2015.

Den økende byggingen av nNEB, NEB og plusshus vil føre til en stor etterspørsel etter gode løsninger som maksimerer energiproduksjon, men samtidig møter alle tekniske krav. På bakgrunn av dette ønskes det med oppgaven å diskutere hva som er den optimale fasadeløsningen for et spesifikt kontorbygg i Oslo sentrum.

Masteroppgaven tar utgangspunkt i prosjektet «OsloSolar», vinneren av Entras internasjonale arkitekt- og innovasjonskonkurranse fra 2015 om et nytt og miljøvennlig på Lilletorget 1 i Oslo. Bygget skal ifølge konkurranseutlysningen være et plusshus med en netto energiproduksjon på minimum 2 kWh/m². OsloSolar er et samarbeid mellom arkitektfirmaet CODE, konsulentfirmaet Rambøll og forskningsinstituttet; Institutt for Energiteknikk (IFE). Bygget vil ha en «aktiv» fasade bestående av glass og solceller/vanlig fasadeelement kombinert i horisontale bånd. Det vil i oppgaven gjøres et forsøk på å optimalisere fasaden med hensyn på dilemmaet dagslys vs. energiproduksjon dagslys. Dette er et dilemma fordi mer vindusareal (mer dagslys) fører til mindre areal til solceller (mindre energiproduksjon). Oppgaven belyser også dilemmaet dagslys vs. varmetap. Dette blir ansett som et dilemma fordi mer vindusareal (mer dagslys) og tynnere vegger (mer dagslys) fører til høyere U-verdi (større varmetap). Forholdet mellom energiproduksjon og varmetap blir ikke vurdert som et dilemma, da de ikke er i direkte konflikt.

Oppgavens resultater vil potensielt også kunne være aktuelle for OsloSolar som prosjekt da utviklingen innen materialer og da særlig solcellepaneler, samt endringer i krav skjer kontinuerlig. Den prosjekterte fasaden fra forprosjektet kan derfor allerede fremstå som noe utdatert.

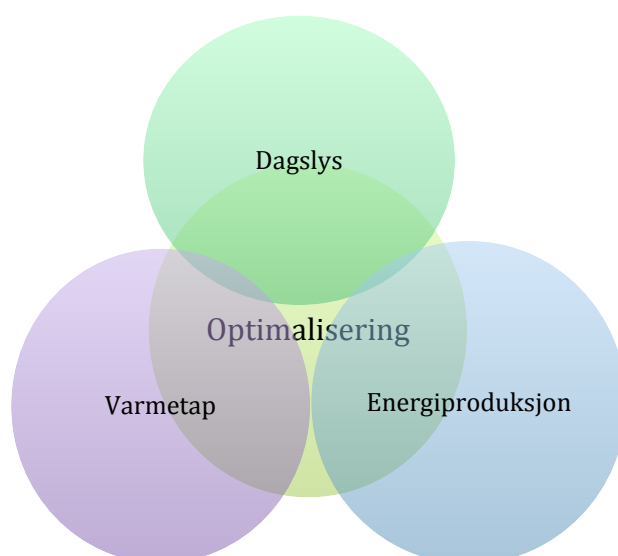
1.1 Problemstilling/Forskningsspørsmål

Oppgaven har som mål å besvare følgende problemstilling: *Hva er det optimale forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon for fasaden i caset «OsloSolar»?*

Det tas utgangspunkt i den prosjekterte fasaden i forprosjektet fra 2005, med en påstand om at det finnes en enda bedre løsning.

Med utgangspunkt i problemstillingen er det utarbeidet noen delspørsmål som også blir forsøkt besvart for å underbygge hovedproblemstillingen:

- Hvordan optimalisere dagslys og utforming av vinduer i caset?
- Hvordan optimalisere veggtykkelse og vurdere hensiktsmessig isolasjonsmateriale med tanke på varmetap i caset?
- Hvordan optimalisere energiproduksjon i caset, og hvilke muligheter og utfordringer oppstår ved bruk av BIPV?



Figur 2: Illustrasjon av problemstilling.

1.2 Oppgavens begrensning

Da oppgaven kun går over ett semester har tiden vært en sentral begrensning for oppgaven. Det vil i dette avsnittet listes opp hvilke forutsetninger og avgrensninger som har blitt gjort gjennom arbeidet.

OsloSolar er et reelt prosjekt, noe som vil gi mange naturlige begrensninger når det kommer til utforming. Selve formen på bygget er allerede gjennomarbeidet og bestemt av arkitektene i CODE. Denne oppgaven begrenses dermed til å justere og vurdere størrelsene og materialene som er brukt i fasadeelementene, uten å forandre det arkitektoniske uttrykket. For å tilspisse oppgaven, er det videre gjort følgende forenklinger og antagelser underveis:

- For å gjøre en presis optimalisering bør det tas i bruk optimaliseringsalgoritmer som kan sammenligne mange parametere i ett og samme program. Tiden ble ikke vurdert tilstrekkelig for å utføre en slik omfattende optimalisering. Årsaken til dette var først og fremst mangel på erfaring med optimaliseringsprogrammer. Hvis disse teknikkene hadde vært innarbeidet før det ble satt i gang med dette prosjektet, kunne flere parametere vært inkludert i optimaliseringen.
- I datamodelleringen er det gjort forenklinger av geometrien for at filen ikke skal bli unødvendig tung, og dermed føre til veldig tidkrevende beregninger/simuleringer. En slik forenkling er at det er antatt helt rette flater uten struktur eller objekter i himling eller på vegger. Det er også valgt standard farger (hvitt) på alle flater.
- Simuleringene er begrenset til ett kontor, på ett sted i bygget uten hensyn til skygger fra omkringliggende bygg. Antagelsen om at alle fasader av bygget vil ha samme forhold som det valgte kontoret, er en svakhet for oppgaven. Byggets ulike fasader vil ha ulike forhold som følge av himmelretningene, hvilket medfører at de ulike fasadene antageligvis vil ha ulike optimale løsninger. Denne begrensningen er en følge av tidkrevende dagslysberegninger.
- Det er gjort antagelser om at «typical metrological year»-filen (TMY) som er brukt i simuleringene, med data fra Fornebu, Oslo, vil være tilnærmet klimaet i Oslo sentrum.

- Det er ikke gjort kostnadsberegninger for fasaden, og dette blir sett som en begrensning ved oppgaven. Det ville vært veldig interessant å gjøre en analyse av hvor mye den valgte bygningsintegrerte solcellefasaden (BIPV-fasaden) koster sammenlignet med en vanlig fasade, samt tilbakebetalingstiden for fasaden som følge av innsparing av kostnader knyttet til energi. Selv om oppgaven ikke fokuserer på det økonomiske aspektet, er det likevel gjort en analyse av isolasjonstykkelse og kvadratmeterpris. Dette er gjort for å understreke markedsprisenes makt og evne til å endre hvordan det velges å bygge et bygg.
- Da oppgavens teori består av mange ulike temaer har det ikke vært mulig å utdype alle temaer like mye.

1.3 Oppgavens oppbygning

For å strukturere arbeidet med oppgaven ble den tidlig delt inn i ønskede kapitler og delkapitler. Denne oversikten gir et innblikk i hva de ulike kapitlene omfatter.

Kapittel 1: Innledning

Kapittelet presenterer bakgrunnen og motivasjonen for oppgaven, samt begrensninger og strukturen til oppgaven.

Kapittel 2: Metode

I metodekapittelet oppsummeres hvordan resultatene er utarbeidet, hvilke hjelpemidler som er brukt og hvordan disse hjelpemidlene fungerer. Kapittelet belyser også hvorfor det er valgt som det er valgt.

Kapittel 3: Teori

Teoridelen gjennomgår teori knyttet til de ulike temaene i oppgaven. En gjennomgang av litteratur med hensikt i å belyse temaene; solkraft og solcelleteknologi, dagslysteori, u-verdi, BREEAM-NOR, Futurebuilt og optimalisering som metode.

Kapittel 4: Case

Introduksjon av caset for oppgaven (OsloSolar), og forutsetningene for optimaliseringen.

Kapittel 5: Resultater

Resultatene er et produkt av teorien og metoden, og vil i denne oppgaven bestå i resultater fra ulike simuleringer og beregninger knyttet til caset.

Kapittel 6: Diskusjon

For å sette oppgaven i en aktuell kontekst diskuteres resultatene opp mot teorien. Her hentes også egne erfaringer og vurderinger inn.

Kapittel 7: Konklusjon

Det konkluderes på grunnlag av diskusjonen, og problemstillingen besvares.

Kapittel 8: Veien videre

Et forslag for hvordan det bør jobbes videre med temaet. Hvordan ville oppgaven blitt sett ut uten begrensningene.

Kapittel 9: Litteratur

I dette kapittelet listes den utfyllende kildehenvisningen opp.

2. Metode

Denne oppgaven ser på følgende forskningsspørsmål:

Hva er det optimale forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon for fasaden i caset «OsloSolar»?

Forskningsspørsmålet blir belyst gjennom:

- En litteraturstudie
- Ved simulering av ulike fasadesammensetninger er optimaliseringen utført ved bruk av parametrisering. Det er altså optimalisert med flere parametere på en gang eller i sekvens
- Intervjuer

Litteraturstudie

For å opparbeide en kompetanse om temaene, er det gjort litteratursøk i tilgjengelige databaser.

Simuleringer

Det er utført simuleringer av fasader med ulike kombinasjoner av vindusstørrelser, noe som igjen fører til tilsvarende ulike mengder solcellepaneler/isolerte vegger. Fasadene er simulert for dagslys, energiproduksjon og varmetap. Ved å variere forholdet mellom glass og solcellepanel/vegg, vil de ulike faktorene få ulike verdier, som igjen kan brukes i en optimalisering med 3 parametere. For å videre kunne simulere og vurdere resultater, har det vært vektlagt å sette seg inn i, og lære seg de nødvendige dataprogrammene.

Intervjuer

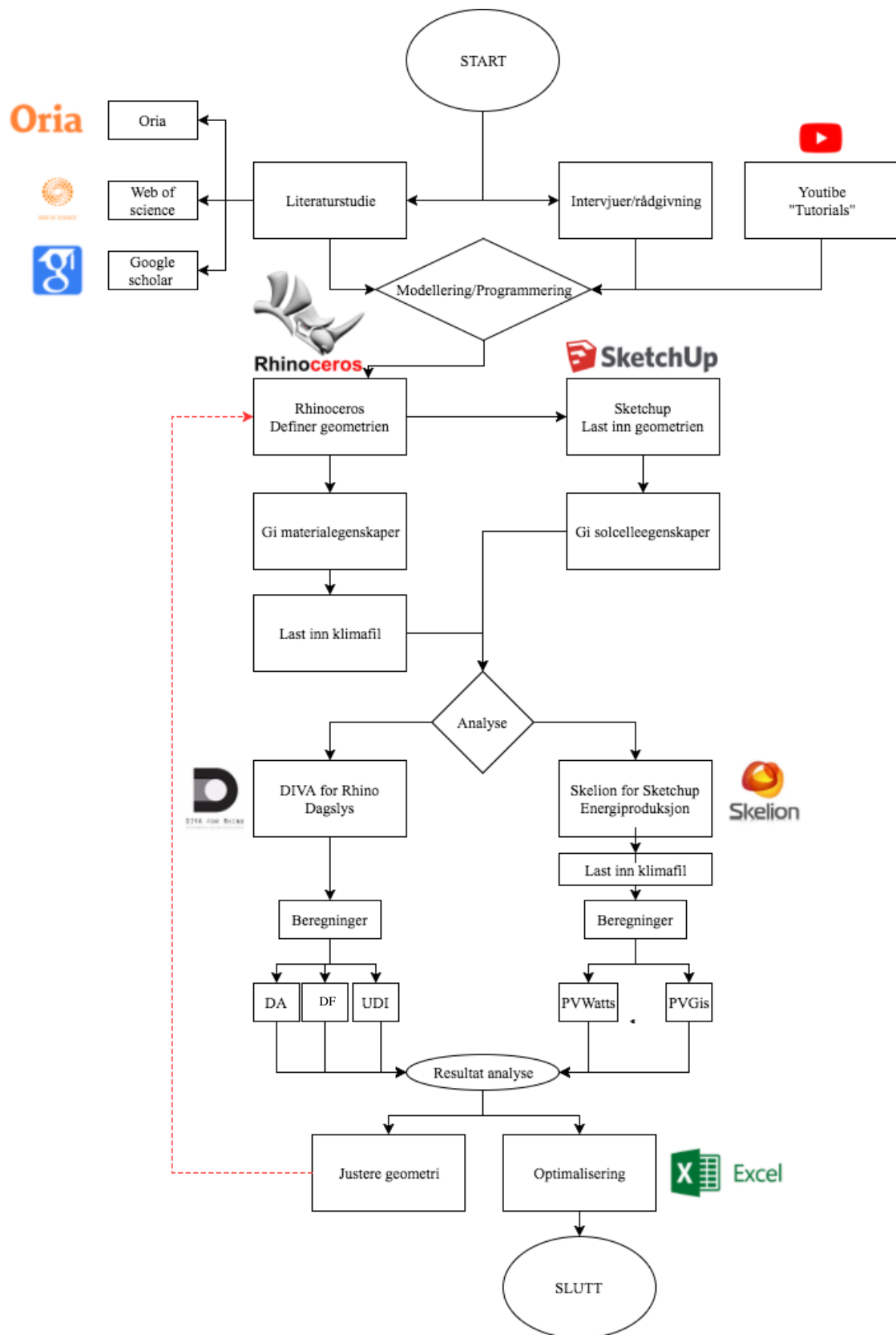
I tillegg er samtaler, intervjuer og møter med ulike aktører i bransjen tatt i betraktning.

Metodens begrensninger og relevans.

En begrensning med denne metoden er den raske utviklingen av teknologi og løsninger.

Det som er optimalt nå, vil ikke nødvendigvis være optimalt om 5 eller 10 år.

Optimaliseringsmetoden som er valgt er begrenset til å se på 2 parametere opp mot hverandre av gangen, noe som hinder en dypere innsikt i mulighetene ved fasaden.



Figur 3: Flytdiagram for metodeprosessen. Laget i <https://www.draw.io/>

2.1 Litteraturstudie

For å finne frem til aktuell forskning på temaene det blir fokusert på i oppgaven, er det gjennomført en litteraturstudie. Av søkemotorer er biblioteksystemet «Oria», «Web of science» samt søk i «google» og «google scholar» brukt. Tidlig i prosessen ble også publiseringsdatabasen «Brage» brukt til å lese tidligere masteroppgaver for å gjøre seg kjent med sjangeren. Da denne oppgaven har svært spredt tematikk, og temaene den tar for seg er mye forsket på, har det vært vanskelig å begrense søkene, samt vurdere hvilke artikler som er mest relevante, mest aktuelle og fra mest troverdige kilder. Litteratur er valgt på grunnlag av sin aktualitet med tanke på når de er skrevet og i hvilken grad de samsvarer med temaet for oppgaven. Hvor mange som har sitert litteraturen tidligere er også vektlagt. Mangelen på forskning gjort på helt tilsvarende fasadeløsninger, har medført at arbeidet knyttet til forprosjektet til OsloSolar, utført av Rambøll og Code Arkitekter, er brukt som litteratur, og utgangspunkt. «solcelle», «kontorbygg», «dagslys», «BIPV», «Futurebuilt», «BREEAM», «u-verdi yttervegg», «PVT», «daylight», «façade», «aerogel», «redirecting glass», «office», «fenestration», «Skelion», «DIVA», «Rhino», er eksempler på søkeord som ble brukt.

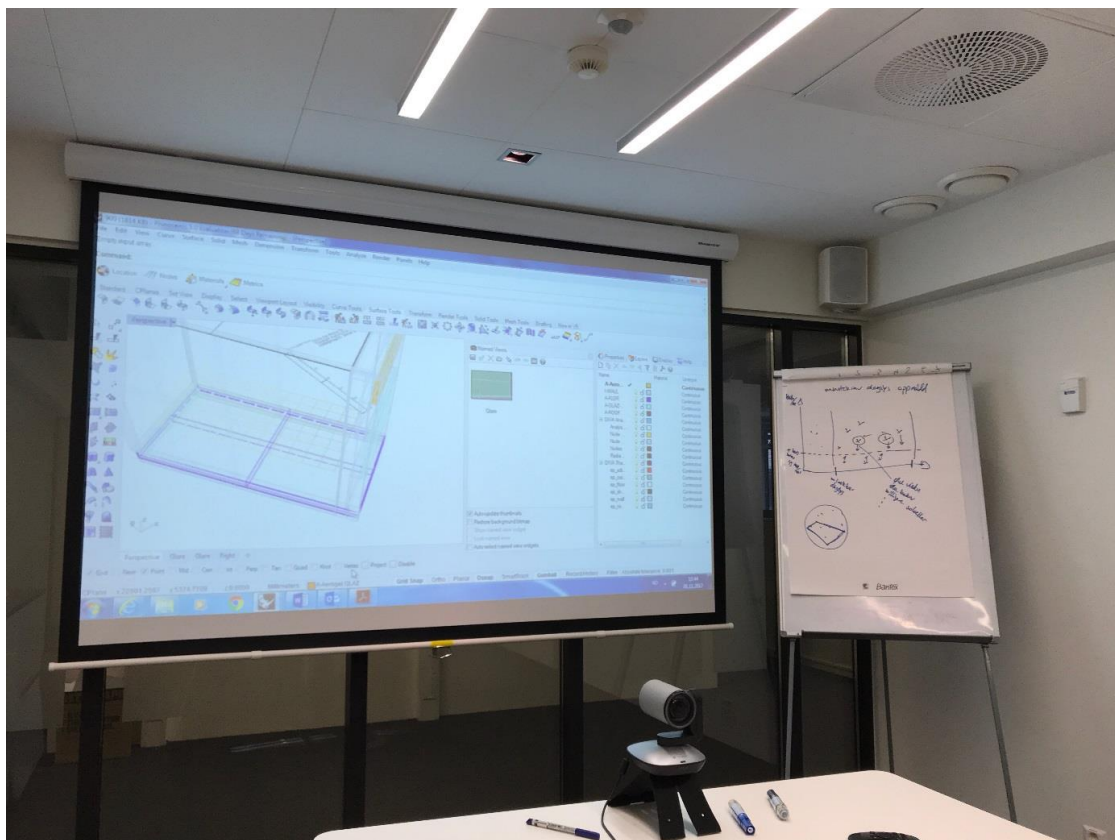
2.2 Intervju/samtaler og workshop

Selv om det er gjort mye forskning på temaene i oppgaven, er OsloSolar et innovativt prosjekt med mange nye løsninger. Det har derfor vært vanskelig å finne referanseprosjekter med lignende innfallsvinkel. Oslosolar vil mest sannsynligvis bli det største og første BREEAM-NOR «Outstanding» kontorbygget, og blir sannsynligvis verdens største pluss hus når det etter planen skal stå ferdig i 2021/22. Kunnskap om selve prosjektet er derfor i stor grad oppnådd ved samtaler og intervjuer. I tillegg til jevnlig kontakt med prosjektleder, har ulike personer og aktører knyttet til prosjektet vært kontaktet. Følgende aktører ble tatt kontakt med:

Navn	Firma
Josefine Helene Selj	IFE
Thea Collett	ÅF Lighting
Morten Rødsrud	Vacunor AS
Jon Sargent	DIVA for Rhino
Frederik Friederich	Rambøll
Sunniva Baarnes	Rambøll
Magnus Killingland	Rambøll
Bjørnar Heiskel	Rambøll

Tabell 1: Aktører det er vært kontakt med

01.11.2017 ble det gjennomført en «Workshop» med prosjektleder for OsloSolar, Magnus Killingland og meg hvor det med utgangspunkt i de foreløpige funnene i simuleringen, ble diskutert hvordan dataene kunne fremstilles.



Figur 4: Bilde fra Workshop 01.11.17

2.3 Gjennomføring av simuleringer

For å gjennomføre simuleringene har det vært nødvendig å sette seg inn i en rekke dataprogrammer. Dette har vært en tidkrevende prosess, men oppgaven er også et bevis på at det er fullt mulig å lære seg de fleste dataprogrammer på egenhånd. Tilgjengeligheten av «tutorials» (opplæringsvideoer) på for eksempel Youtube.com, er god, og har vært en vesentlig del av opplæringsprosessen.

Det ble gitt tilgang på Rambølls prosjektmappe for prosjektet OsloSolar gjennom prosjektleder Magnus Killingland. Geometrien i modellene som er laget er basert på filer hentet fra forprosjektet, og blir brukt som utgangspunkt for beregningene. En utfordring har vært å skaffe lisens til dataprogrammer for å få åpnet filene. Mange av dataprogrammene har prøveutgaver eller studentversjoner, men disse utgavene av programmene utgår gjerne etter en prøveperiode på 30 dager eller lignende («DIVA» og «Skelion»). Gratisversjonen av programmet «SketchUp», «SketchUp make» tillater ikke funksjonen der en kan laste inn andre filtyper enn «skt.» («SketchUp»-filformat), som er en sentral funksjon da det var ønskelig å bruke de samme modellene som utgangspunkt for ulike simuleringer. Løsningen på problemet med den begrensede lisensen ble å laste ned programmene på en annen datamaskin med en annen IP-adresse og brukerkonto, og gjøre ferdig simuleringer og beregninger der.

Arkitektfilene det ble gitt tilgang på var lagret i «Revit 2015», og måtte derfor først eksporteres til «Revit 2016». For å kunne åpne modellen i «SketchUp pro» eller «Rhino», måtte det først lages en dwg-fil («drawing»-fil). Fordelen med å importere filen på denne måten er at den beholder lagene («layers») i modellen, noe som gjør det lettere å gi de forskjellige bygningskategoriene ulike materialegenskaper. De importerte filene ble brukt som utgangspunkt for å lage forenklede «lettere» modeller, slik at simuleringene ikke tok for lang tid.

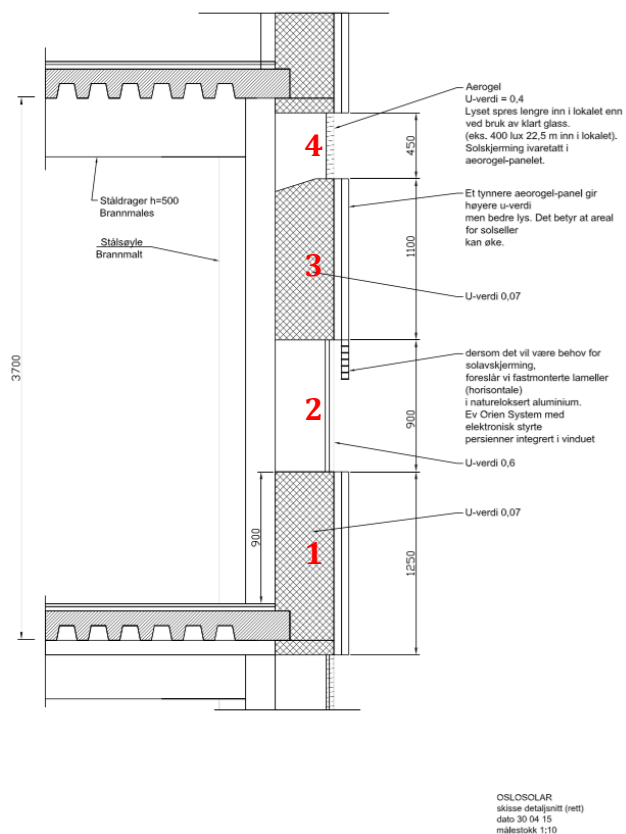
2.3.1 «Rhino»

For å optimalisere fasaden ble det valgt å modellere geometrien til fasaden i «Rhinoceros 5» («Rhino»), som er et NURBS 3D-modellerings dataprogram. Dette programmet ble valgt da det var ønskelig å gjøre dagslyssimuleringene i «DIVA for Rhino». Veggene er bygget opp av enkle flater og bokser, og det ble valgt å se på et cellekontor i 6. Etasje, på

sørøst-fasaden som utgangspunkt for optimaliseringen. Kontorer i andre etasjer er ikke tatt i betraktning i undersøkelsen. Dette er en begrensning ved beregningene. Årsaken til at det er valgt å se på en 6. etasje er fordi dette er en av planløsningene det er gitt tilgang på, og dermed gjør det mulig å modellere hele etasjen korrekt etter tegningene. En annen årsak til at 6. etasje er valgt som utgangspunkt for simuleringene er at det er en av de første etasjene som vil ha den optimaliserte fasadeutformingen. De nederste etasjene vil i større grad bestå av glass, da de vil fungere som næringslokaler. Derfor ville 6. etasje, om det skulle vært hensyn til skygge fra omkringliggende bygg, være av de etasjene som er mest utsatt. Årsaken til at det er valgt å gjøre modelleringen og simuleringen for ett kontor fremfor for eksempel et kontorlandskap eller hele etasjen er grunnet begrenset tid. Modellering og simulering ville tatt betraktelig lenger tid om de skulle ha et større omfang. Eksempelvis tok dagslyssimuleringene av ett kontor ca. 30 min kontra DF-beregningen av en hel etasje, som tok flere timer. Valget om å modellere kontoret med to ulike tykkelser på veggen, er gjort for å bestemme veggtykkelsens innvirkning på dagslys.

2.3.1.1 Modellering i «Rhino»

Rammebetingelsene for modelleringen er å oppfylle de tekniske og prosjektspesifikke kravene. Målet er å prosjektere og designe en mest mulig energieffektiv fasade, og samtidig skape en best mulig dagslyssituasjon inne i bygget. For å gjennomføre beregningene, og undersøke forskningsspørsmålet, er det modellert en rekke modeller med varierte størrelser på de ulike fasadeelementene. Den første modellen, videre referert til som «utgangspunktet», er basert på tegningene fra forprosjektet til OsloSolar. Denne blir brukt som sammenligningsgrunnlag for de andre modellene.



Figur 5: Utgangspunktet for modelleringen. Der 1,2,3,4, markerer henholdsvis «nedre veggelement», «vinduselement», «midtre veggelement» og «vindusbånd».

Fasaden er utformet med ett veggelement som har en innvendig høyde på 900mm (slik at kravet om brystningshøyde på 800mm innfris (TEK 17 § 12-17 (1) 2017)), et vinduselement, et nytt veggelement, som videre er referert til som «midtre veggelement» og et vindusbånd opp under taket, som skal spre dagslys lenger inn i rommet. Vinduskarmen på innsiden av dette vindusbåndet, har en vinkel som skal åpne opp for lyset (se figur 5 for fasadeutformingen). Før justeringen av det midtre elementet i fasaden ble utført, var det ønskelig å undersøke hvilken effekt «vindusbåndet» og vinkelen i vinduskarmen «vindusbåndet» under hadde for dagslyset og varmetap. Det ble derfor først gjort følgende tester:

- Med og uten «vindusbånd».
- Med og uten vinkel i innvendig vinduskarm under «vindusbånd».

Med resultatene fra de overnevnte testene lagt til grunn, ble fasaden så testet for ulike størrelser på det midtre veggelementet for to ulike veggtykkelser (med samme U-

verdi=0,07), 400mm og 500mm. Årsaken til at disse to veggtykkelsene er valgt er for å illustrere forskjellene mellom en vegg med «vanlig» isolasjon og en vegg med høyeffektiv isolasjon (XPS, EPS eller vakuumisolasjonspanel (VIP)). Som Schlanbusch et al. skriver i sin analyse av isolasjonsmaterialers miljøpåvirkning, er mineralull det mest miljøvennlige materialet, men det er også det materialet som krever størst tykkelse for å oppnå en gitt U-verdi (Schlanbusch et al. 2014). Den valgte u-verdien for veggelementene på 0,07 er svært lav u-verdi uten direkte kilde, og er en estimert verdi som tar utgangspunkt i dagens marked, med forutsetning om utvikling i materialteknologien de 5 neste årene. Forutsetningen er gjort etter anbefaling fra Bjørnar Heiskel (Rambøll), som antok det samme da forprosjektet ble utarbeidet i 2015 (Heiskel 2017).

Når lengden på det midtre veggelementet minker vil dette være nedenifra og oppover.

«Window-to-wall ratio» (WWR) er den generelle termen, og er beregnet for hver av modellene. Antallet modeller er valgt for å vise hele spekteret av løsninger.

Kombinasjonen av lite tid og svært lang beregningstid er årsaken til at det ikke ble hentet enda mer empiri til oppgaven som resultat av simuleringsarbeid. Følgende modeller er simulert for dagslys og energiproduksjon:

- WWR = 12,2. Midtre veggelementlengde: 2000
- WWR = 14,9. Midtre veggelementlengde: 1900
- WWR = 17,6. Midtre veggelementlengde: 1800
- WWR = 20,3. Midtre veggelementlengde: 1700
- WWR = 23,9. Midtre veggelementlengde: 1600
- WWR = 25,7. Midtre veggelementlengde: 1500
- WWR = 27,4. Midtre veggelementlengde: 1400
- WWR = 31,1. Midtre veggelementlengde: 1300
- WWR = 33,8. Midtre veggelementlengde: 1200
- WWR = 36,5. Midtre veggelementlengde: 1100
- WWR = 39,2. Midtre veggelementlengde: 1000
- WWR = 41,9. Midtre veggelementlengde: 900
- WWR = 44,6. Midtre veggelementlengde: 800
- WWR = 47,3. Midtre veggelementlengde: 700

- WWR = 50,0. Midtre veggelementlengde: 600
- WWR = 52,7. Midtre veggelementlengde: 500
- WWR = 55,4. Midtre veggelementlengde: 400
- WWR = 58,1. Midtre veggelementlengde: 300
- WWR = 60,8. Midtre veggelementlengde: 200
- WWR = 63,5. Midtre veggelementlengde: 100
- WWR = 66,2. Midtre veggelementlengde: 0

2.3.2 «SketchUp»

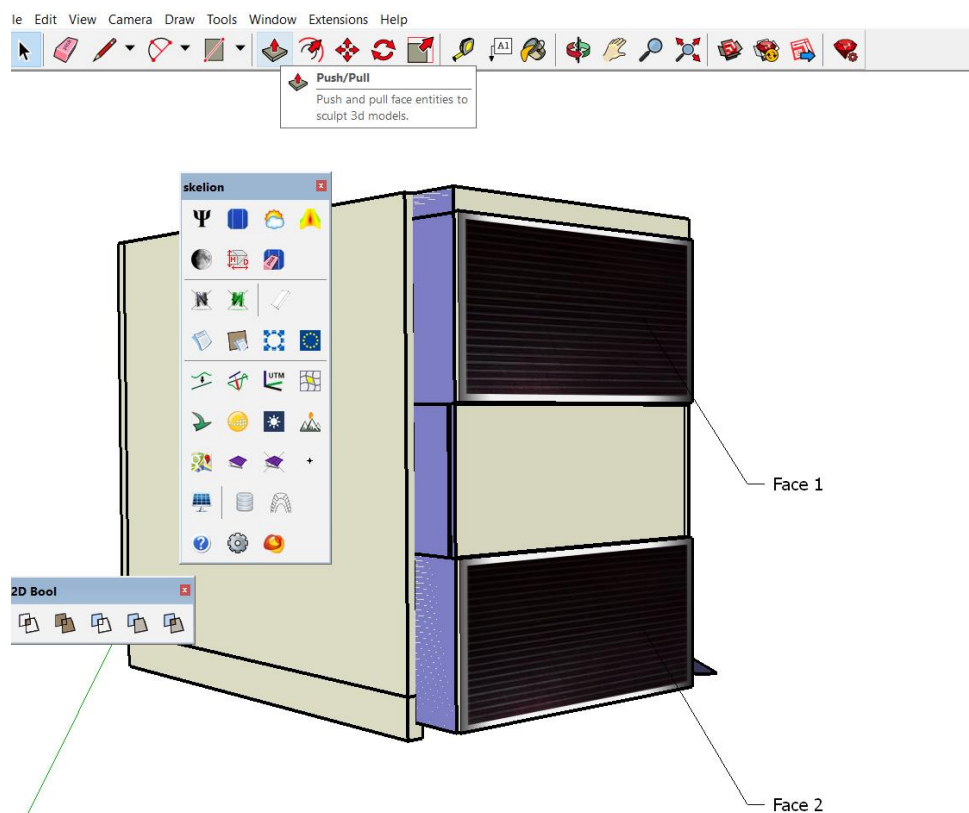
Årsaken til at «SketchUp» ble valgt som utgangspunkt for simuleringene er at «SketchUp» har mange mulige tilleggsprogrammer «plugins» som blant annet kan simulere solcelleeffekt. («Skelion» og «PV-syst»). De ulike modellene er eksportert fra «Rhino» og lagret som «SketchUp-filer». For å gjennomføre simuleringer som er så korrekt som mulig, er det lastet inn en klimafil (TMY) i «SketchUp». Dette er den samme filen som senere blir brukt for dagslyssimuleringene i «DIVA for Rhino».

2.3.3 Solcellesimulering i «Skelion»

«Skelion» er valgt som solcellesimuleringsprogram fordi det ble vurdert til å være det mest tilgjengelige verktøyet med 3D-modellfunksjoner. «Skelion» ble introdusert gjennom grovberegningene som var gjort for forprosjektet til OsloSolar, og vurderes som et intuitivt og funksjonelt verktøy. Videre var «Skelion» den programvaren som hadde flest av de funksjonene det var ønsket å bruke. Se vedlegg A i Appendix for oversikt over de mulige programmene og de tilhørende funksjonene utarbeidet av Jakica (Jakica 2017). Simuleringene har begrensninger som følge av forenklinger i geometri og mangel på korrigering for skygge fra omkringliggende bygg. I tillegg bør solcellepanelets netto-/bruttoareal tas i betraktning. Små paneler simuleres med samme karm som utgjør 4-5 % av arealet, og vil dermed miste en potensiell del av energiproduksjonen.

For å kunne skrive ut rapporter for en modell, må modellen først få innsatt solcellepaneler i fasaden. «Skelion» gjør det mulig å «designe» egne paneler med ønsket størrelse, effekt osv. På anbefaling fra Josefine Helene Selj i IFE, antas det solcellepaneler med 23 % effekt (375 fra Sunpower) (Selj 2017). 23% gir ca. 230 W/m² solcellepanel.

Sunpowers brosjyre er brukt som utgangspunkt for vekten av panelene (Sunpower 2016). Panelene har en vekt på 18,6 kg for paneler med en størrelse på 1,6m², det vil si 18,6/1,6= 11,6 kg/m² solcellepanel. De ønskede størrelsene på solcellepanelet legges inn i millimeter, men for at programmet skal fungere må noen millimeter i begge retninger trekkes fra størrelsen til flaten panelet skal settes inn i. Når panelene er designet, kan de plasseres ved å markere flaten de skal dekke, og man trykker så på «Insert panels». Solcellepanelene kan innstilles med tanke på azimuth, vinkelretning osv. De designede panelene kan så hentes i «user pvmodules», og settes inn i fasaden med en tilt på 90 grader. Med funksjonen «Array view» kan ønskede paneler markeres med farge. Ved å trykke på «Array view» igjen, lages en rapport, som så kan leses av ved å trykke på «Report» (Skelion 2016).



Figur 6: Illustrasjonen hentet fra egen modell i «Skelion» for «SketchUp». Fasaden er gitt solcelleegenskaper.

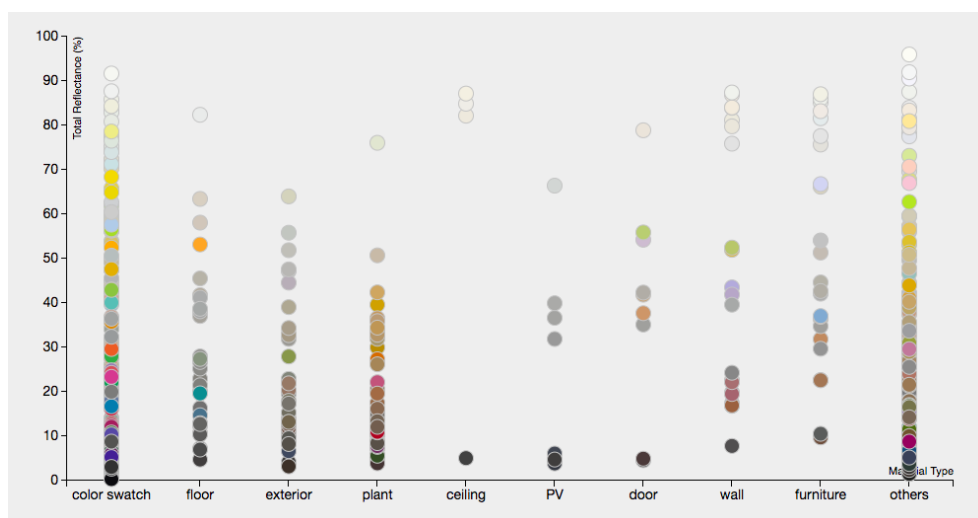
2.3.3.1 PVWatts og PVGIS

Simuleringene av energiproduksjonen er utført ved bruk av beregningsmetodene PVWatts og PVGIS. For å bruke disse funksjonene, må det lastes inn en fil med klimadata (TMY). Klimafilen legges inn via «Metrolological data»-knappen og brukes til å beregne tap som

følge av varierende værforhold (Skelion 2016). For å være konsekvent i metodebruk er den samme klimafilen valgt for «Skelion» som for «DIVA». Nærmeste TMY-stasjon er lokalisert på Fornebu i Oslo. Begge metodene beregner elektrisitetsproduksjon, og kan korrigere for skygge. Både PVWatts og PVGIS er anvendt for å verifisere metoden ved å sammenligne resultatene. Etter å ha kjørt både PVWatts og PVGIS kan det observeres at de to forskjellige beregningene gir litt forskjellige resultater. PVWatts gir noe lavere energiproduksjon, og det velges derfor å bruke denne videre for å være på den sikre og riktige siden av marginene. (Se Appendix B for utdrag fra rapport).

2.3.4 Dagslyssimulering i «DIVA»

En rapport utarbeidet av SINTEF Byggforsk der erfaringer til norske rådgiverfirmaer undersøkes, hevdes det at «Relux/Raytracing-module» er det mest utbredte programmet for å simulere dagslys (Almås et al. 2016). «DIVA for Rhino» er nest mest utbredt. På grunnlag av denne rapporten og rådgiving fra dagslyssdesigner Frederik Frienderich (Rambøll) samt funksjonen som gjør det mulig å laste inn klimadata, er «DIVA for Rhino» valgt som simuleringsverktøy i denne oppgaven. Dagslys har lenge blitt målt i dagslysfaktor (DF), men da dette målet egentlig sier veldig lite om dagslysforholdene i et rom, er det gjort et valg om å bruke funksjonene «daylight autonomy» (DA) og «useful daylight illuminance» (UDI), som i tillegg til å gi DF, kan fortelle mer om de faktiske lysforholdene i bygget. Beregningsmetodene er valgt på grunnlag av dagslyssdesigner Frederik Friederichs, og egne vurderinger, og anses som de mest relevante for Oslosolar som case.



Figur 7: Skjermdump fra <http://lighting-materials.com/> som ble brukt som hjelpemiddel for å bestemme refleksjonsverdien til ulike materialer og farger.

Modellene er laget av flater og bokser i programmet «Rhino» for å demonstrere geometrien. Bygningsdelene er så tildelt materialegenskaper med tilhørende refleksjonsverdi samt visuell lystransmisjonsverdi for glass (VLT). Det ble valgt å bruke standard verdier på materialene, mens valg av LT i glassene er bestemt for å simulere Elektrokromatiske glass og aerogelglass.

Simuleringsparameter	
ab (ambient bounces)	2
ad (ambient divisions)	1000
as (ambient supersamples)	20
ar (ambient resolution)	300
Materials Radiance	
Gulv	0,2 Refleksjon
Tak	0,8 Refleksjon
Vegger	0,5Refleksjon
Glass	0,6 Transmisjon.

Tabell 2: Standard «Radiance» simuleringsparametre og materialer (Jakubiec & Reinhart 2011)

Aerogelglass lå ikke inne som et alternativt material i programmet, og er derfor programmert inn i en materialefil som er tilgjengelig via vinduet som dukker opp når «assign materials» velges. Filen åpnes i «notepad» og U-verdi, G-verdi og lystransmisjonen (LT) legges til. Dette må gjøres for alle de 42 filene som skal benytte materialet. Verdiene er valgt med utgangspunkt i produktinformasjon fra «Solera» side hjemmesider (Solera 2017).

SOLERA SAMPLE DETAILS

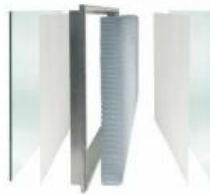
Project Name: N/A

Solera Type: Solera T R18+Aerogel

Unit Thickness: Nominal 3" (76mm)

Composition:

Exterior Glass: 6mm annealed
 Surface 2: Light diffusing veil
 Surface 3: Light diffusing veil
 Interior Glass: 6mm annealed



Performance Parameters

Visible Light transmittance: 7-32 %
 SHGC/G-Value: 0.07-0.30
 SC: 0.08-0.36
 U-Value: 0.055 (SI units)
 U-Value (SI units): 0.31 (SI units)
 Light Diffusion Power: excellent

Figur 8: Produktinfo for Solera aerogel.

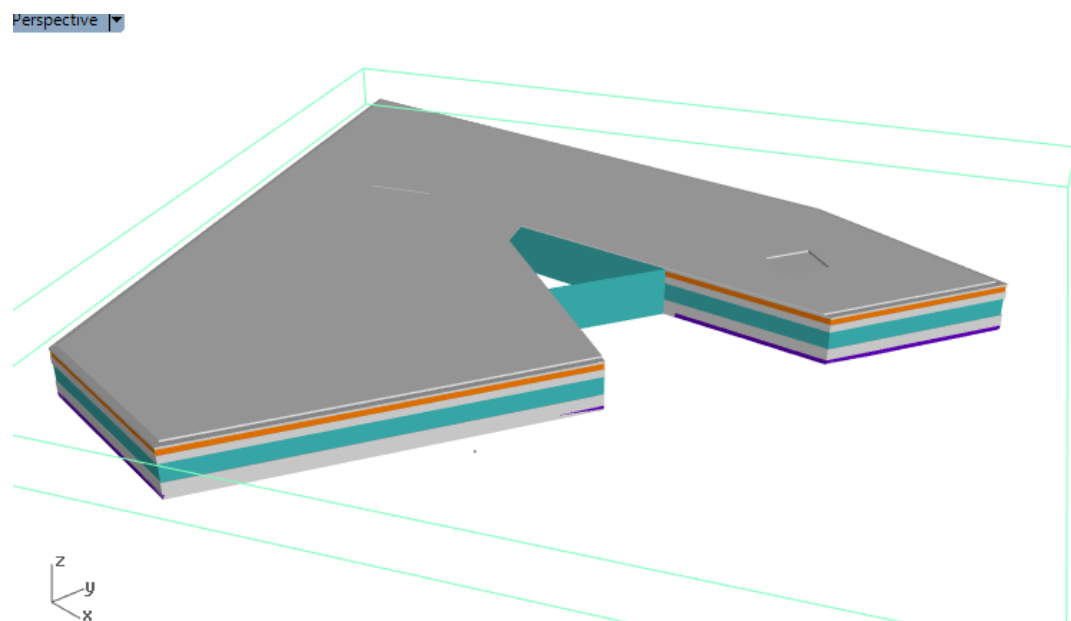

```

# Triple Glazing_Aerogel: Tau_vis = 0.32; SHGC= 0.30 ; U-value= 0.31w/m2K
# visual transmittance: 32%
# visual transmissivity: 35%
void glass Glazing_Aerogel
0
0
3 0.32 0.32 0.32

```

Figur 9: Kodan programmert inn i materialfil.

Geometrien som er valgt er gjort av hensyn til å gjøre modellen lettest mulig for dataprogrammet, og det er tatt utgangspunkt et cellekontor i 6. etasje på sørøst fasaden av OsloSolar med innvendige mål 2,4 x 4,5, altså BRA: 10,8 m². For å verifisere at løsningen fungerer for mer enn ett kontor og samtidig vurdere fleksibiliteten i planløsningen, er også hele etasjen modellert og simulert i «DIVA for Rhino» (se figur 10). Geometrien for hele etasjen er svært dyp, og det ønskes å illustrere hvor stor del av arealene som i utgangspunktet kan brukes i åpne kontorlandskap, og hvor stor del som eventuelt må brukes til rom uten behov for «varig opphold», for eksempel kott, toaletter, garderober osv.

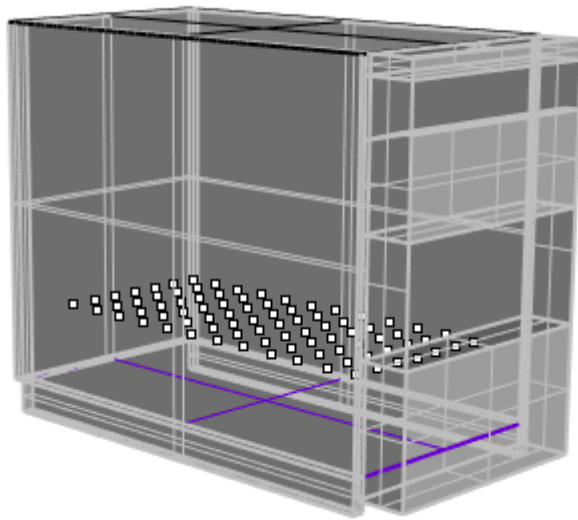


Figur 10: Hele etasjen modellert i «Rhino» og analysert i «DIVA for Rhino».

2.3.4.1 Daylight autonomy

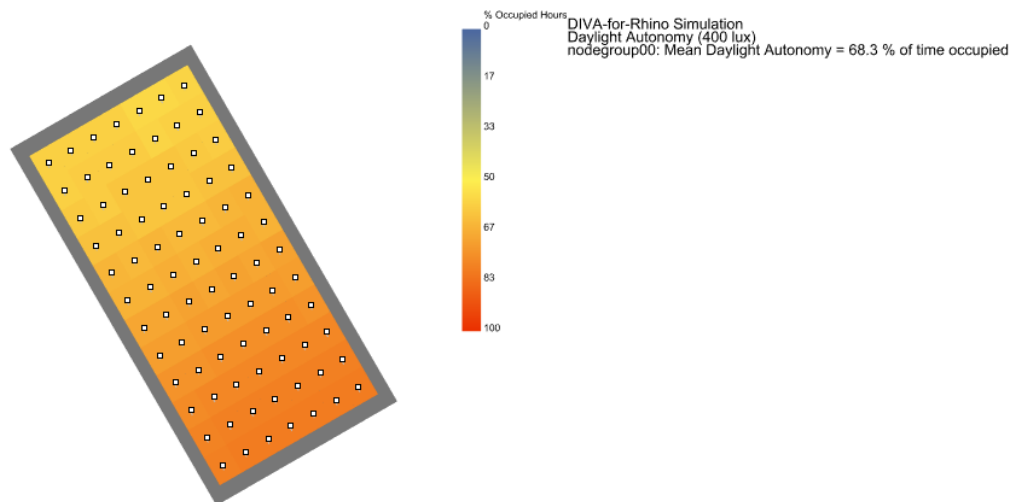
Dagslys måles i 0,8 m høyde over gulvet da dette er vanlig arbeidsplan. Det anses derfor som mest hensiktsmessig å plassere sensorene i denne høyden. I beregningsinnstillingene bestemmes også hvor stor avstand det skal være mellom nodene som fungerer som sensorer. For å se nyansene i det «lille» kontoret, velges 0,4 m som avstand. For

beregningene for hele etasjen velges en større avstand (1 m), for å unngå for treg simulering. Metoden er valgt da resultatet av beregningsmetoden er en prosentandel av de timene bygget er i bruk, hvor rommet møter kravet om «Target illuminance» ≥ 300 lux. Sammen med utregningen kan det skrives ut en «Daysim simulation report» Som gir «Daylit Area /DA300 50%» det vil si, hvor stor andel av rommet som når målet om 300 Lux mer enn 50% av tiden bygget er i bruk, samt gjennomsnittlig dagslysfaktor. 300 Lux er valgt som mål da det er denne verdien som refereres til i BREEAM-Nor manualen (NGBC 2016). DA gir altså et relativt helhetlig bilde av dagslyssituasjonen. Ved å stille inn «ambient bounce» (AB) høyere enn standardinnstillingene på $ab=2$, vil lyset ”sprette”/reflekteres det innstilte antallet ganger frem og tilbake, og dermed trenge lenger inn i rommet i simuleringen. Det er valgt en AB-verdi=7, da dette anses til å gi tilstrekkelig nøyaktighet uten at simuleringen tar alt for lang tid (DIVA for Rhino 2015). Simuleringsarbeidet ble gjort 01.11-07.11, og å kjøre DA-simuleringen for hver modell tok ca. 15 minutter.



Figur 11: Figuren viser cellekontor-modellen med rutenettet av sensorer modellert i Rhino.

Når en DA-simulasjon er kjørt, vil resultatet kunne visualiseres i modelleringsprogrammet, i dette tilfellet «Rhino». Ved hjelp av fargekoding, kan resultatene avleses og analyseres. Se figur 12.



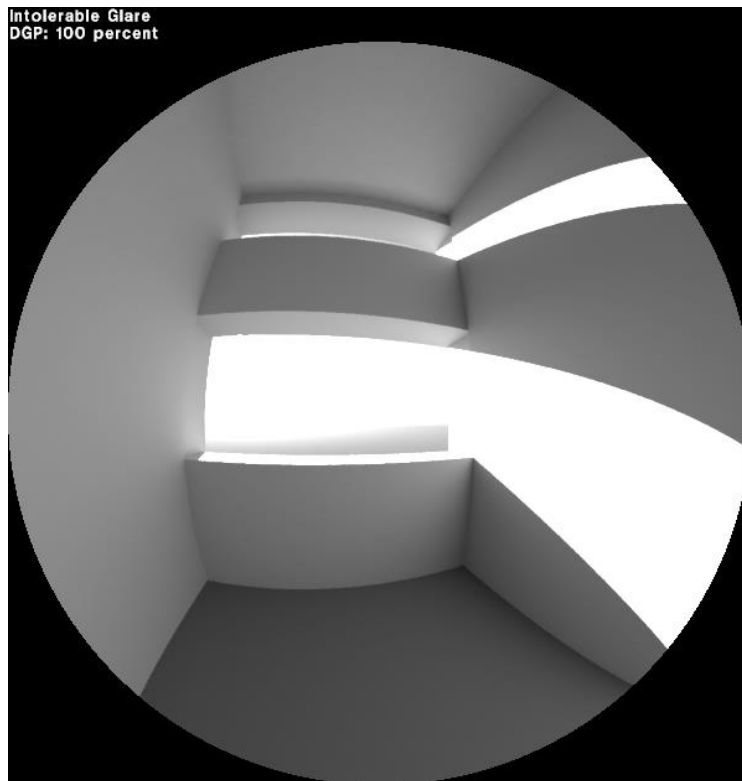
Figur nr 12: «DIVA for Rhino» DA-resultatmodell

2.3.4.2 UDI

«Useful daylight Illuminance» Sier noe om hvor ofte dagslyset er tilstrekkelig godt (innenfor et intervall på 100-2000 lux) på arbeidsflaten. DA-rapporten i «DIVA for Rhino» skriver også ut denne informasjonen (Se DA-rapporter i Appendix), og verdiene er brukt til å sammenligne med DA og DF.

2.3.4.3 Annual Glare (og «point and time»-glare)

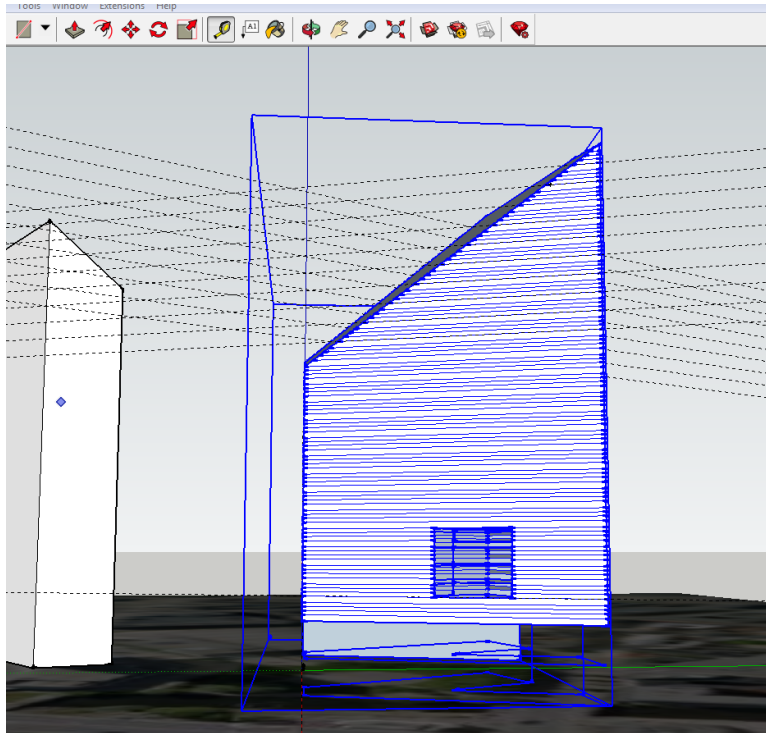
«Glare» (blending), er en simuleringsfunksjon i «DIVA for Rhino» som kan anvendes for å illustrere problemet med «for mye» dagslys. For å bruke denne funksjonen må kameraet settes i den posisjonen det ønskes å måle for. I et cellekontor, som i modellen, er det naturlig å anta at skrivebordet vil være plassert tett opp til vinduet. For å gjøre en mest mulig korrekt simulering bør kameraet settes i en høyde som samsvarer med øynene til en sittende person, altså ca. 30-40 cm over arbeidsflaten. Illustrasjonen i figur 13 viser et eksempel på «point and time»-glare som gir blendingsforholdene for en gitt dag og tid, for det valgte perspektivet. Videre vil «Annual glare» kunne gi et helhetlig bilde for blendings-situasjonen gjennom hele året. I denne oppgaven er glare-funksjonene først og fremst brukt for å sjekke at modellen fungerer, og for å få et visuelt inntrykk av lyssituasjonen inne. Det er testet at resultatene gir logiske utfall, men det blir ikke gjort ytterligere analyser.



Figur 13: Viser prinsipp for «point and time glare» informasjon. $AB=4$, gir 100% glare på en klar dag med sol 21.09 kl 09.

2.3.5 Optimalisering i Excel

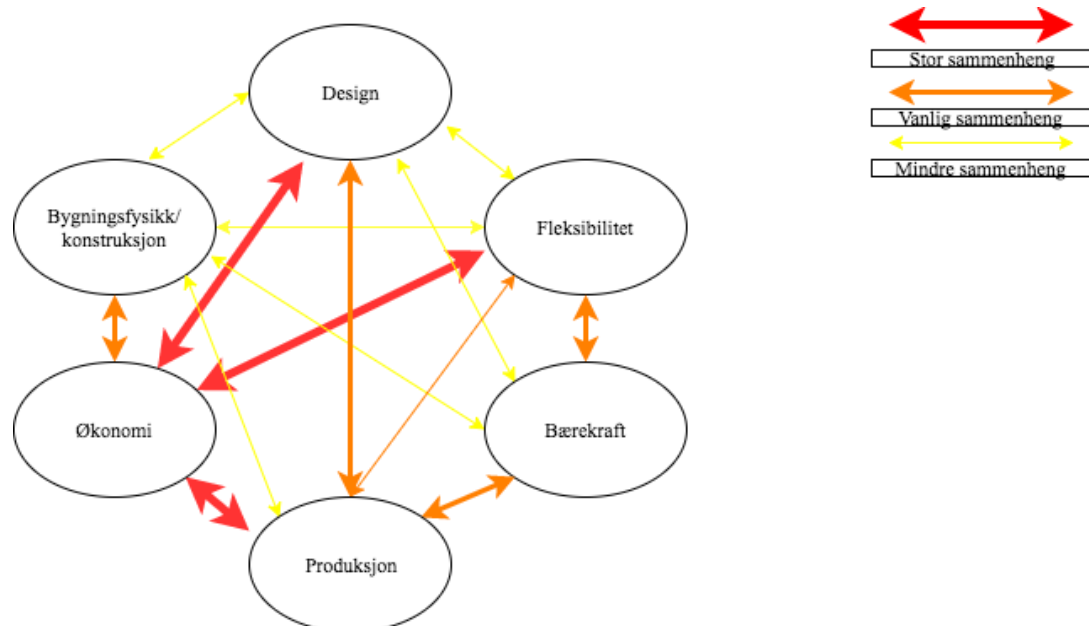
Erfaringene fra forprosjektet viste at det for dagslyset var mest krevende å nå de høye ambisjonene som følge av ønsket om BREEAM-poeng, og som videre satte en stopper for mengden energiproduksjon (Killingland 2015). Det er derfor valgt å optimalisere med utgangspunkt i «godt nok» dagslys, og ut fra dagslysresultatene optimalisere videre med hensyn til de andre parameterne. U-verdien settes konstant for ytterveggmaterialet til 0,07. Det vil simuleres for to fasadematerialsammensetninger med tykkelsene 400mm og 500mm for å synliggjøre fordeler og ulemper knyttet til de to ulike alternativene. En tilgjengelig fil fra de opprinnelige tegningene til arkitekten er åpnet i «SketchUp» og brukt for å ta mål til grunnlag for energiberegninger (se figur 14).



Figur 14: Mål tatt i «SketchUp» til grunnlag for energiberegninger.

Resultatene fra beregningene for de ulike modellene plottes inn i Excel, og brukes for å vurdere resultatene opp mot hverandre. Dette gjøres ved å utarbeide og analysere grafer ut ifra de samlede dataene. De fasadesammensetningene der både BREEAMs dagslyskrav, Futurebuilts krav til overskuddsenergiproduksjon samt kravene om energikravberegninger 30% lavere enn passivhusstandard oppfylles, blir plottet inn i et nytt diagram. Dette blir i tillegg til de målte kvantitative egenskapene, vurdert med tanke på kvalitative egenskaper. Som Schuetze et al. (2015) hevder, vil de ulike kriteriene være mer eller mindre avhengige av hverandre, og er forsøkt illustrert i figur 15. Innenfor hovedkriteriene (kvantitative og kvalitative) for en fasade, er det mange underkategorier. Sammenhengen mellom de ulike kriteriene har ofte kvalitative kjennetegn, og kan i mange tilfeller være vanskelig å kvantifisere.

Årsaken til at denne optimaliseringsmetoden er valgt er mangel på tid til å sette seg inn i et algoritmebasert optimaliseringsprogram som for eksempel «Grasshopper for Rhino», «Fractal» (Autodesk) eller lignende. Dette vil eventuelt kunne gjøres i Oslosolarprosjektet av spesialister med erfaring, eller videre i en doktorgradsavhandling.



Figur 15: sammenheng mellom kvalitative og kvantitative vurderingskriterier. Basert på figur i artikkelen «[Development of a holistic evaluation system for BIPV facades](#)» (Schuetze et al. 2015)

2.3.5.1 Beregning av varmetap

For beregning av varmetap brukes følgende formel hentet fra «Standard for beregning av bygningers energiytelse» (Standard Norge 2014).

$$H''_{tr,inf} = \frac{H_{tr,inf}}{A_{fl}} \text{ (W/(m}^2\text{K))}$$

Der

$H''_{tr,inf}$ er varmetapstallet for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap

$H_{tr,inf}$ er varmetransportkoeffisienten for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap (W/K)

A_{fl} er oppvarmet del av bruksarealet (BRA), i m²

Det er gjort noen forenklinger da det ble ansett som vanskelig å gjøre en korrekt varmetapstallberegning når caset bare tok tar for seg ett kontor kontra en hel bygning. Varmetap fra tak, gulv og som resultat av ventilasjon vil trolig uansett ha lite innvirkning på det totale varmetapstallet for et så høyt bygg som OsloSolar. Det er brukt en normalisert kuldebro for «bygninger med bæresystem i betong, mur eller stål og 10 cm kuldebryter i fasadene» = 0,09 W/m²K (Arild Gustavsen et al. 2008, s.

47), i tillegg til bygningsdelens totale U-verdi. Se appendix G for fullstendige beregninger.

2.3.5.2 Beregning av korrelasjonskoeffisient

For å vurdere korrelasjonen (sammenhengen og retningen) i dataene, er det beregnet korrelasjonskoeffisient for dagslysforholdene ved 400mm veggtykkelse, dagslysforholdene ved 500mm tykkelse, og energiproduksjonen for de ulike WWR. Det finnes mange måter å beregne denne koeffisienten på, men det er her valgt å bruke Pearsons korrelasjonskoeffisient, r , da denne er den mest kjente. R vil ligge mellom -1 og $+1$, der fortegnet bestemmer retningen på korrelasjonen og hvor nærme koeffisienten er henholdsvis -1 og $+1$, bestemmer sammenhengen (Bluman 2000).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

Formelen viser Pearsons korrelasjonskoeffisient, r , der n er antall datapar.

For å vurdere fasadens miljømessige bærekraft, burde det vært gjort en EROI-analyse av byggets solcelleanlegg for å se hvor mye energi som er investert, kontra hvor mye energi som gis tilbake, og på den måten vurdere i hvilken grad bygget er bærekraftig og hvor lang tid det vil ta for anlegget å produsere den energi som var investert i produksjon, frakt og installasjon av det. Den samme metoden kunne vært brukt til å estimere tilbakebetalingstiden for de økonomiske investeringene. Det er ikke valgt å gjøre en slik analyse da det ikke inngår som en del av problemstillingen. LCOE-metoden kan brukes for å beregne produksjonskostnader av et solcelleanlegg. Det er allikevel ikke valgt å legge vekt på dette aspektet i denne oppgaven da ifølge Thorud (2016) denne metoden ikke egner seg i Norge med timebaserte endringer i kraftprisene. Videre kunne alle materialene vært analysert både med tanke på økonomisk og miljømessig bærekraft, men det ble ikke ansett som nok tid til å utføre disse analysene. Det er allikevel gjort noen beregninger på økonomisk bærekraft som grunnlag for valget av en «tynn» eller «tykk» vegg og type isolasjon.

3. Teori

3.1. Solceller

For å kunne vurdere et byggs energiproduksjon er det viktig å ha innsikt i hvordan solcellepaneler fungerer. Dette delkapittelet om solceller vil derfor gjennomgå oppbygningen av solcellepaneler og de sentrale prosessene som fører til energiproduksjon. Videre blir det gjennomgått forhold som kan påvirke solcellepanelenes energiproduksjon og effekt. Solcellepanelene er i dette tilfellet en del av, og blir brukt som utgangspunkt for utformingen av fasaden. Kapittelet vil derfor også belyse BIPV (byggningsintegreerte solceller) og PVT (hybrid solcelle og solfanger) som konsepter.

3.1.1 Solkraft

Solkraft er betegnelsen på energien og elektrisitetsproduksjonen som oppstår når solstrålene treffer solceller. Denne prosessen kalles *fotovoltaisk effekt* som har gitt navn til den engelske betegnelsen «photovoltaics», ofte forkortet til PV (Zaitsev et al. 2016). Hva slags solkraft-anlegg som er mest hensiktsmessig å installere, kommer an på hva slags energi det er behov for. De fleste bygg trenger elektrisitet, og for å produsere elektrisitet kreves et solcelleanlegg. Hvis det er stort behov for oppvarming/oppvarming av vann, kan det lønne seg å velge et solfangeranlegg, da disse produserer mye mer energi per areal (Marton et al. 2016). Et annet alternativ er å bruke PVT som er en kombinasjon av de to overnevnte, og som derav utnytter et bredere spekter av energien i sollyset.

Mengden solenergi som treffer jorden årlig er beregnet til 5,460,000 EJ. Jordens energibehov er på ca. 500 EJ. Det vil si at 0,01 % av den årlige energien som treffer jorda, kan dekke jordas energibehov. Selv hvis vi tar hensyn til at bare 10% av energien er mulig å utnytte fordi resten reflekteres eller absorberes av jordoverflaten, skyer eller vann, vil det allikevel være tilstrekkelig å utvinne 0,1 % av energien. Denne uutforskede kapasiteten, er årsaken til at solkraft som den raskest voksende energiressursen, er den mest aktuelle kandidaten til å ta over for fossilt brensel. «Energy return on energy invested» (EROI) er et mål på nettoenergi. Jo høyere EROI-verdien er, jo mer meningsfullt er det å drive energiprosessen videre. Dette er en metode for å sammenligne energibalansen til ulike solcellepaneler, og måle hvilke som har kortest mulig «tilbakebetalingstid». Fossil energi er en ikke fornybar energikilde i den forstand at stoffene kan ta flere millioner år å danne. Oljelagrene vil tømmes, og solkraft er den

eneste energikilden, som kan erstatte oljen. Dette er fordi solkraften ikke har de samme begrensningene som de andre fornybare energikildene (Chen 2011).



Figur 16: Årlig globalt energibehov vs. globalt tilgjengelig og potensiell energi. Kilde: IEA, World Energy Council

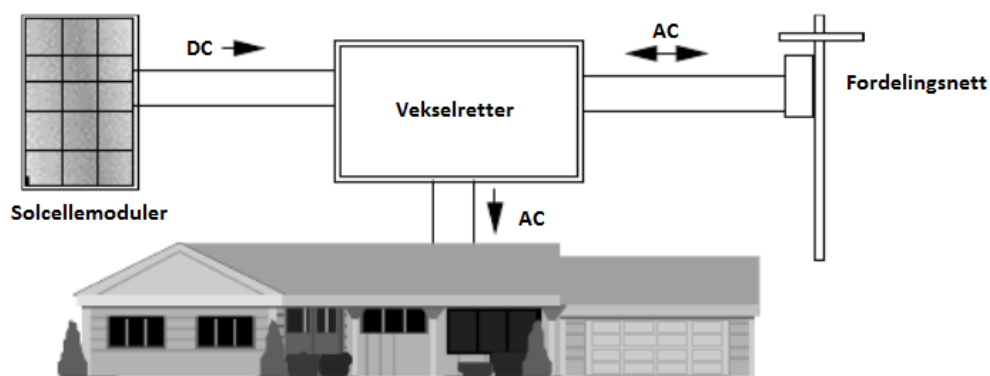
Med unntak av geotermisk energi er solen den indirekte kilden til alle fornybare energikilder. Både vann-, vind- og bioenergi må altså utledes fra solenergien. Vannkraften gjennom «vannets kretsløp» (Chen 2011). Vindkraften gjennom solens oppvarming av luften som skaper bevegelse i luften, altså vind. Og bioenergi gjennom solens sentrale rolle i fotosyntesen (Fornybar.no 2016a).

3.1.2 Hvordan et solcellesystem er bygget opp

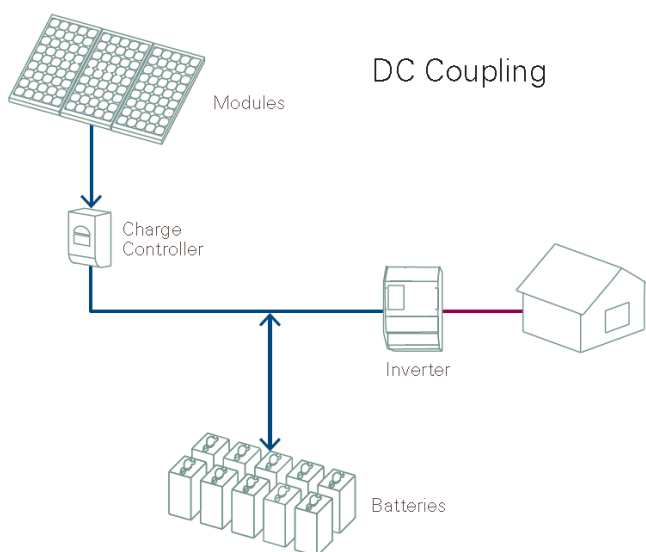
Solcellesystemer kan deles opp i to kategorier: Frittstående og nett-tilkoblede systemer. Frittstående systemer er tradisjonelt sett blitt brukt på lokasjoner der det ikke er tilgang til strøm. I Norge har denne typen vært svært mye brukt på hytter (se figur 18). I følge IEA (International Energy Agency) kan ikke det frittstående markedet måle seg med det nettilkoblede (2016). Systemer som er tilkoblet strømmettet kan kobles til og sende strømmen ut på distribusjonsnettet.

Ved siden av selve solcellepanelet er omformeren (også kalt vekselretteren) helt nødvendig for et nettilkoblede solcellesystem, men er også vesentlig for frittstående

systemer. Omformereren gjør DC (likestrøm) om til AC (vekselstrøm) som kan sendes ut på nettet (International Energy Agency 2016).

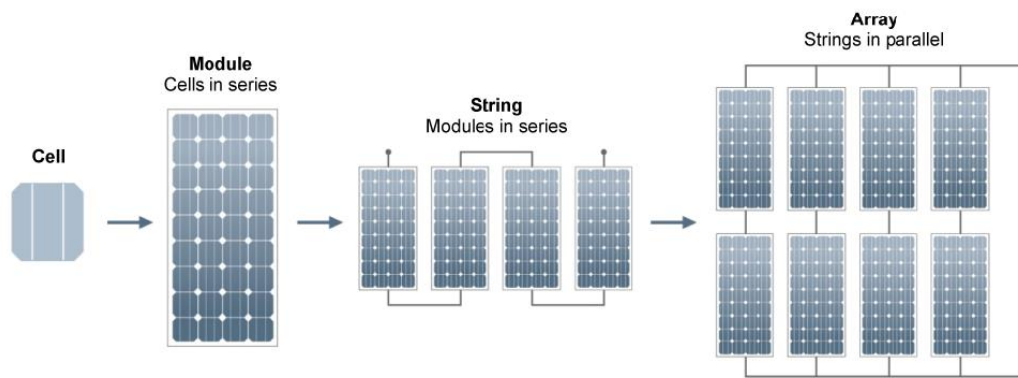


Figur 17: Hovedkomponentene i et nett-tilkoblet solcellesystem.



Figur 18: Frittstående solcellesystemer (Fornybar.no 2016b)

Solcellepaneler er bygget opp av flere enkle solceller. En rekke solceller koblet i serie kalles en modul. Modulene kan igjen kobles i serie og kalles da for en streng. Når flere strenger med moduler kobles i parallell får vi en solcellearray (se figur 19).



Figur 19: Sammenhengen mellom en enkel solcell og en solcellearray. Hentet fra «Australia's guide to environmentally sustainable homes» (Australian Government 2017)

Lagring av solenergi er fremdeles hovedsakelig forbeholdt de små, frittstående systemene, og det er de høye kostnadene knyttet til batterilagring som hindrer denne teknologien i å blomstre (International Energy Agency 2016). Mulder et al. (2013) hevder i sin artikkel om solcellebatteriers avhengighet av insentiver og prisforhold, at det må være lønnsomt å installere nettilkoblede batterier, før teknologien virkelig får et gjennombrudd. Forfatterene konkluderer med at for at batterilagring av solcellegenerert energi skal være økonomisk lønnsomt, er det avhengig av en stigning i strømprisene.

3.1.3 Hvordan solcellepanelet fungerer/produserer strøm (teknologien)

Solcelleteknologien deles stort sett opp i krystallinske silisiumsolceller og tynnfilmsolceller. Fordeler og ulemper for begge teknologiene er oppsummert i tabell 3.

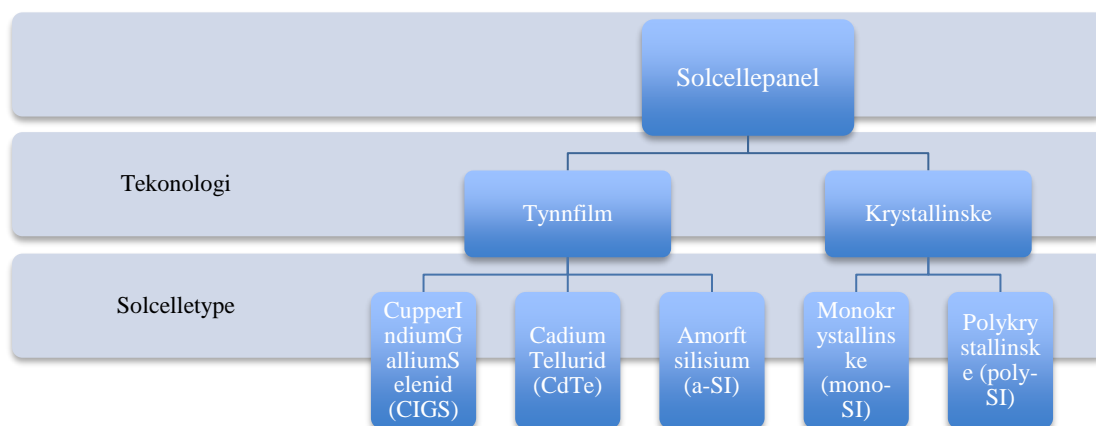
Fordeler og ulemper med de to teknologiene			
Krystallinske silisiumsolceller		Tynnfilmsolceller.	
Fordeler	Ulemper	Fordeler	Ulemper
Mer effektive	Dyre	Rimelige	Mindre effektive
Lang levetid	Lite fleksible	Fleksible	Kan inneholde miljøfarlige stoffer
Komplisert produksjonsprosess		«Enkel» produksjonsprosess	

Tabell 3: Fordelene og ulempene til knyttet til solcelleteknologiene

Tynnfilmsolceller er rimelige (grunnet få materialer og enklere produksjonsprosess (Tyagi et al. 2013)), men mindre energieffektive og kan inneholde helse og miljøfarlige stoffer. Ved begrenset areal kan det derfor være hensiktsmessig å bruke solceller laget av silisium (Marton et al. 2016), som er den desidert mest brukte teknologitypen, og utgjør 80 % av verdens solkraftproduksjon (Solenergi.no 2017). Det eksisterer også et organisk alternativ, polymersolceller. Denne typen er produsert av billige råmaterialer, men er kompliserte i måten de virker på, og har kortere levetid og lavere effektivitet enn de overnevnte teknologiene (Christensen 2014). Det blir derfor her ikke gått nærmere inn på bruk av polymersolceller.

Krystallinske solceller er laget av silisiumkrystaller, og er lett tilgjengelig da silisium er det grunnstoffet det er nest lettest å finne (Tyagi et al. 2013). Monokrystallinske celler er laget av et krystall med homogen overflate, og gjerne svart farge slik at alt lys absorberes i solcellen. Multikrystallinske celler er laget av mange krystaller og gir derfor den karakteristiske blåspraglete overflatefargen. Monokrystallinske celler er ifølge Tyagi et al. (2013) 15 % mer effektive enn de multikrystallinske cellene. De multikrystallinske cellene har på den andre siden billigere framstillingsprosess, og er derfor mer utbredt (Solenergi.no 2017). Forskjellen på disse to er at monokrystallinske celler er laget ut av et enkelt krystall, mens multikrystallinske celler er laget ut av sammensatte krystaller. Virkningsgraden til monokrystallinsk silisium vil være 4-5% bedre enn til multikrystallinsk silisium (Lied 2017). Jo tynnere skiver (wafere) silisiumet sages i, jo mer effektivt vil det være. Dette er fordi (de produserte) elektronene da får kortere vei til overflaten. Bakdelen er at halvparten av silisiumet blir til spon som ikke kan gjenvinnes gjennom prosessen (Valmøt 2016).

Tynnfilmsolceller er en teknologi som gjør at solcellene deponeres i tynne lag på en underflate som kan bygges om til en modul. Tynnfilmen er fleksibel og er ofte laget i tynne lag på et støttemateriale som for eksempel glass, stål eller plastikk. Flexibiliteten gjør tynnfilm svært anvendelig, men teknologien er ca. halvparten så effektiv som krystallinske solceller. Tynnfilm kan fremstilles av CupperIndiumGalliumSelenid (CIGS), CadmiumTellurid (CdTe) samt silisiumtyper med amorf silisium. Den sistnevnte har ikke lyktes i å følge den konstante nedgangen i kostnader ved krystallinske solceller, samt den økende effektiviteten ved andre typer tynnfilm, og er derfor lite brukt (International Energy Agency 2016).



Figur nr 20: De ulike teknologiene og typene innen solceller.

Konsentrerte solceller (CPV) er en teknologi som ved bruk av linser eller speil konsentrerer sollyset mot en mindre solcelle. CPV kan oppnå veldig høy effektivitet, men i tillegg til at det må forutsettes en omfattende installasjon fungerer de bare ved direkte sollys, og er derfor lite aktuelle i Norge (Zaitsev et al. 2016).

Det er svært store variasjoner når det gjelder størrelsen og omfanget av solcellesystemer. Størrelsen strekker seg fra enkle solceller som kan brukes til å lade opp mobilen, til store kraftverk som sender strøm ut på nettet. Figur 21 viser de ulike typene i økende størrelsesorden (International Energy Agency 2016).



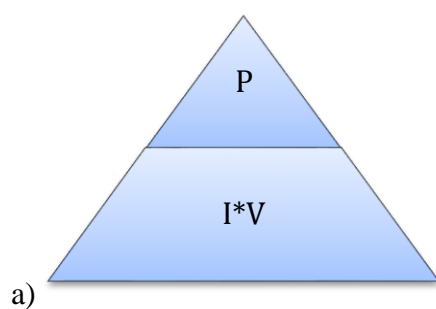
Figur 21: Viser ulike PV-systemer i stigende størrelse. Fra minste til største systemer.

I en smelting blir silisiumet «dopet» med atomer av f.eks. bor eller fosfor for å forandre stoffet til dopede halvledere (Tyagi et al. 2013). Solceller består av en positivt-dopet og en negativ-dopet halvleder. Dvs. en halvleder som har frie hull i valensbåndet, og en som har frie elektroner i valensbåndet. De to halvlederne utgjør til sammen en diode, og når fotoner fra solstråler treffer halvledermaterialet, eksiteres elektroner fra

valensbåndet og ledes via pn-overgangen. Hvis kretsen slutes med solcellen som komponent kan de frie elektronene på n-siden bevege seg inn i p-siden, og hull fra p-siden bevege seg inn i n-siden. Slik dannes pn-overgangen. Når pn-overgangen blir belastet i riktig retning, vil solcellen produsere elektrisitet, også kjent som den fotovoltaiske effekten. Elektrisiteten kan enten brukes direkte, eller lagres på et batteri. Hvor mye strøm solcellen produserer er avhengig av det innkommende lysets intensitet, men kommer også an på hva slags halvledermateriale som er valgt og dets båndgap. Silisium blir ofte valgt fordi båndgapet er så høyt at fotonene produserer elektrisitet på samme tid som den produserte spenningen også opprettholdes (Valmøt 2016). For å oppnå enda bedre virkningsgrad forskes det mye på å kombinere ulike materialer, som dermed kan absorbere et bredere spekter bølgelengder av sollyset. Dette kalles ”Høyeffektive celler”, og ved å dekke alt type sollys med ulikt materiale kan man i teorien oppnå en virkningsgrad på 85% (Fornybar.no 2016d).

3.1.4 Solcellenes effekt, og forhold som kan påvirke den

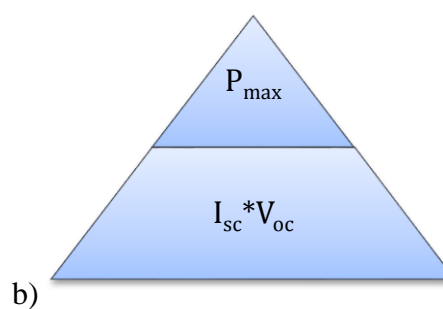
Solcellens effekt er forholdet mellom elektrisiteten som blir produsert og strålingen som treffer materialet (Chen 2011), og er en viktig parameter når solcellepaneler skal etablere seg på markedet (Tyagi et al. 2013). For å måle solcellepanelers effekt, testes de under like omstendigheter. Disse standardforholdene er ifølge «The American Society for Testing and Materials» (ASTM): 1000 W/m² intensitet, 25 °C, når solen har en innfallsvinkel på 42° i forhold til horisonten, og med luftmasse 1,5 (King et al. 1997).



Figur 22: a) Krafttriangelen

$$a) P = I * V$$

(Formel for kraft. P = kraft, I = strøm og V = spenning)



b) «Fill factor»-triangelen

$$b) FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}}$$

(Formel for “Fill Factor”. I_{sc} = short-circuit current og V_{oc} = open-circuit voltage)

W_p eller «Peak Watt» gir kraften produsert i Watt under «standard forhold» (Chen 2011). Det må understrekes at terminologien innen solkraft vil variere fra produsent til produsent. I USA brukes ofte termene Peak Power og P_{max} , mens det samme betegnes som Nominal Power og P_{mpp} i Europa. Disse vil stort sett ha enheten kWp. I en raskt utviklende bransje kan definisjoner og terminologien være mindre nøyaktig og konsekvent (Marion et al. 2005). Det må allikevel tas i betraktning at energiproduksjon ikke alltid skjer under standard forhold. Ulike forhold kan føre til tap knyttet til solcellenes produksjon. Slike tap kan være ohmske tap, termiske tap, snø osv. (Marton et al. 2016). Ifølge Tyagi et al. (2013) er de tre viktigste faktorene som påvirker solcellepanelets effekt (1) temperatur, (2) støv eller annet som dekker solcellepanelet og (3) fukt (Tyagi et al. 2013).

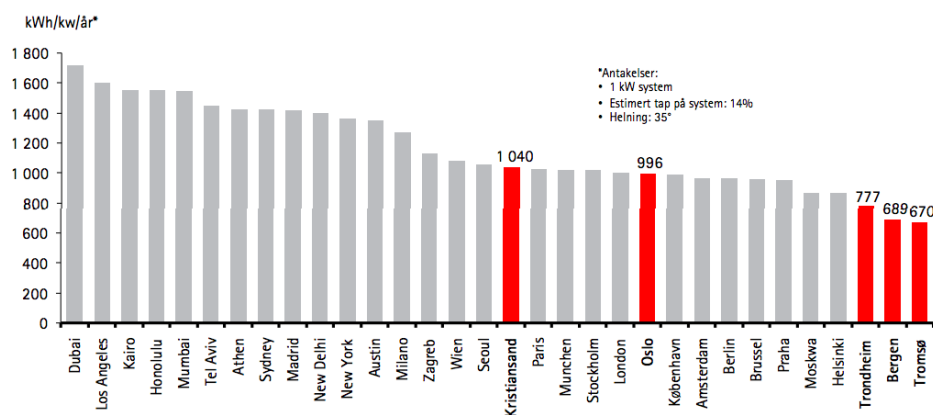
Når plasseringen av solcellepanelet skal velges, må himmelretninger, stedskoordinater, panelvinkel samt nærliggende skyggekluder tas hensyn til. I Oslo vil ifølge Marton et al. (2016) er solcellepanel vinklet mellom 35 og 40 grader mot sør produsere mest energi årlig. Et solcellepanel vil ha mer eller mindre samme effekt etter 25 år, men bør da byttes ut. Dette bør legges til rette for allerede ved byggeprosess (Marton et al. 2016).

De mest effektive solcellene på markedet per 2016 produseres av «Sunpower», og har en effekt på 22% (Valmøt 2016). Til sammenligning, har «Kaneka Corporation» per (21.09.2017) verdensrekorden i verdens mest effektive solcelle med en effekt på 26,63% (Kaneka Corporation 2017). Det kan forventes leveranse på solcellepaneler med 23 % effekt (375 fra Sunpower) om 2 når OsloSolar har forventet byggestart i 2019 (Selj 2017).

3.1.5 Installere solkraft i Norge?

Vannkraft står for 90 % av all fornybar energi, og i Norge genereres 98% av all elektrisitet i vannkraftverk (Chen 2011), (Lindberg 2017). Behovet for annen fornybar elektrisitet kan derfor diskuteres, men det er ifølge Marton et al. (2016) allikevel mange myter knyttet til solenergi i Norge. Eksempler på slike myter at det er for lite sol i Norge til at det er lønnsomt, at fremstillingen av solceller er en energikrevende prosess, at overskuddselektrisiteten ikke kan sendes ut på nettet, at solcellepanel og solfangere krever mye vedlikehold, at panelene og solfangerne er inneholder miljøfarlige stoffer, og at det

er begrensninger knyttet til utformingen og det estetiske uttrykket. Oslo har ifølge Zaitsev et al. (2016), som det kommer frem av figur 23, bedre potensiale enn for eksempel Berlin.

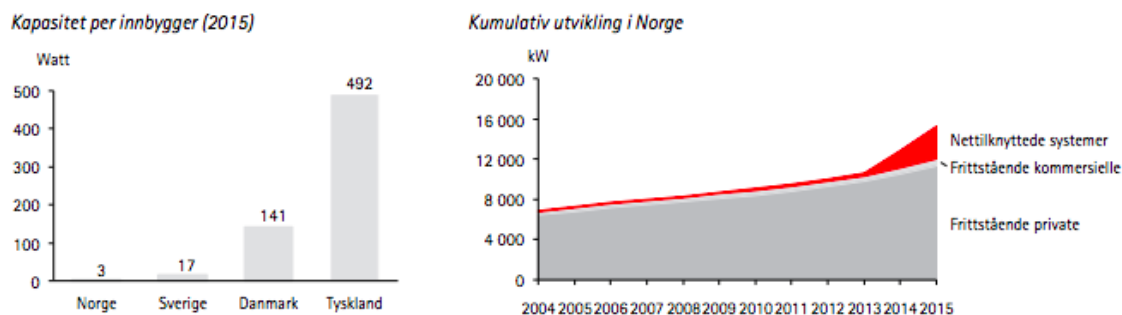


Figur 23: Potensialet for strømproduksjon fra solkraft for utvalgte byer. Hentet fra “EU Joint Research Centre PVGIS, NREL, PVWatts, Accenture research”.

Solenergi kan bidra til energieffektive bygg med egenprodusert fornybar energi, bedre utslag i energimerkeordningen, mulighet for en god BREEAM-NOR-sertifisering samt lite vedlikehold. Med stor nedgang i prisen på solcelleteknologi de siste årene, og prognoser som tilsier at prisene vil fortsette å synke ytterligere, er det naturlig å anta at dette er en næring som har kommet for å bli (Marton et al. 2016).

3.1.5.1 Potensialet

Potensialet for strømproduksjon generert av solceller i Norge er relativt godt. Særlig med tanke på at vi har lave temperaturer, og som Tyagi et al. (2013) hevder, synker effektiviteten til solcellene ved økende temperatur. Norge er likevel som det kommer frem av figur 24, langt bak sine naboland når det kommer til installert solkraftkapasitet.



Figur 24: Installert kapasitet i Norge og naboland. Hentet fra WWF og Accenture sin rapport «Mot lysere tider» (2016).

Zaitsev et al. (2016) poengterer at hvis solkraften skal gjøres mer tilgjengelig for privatpersoner i tillegg til for de kommersielle aktørene, må teknologien også gjøres mer tilgjengelig. Forretningsmodeller der aktørene tilbyr fullstendige løsninger med både søknadsprosesser, teknologi og installasjon blir derfor mer og mer vanlig. Mange trigges av tilbud der merkevaren er kjent fra før av. Innen solcelleteknologi har både IKEA og Tesla gått frem som forbilder på dette området. Et problem med solkraften i Norge per i dag, er at det er for vanskelig å orientere seg om hva det faktisk vil koste og hvor lang tid det vil ta før man har betalt ned investeringskostnadene (Zaitsev et al. 2016).

«Our approach is to install systems to the highest engineering standards while making adoption simple for our customers»

hevdes av SolarCity Corporation (2015, s. 9), og gir med det et eksempel på at bedriftene nå fokuserer på å gjøre produktet mest mulig tilgjengelig for sluttbruker.

Politikken har en sentral rolle i energiproduksjon, og selv om teknologien er der, må det legges til rette for å bruke den. Statlig, finansiell støtte til utvinning av fornybar energi kjenner vi i Norge gjennom Enova, men denne typen ordninger har eksistert i USA helt siden 1978. President Jimmy Carter oppfordrer i sin tale «Solar Energy Remarks Announcing Administration Proposals» juni 20, 1979:

«Harnessing the power of the Sun to enrich our lives as we move away from our crippling dependence on foreign oil.» (Carter 1979, avsn. 16).

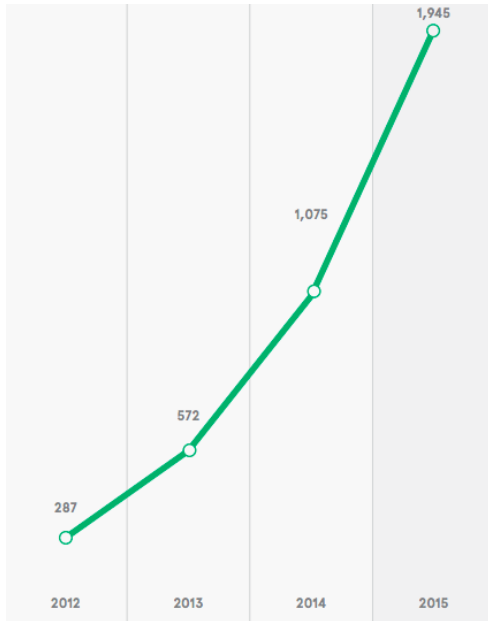
Dette er nesten 40 år siden, men er fremdeles like aktuelt.

Økonomi har lenge vært årsaken til at det ikke har blitt satset mer på solkraft, men i land med høye strømpriser og mangel på andre energiresurser er det allerede oppnådd nettparitet. FIT-loven (feed-in tariff), ble på starten av 90-tallet satt i kraft i mange Europeiske land for å sikre solkraften tilknytning strømmettet, hvor strømmen ble kjøpt uavhengig av etterspørsel til en fast tariff (Chen 2011).

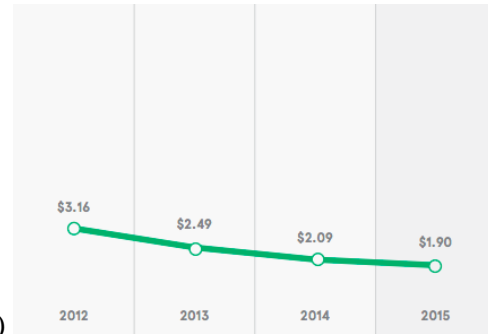
3.1.5.2 Økonomisk lønnsomt?

Det er mange fordeler knyttet til solenergi, men i hvilken grad er det å investere i solkraft egentlig lønnsomt? Norge ligger som det kommer frem av figur 24 et stykke bak sine naboland når det kommer til installert solkraft. Mye av årsaken til den lave lønnsomheten knyttet til solkraft i Norge, er at det har vært lave strømpriser og høye teknologikostnader, samt Norges rikelige tilgang på vannkraft. Bruk av solkraft i Norge har først og fremst vært forbeholdt områder uten tilgang på strøm (hytter osv.). Økning i strømprisen (Amundsen et al. 2017) samt lavere teknologipriser og effektivisering av installasjonen vil gjøre solkraft betraktelig mer lønnsomt. Det forventes en kostnadsreduksjon på mellom 40 % og 50 % for investeringskostnadene innen 2030, og solkraft vil bli mer gunstig og tilgjengelig for flere. Tilbakebetalingstiden vil også trolig halveres (Zaitsev et al. 2016). Til sammenligning, sank solcelleteknologiprisene i Kina med 80 % mellom 2008 og 2013 (Fialka 2016), noe som har resultert i store investeringer og at Kina nådde sine 2020 mål på 105GW installert solcellekapasitet allerede i 2017 (Morgan 2017).

Lønnsomhet er en viktig motivasjonsfaktor når det investeres i solkraft, men det viser seg at kundene også vektlegger verdien av å kunne bruke strøm de har produsert selv (Zaitsev et al. 2016). Et mål om å tilfredsstille tekniske krav samt oppnå miljøsertifiseringer, viser at miljøsertifiseringsordninger som Energimerkeordningen og BREEAM, er med på å drive frem nye, innovative løsninger knyttet til solkraft. I tillegg til egenprodusert strøm som en motivasjonsdriver, viser en undersøkelse gjort av Rambøll at Norge er det landet der flest vektlegger «image og omdømme» som viktige grunner til å velge bærekraftig (Byggeindustrien 2017). Videre viser Amerikanske studier at solcellepaneler kan øke markedsverdien av bygninger (IE MIT 2015). Dette understreker også Sunniva Baarnes i sin artikkel «Grønne bygg; bra for miljøet, bra for helsen - bra for business» (2017). Både fordi energiproduksjonen vil senke energiutgiftene til bygningen, men også fordi det er å sende ut et sterkt miljøsignal, noe som er viktig for mange bedrifter hvor et bærekraftig «image» veier tungt. Effektivisering av installasjonen av panelene fører til at man slipper å kjøre frem og tilbake med utstyr, og reduserer på den måten distansen kjørt, utslipp og kostnader knyttet til frakt (Zaitsev et al. 2016).

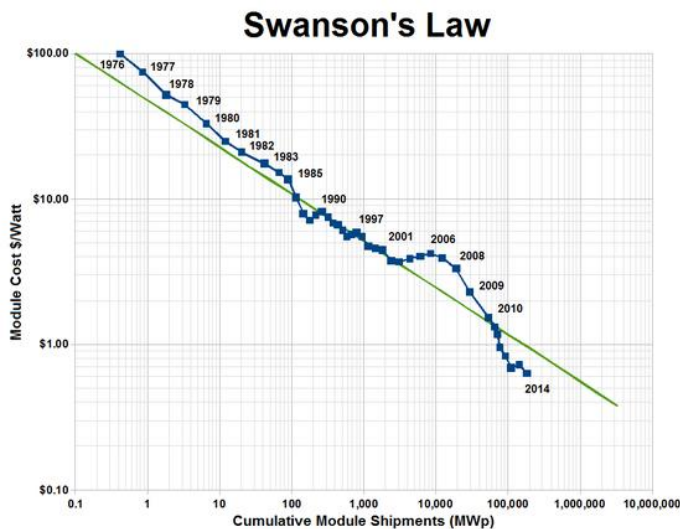


a) Kumulativ MW installert av SolarCity.



b) Synkende SolarCity installasjonskostnader.

Prisen på solcelleteknologi har falt jevnt over mange tiår. At kostnadene for solcelleteknologi vil synke i takt med mengde installert kapasitet ble spådd allerede i 1965 av Richard Swanson, som har fått teorien «Swansons lov» oppkalt etter seg (se figur 26). Grafene i figur 25 viser kostnader og installert effekt i SolarCity, og underbygger denne teorien (SolarCity Corporation 2015).



Figur nr 26: Swansons lov. (Wikipedia 2017)

Når produksjonskostnadene skal beregnes, brukes ofte LCOE-metoden (Levelized Cost Of Energy). Metoden estimerer hvor mye produktet bør selges for, for at kostnader fra investeringer og drift gjennom levetiden til produktet går i null. Bjørn Thorud hevder at LCOE- metoden er en god tilnærming for å få overblikk over produksjonskostnadene for solcelleanlegg i land hvor det opereres med fastpriser på salg av solkraft, men at i Norge kan kraftprisene endres hver time gjennom døgnet, og metoden derfor ikke vil ikke egne seg like godt (Thorud 2016).

$$LCOE = \frac{\text{Kostnader over anleggets levetid}}{\text{Kraftproduksjon i anleggets levetid}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Ligningen for LCOE hvor I_t = Investeringskostnader i år t , M_t = Drift og vedlikeholdsutgifter i år t , F_t = Drivstoffutgifter i år t , E_t = Energiproduksjon i år t , r = diskonteringsrate, n = antatt levetid for produksjonsanlegget.

Tidligere har solkraft bare vært lønnsomt i områder uten tilgang på strøm, men lønnsomhetsbarrierene er brutt, og solenergi kan i solrike land nå konkurrere med de tradisjonelle strømkildene. Da de synkende prisene gjør at flere markeder faller innenfor lønnsomhetsgrensen kan det tenkes at det for eksempel hytter og fritidsboliger i Norge vil lønne seg å koble seg av strømmettet, og bare bruke egenprodusert energi. Dette er fordi man da slipper å betale nettleien/ faste avgifter for et nett som uansett bare brukes deler av året. For at dette skal bli lønnsomt og stabilt, forutsettes også en utvikling av batteriteknologien. Teknologien er blitt billigere, solcellemodulene har fått bedre virkningsgrad, og selv om installasjonen fremdeles koster, vil lønnsomheten øke fordi solenergi blir billigere per Watt (Valmøt 2016).

En årsak til at investeringskostnadene er så store er at installasjonen er relativt omfattende. Et større fokus på å utdanne installatører med solcellekunnskap vil også effektivisere og øke lønnsomheten. Det burde i tillegg være enklere for kundene å vurdere lønnsomheten selv, da mange små aktører i dag har urealistiske forventninger til lønnsomhet. Et digitalt verktøy er under utvikling for å behandle nettopp dette. «Smarte» hjem vil være avhengig av solkraft for å gi strøm til det andre «smarte» utstyret hjemmet består av (Zaitsev et al. 2016).

3.1.5.3: Støtteordninger

En av årsakene til det pågående prisfallet i solcelleteknologien er et løft av teknologien grunnet subsidierte ordninger med Tyskland og Japan i front (Valmøt 2016). Nivået på slike støtteordninger vil spille stor rolle for i hvilken grad og hvor raskt lønnsomhetsbildet for solcellesystem vil utvikle seg.

Ifølge Marton et al. (2016) er rammeverket for solkraft i Norge hovedsakelig bygget opp av 3 hovedmekanismer: investeringsstøtte, Plusskundeordningen og el-sertifikater.

Næringsaktører må ikke betale merverdiavgift (MVA), og vil derfor på den ene siden ha en fordel når de skal installere solkraft i forhold til privatpersoner. På den andre siden vil vedlikeholdskostnadene være større på store anlegg, enn på små private anlegg.

Enova gir ulike støtteordninger for ulike bygg hvis det ønskes å installere solkraft. Videre gir kommuner ytterligere støtte, men dessverre er mengden støtte svært avhengig av hvilken kommune du bor i (Marton et al. 2016).

Plusskundeordningen går ut på at både private husholdninger og næringsaktører ved å betale en årlig lisens på 15 000 NOK, kan sende opp til 100 kW ut på nettet i perioder de produserer mer energi enn de selv bruker. Samtidig unngås deler av nettleien og andre avgifter. Problemet for private husholdninger kan bli at årskontingenten blir for høy og at lønnsomheten synker tilsvarende. Et problem som kan oppstå for store næringsaktører er at man produserer mer enn disse 100 kW. En mulig løsning i så fall kan være å dele opp systemet i mindre deler, mellom flere aktører, og dermed holde seg innenfor grensen. Hvis for eksempel nabobyggene også ha solkraft, men har ikke mulighet til å produsere egen, kan en løsning være såkalt «Community solar» er et vanlig konsept i USA. Dette innebærer at aktører som ikke har et eget areal til å produsere solkraft på, kan kjøpe seg inn i et anlegg. Dette konseptet begynner også å vokse frem i Europa. Et annet problem ved Plusskundeordningen er at det ikke vil lønne seg å produsere mer elektrisitet enn det man bruker selv. En får lite tilbake for å «selge» overskuddet sitt til nettet når man oppretter en såkalt el-bedrift (el-sertifikat). Det er ikke bare grunnet politikken rundt dette i Norge, men også grunnet de i utgangspunktet lave strømprisene, at FiT-konsepter ikke vil fungere optimalt (Zaitsev et al. 2016), (Fladen & Sandnes 2016). Mulder et al. (2013) har laget en oversikt over FiT-ordninger i Europa, og viser at Norges situasjon per 2013 er at det finnes en FiT-ordning hvor strømmen kan sendes ut på nettet, men at strømmen selges for mindre enn det den eventuelt må kjøpes tilbake for (Mulder et al. 2013).

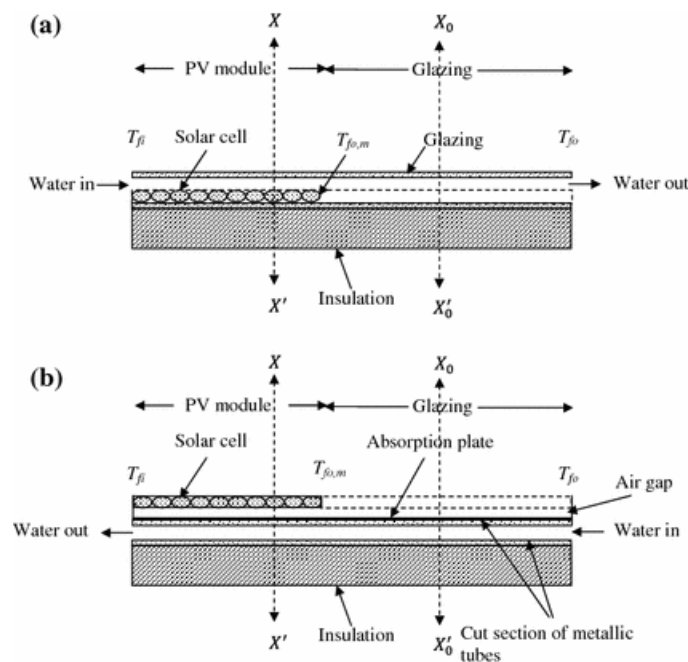
3.1.6 BIPV eller BAPV?

Det er utviklet mange monteringsstrukturer for solcellepaneler, særlig innen bygningsintegreerte solcellepaneler (BIPV). Det finnes både fasade- og tak-elementer med innslag av solcellepaneler, men også halvtransparente glasselementer (PV-vinduer) og taksteinimitasjoner som fungerer som solcellepaneler (International Energy Agency 2016). Peng et al. (2011) definerer BIPV som solceller som er integrert i selve bygningskroppen eller i den arkitektoniske utformingen av bygget. Denne betegnelsen blir ofte forvekslet med BAPV, som er forkortelsen for det engelske uttrykket «building applied photovoltaics», altså solcellepaneler som er installert på ferdig konstruksjon. I så måte faller solcellepanelene planlagt for caset «OsloSolar» under kategorien BIPV, da de er med på å bestemme byggets endelige design. Et BIPV-element kan altså fungere som en bygningskomponent på samme tid som at det genererer fornybar energi. Denne fordelene kombinert med den globale «nullenergi bygg»-trenden indikerer stor vekst i bruken av BIPV i fremtiden. Om EU skal nå sitt 2020-mål om at alle nybygg skal være nNEB, vil det avhenge av en ekspansjon i den installerte BIPV-kapasiteten (Schuetze et al. 2015).

Uavhengig av hvilken type installasjon som ønskes for bygget er det viktig å tilrettelegge for vedlikehold og utskifting av panelene. Ifølge «Tipsheftet om solenergi» utarbeidet av Grønn Byggallianse har et solcellepanel vanligvis en levetid på ca. 25-30 år (Marton et al. 2016). For at et bygg skal være bærekraftig, bør det imidlertid stå lengere enn dette, og det bør altså være en plan for hvordan panelene kan vedlikeholdes eller skiftes (Peng et al. 2011).

3.1.7 PVT

Ved å bruke luft eller vann som medium kan solcellepaneler i tillegg til elektrisitet utnytte termisk energi. Paneler med disse egenskapene kalles PVT (Photovoltaic thermal). PVT-paneler har også mulighet til å kjøle ned solcellepanelene slik at de virker mer effektivt. PVT-systemer deles opp i de som bruker luft, og de som bruker vann som flytende medium. Den kalde luften/vannet føres som i figur 27 inn (a) over eller (b) under solcellepanelene, og den oppvarmede væsken kan så brukes til varmtvann eller oppvarming av arealer i bygget. For PVT med vann skilles det mellom ugjennomsiktige og halvgjennomsiktige PVT-systemer, der den sistnevnte har best ytelse (Tiwari et al. 2016).



Figur 27: Viser prinsippsnitt for PVT med vann ført inn a) over, og b) under solcellene. Prinsippet for luft som væske er det samme (Tiwari et al. 2016).

3.1.8 Solcellesimuleringsprogram

Jakica analyserer i sin artikkel «State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics» en rekke ulike designverktøy for modellering og simulering av solcelleteknologi. Det gjennomgås hvilke funksjoner de ulike verktøyene har, og hvordan funksjonene fungerer. For BIPV brukes det vanligvis en enkel metode som bare tar de globale strålingsverdiene på fasaden/taket, og ut ifra det, beregner det elektriske utbyttet (Jakica 2017).

3.1.8.1 «Skelion»

«Skelion» er en programvare som estimerer strålingsnivået på en flate i en modell. Programmet tar geografisk plassering, skygger fra omkringliggende bygg og terreng i betraktning. «Skelion» henter sine data enten fra PVGIS (Photovoltaic Information System), som er en database med hensikt å fremme fornybar energi i EU, eller PVWatts. Programvaren er en plug-in for «SketchUp», og gjør det mulig å bruke 3D-modeller som grunnlag for beregningene (Suárez-García et al. 2017).

Både PVWatts og PVGIS beregner elektrisitetsproduksjonen for et solellesystem. Det er lite som skiller de to ulike programmene da de begge gir relativt like rapporter som inneholder gjennomsnittlig produksjon både årlig og månedlig for hele systemet basert på timebaserte data, men også for ett og ett panel, eller en og en definert gruppe hvis det er ønskelig. Programmene gjør det mulig å velge lokasjon, men er begrenset til de stedene som har metrologiske data (DIVA for Rhino 2015). For Oslo-området er den nærmeste stasjonen lokalisert på Fornebu.

3.2 Dagslys

Det er hovedsakelig to årsaker til at vi har vinduer. På den ene siden ønsker en å kunne se ut (utsyn), og på den andre siden vil en slippe lyset inn (dagslys). Et ønske om å spare energi, minimere varmetap og unngå for mye solinnstråling har ført til at man i dag i større grad bygger med minst mulig ytre overfalte (fører til store/dype volumer) og med små vindusarealer. Disse prioriteringene medfører at det ofte blir lite dagslys i de indre delene av lokalene. Dette er et problem da dagslys er helt nødvendig for et sunt og godt arbeidsmiljø. Det er derfor innført krav om dagslys og utsyn på alle arbeidsplasser (Arbeidsplassforskriften § 2-10 2011). Valget av type vindusglass er også en viktig faktor når energisparing og dagslys skal vurderes parallelt. Dette delkapittelet vil ta for seg de viktigste aspektene knyttet til dagslys. Det vil i utgangspunktet legges vekt på dagslys i kontorbygg, da OsloSolar etter planen hovedsakelig skal fungere som kontorarealer.

3.2.1 Et krav eller en nødvendighet på arbeidsplassen?

Dagslyset og dets variasjoner er en svært viktig del av naturen og virker også inn på menneskets natur. Det styrer dags-, måneds- og årsrytmen, og virker inn på kroppene våre. Et søvnhormon blir produsert i epifysen, og denne produksjonen blir stimulert av dagslys. Hvis vi får for lite dagslys, vil epifysen fortsette å produsere dette søvnhormonet, selv på dagen (Lærheim 1988). Forskning på vinduers og dagslysets innvirkning på helsen viser at dagslys på arbeidsplassen både kan føre til mer søvn, bedre produktivitet og bedre psykisk helse hos de ansatte (Boubekri et al. 2014). Som det kommer frem i SINTEF Byggforsk Byggdetaljer (heretter referert til som bks-blader), er det i TEK10 satt krav om tilfredsstillende dagslysforhold både i arbeidsarealer og i andre oppholdssoner. I TEK17 heter det at

«Rom for varig opphold skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys» og at *«Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn.»* (TEK17 § 13-7 (2) & § 13-8 (1) 2017).

«Rom for varig opphold» er ikke klart definert i TEK17, men i TEK10 sin veiledning defineres det slik *«Med rom for varig opphold i boenhet menes stue, kjøkken, soverom og arbeidsrom.»* (TEK10 § 12-7 (3) 2010). Når en bygning skal utformes bør det være fokus på bygningens funksjonelle behov. Hvem skal bruke den, og hvordan skal den brukes?

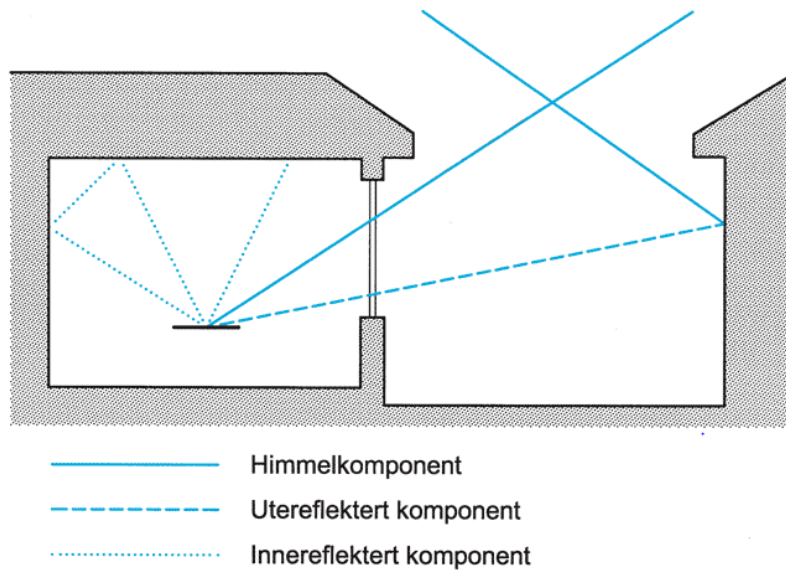
Dagslysnivået skal tilfredsstillende disse funksjonelle behovene. Grunnet svært varierende dagslys avhengig av årstid og vær, egner ikke dagslys seg alene som belysning på arbeidsplasser, men kan fint kombineres med elektrisk belysning (Almås et al. 2016).

Til tider kan det til tross for ønsket om mye lys inn, være behov for å skjerme for lyset. På arbeidsplassen er det viktig at man unngår direkte sollys da det kan virke forstyrrende samt reflektere i skjermer osv. Dette er særlig et problem på morgenen, kvelden, og om vinteren, da solen står lavest på himmelen, og kan føre til blinding. For å unngå direkte sollys brukes solskjerming. Den bør være behovsstyr, da ønsket mengde lys ofte er situasjonsbasert (Almås et al. 2016).

3.2.2 Dagslyssimulering

I dag bruker arkitekter stort sett digitale verktøy for å visualisere og presentere prosjekter. De digitale modellene kan ofte importeres direkte inn i 3D analyseprogrammer for dagslysanalyse eller andre analyser som det ønskes å undersøke. Denne typen analyser har blitt mer og mer vanlig da det er krav om å kunne dokumentere visse nivåer for å for eksempel oppnå miljøsertifiseringspoeng. For å gjøre en fullstendig dagslysvurdering, bør også visuell komfort og behovet for kunstig belysning beregnes. I tillegg bør det gjennomføres en termisk analyse (Jakubiec & Reinhart 2011).

Den generelle hovedregelen i TEK10/TEK17 krever at «*gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet er minimum 2%*» (TEK10 § 12-7 (3) 2010). For å bestemme dagslysfaktoren, må vi ta høyde for 3 elementer. Diffust himmellys (uskjernet, men ikke direkte sollys), utereflektert komponent (lys reflektert utenfra og inn) og innereflektert komponent (lys reflektert rundt omkring inne). Både det diffuse himmellyset og den utereflekterte komponenten må gjennom glass, og skal derfor korrigeres for transmisjonstap. Se figur 28.



Figur 28: Dagslysfaktorens komponenter hentet fra (Byggforsk 2004).

Det finnes mange ulike måter å simulere, beregne og vurdere dagslys på, og for å vurdere hvilken metode som bør brukes, bør årsaken til beregningen tas i betraktning. Gjøres vurderingen for å møte et krav, eller for å studere de beste dagslysforholdene samt visuell komfort? Da dagslysfaktor (DF) er den beregningsmetoden som det refereres til i tekniske krav og i miljøsertifiseringsmanualer som BRREAM-NOR, blir det ofte prioritert å simulere denne faktoren ved prosjektering av bygg. US Green Building Council (USGBC) står bak den amerikanske miljøsertifiseringsordningen «Leadership in Energy and Environmental Design» (LEED), hvor de på den andre siden har tatt i bruk «daylight autonomy» (DA) som metodekrav for å nå mål (USGBC 2017). LEED-sertifisering tilsvarende BREEAM-sertifisering som ordning, men har altså ulike krav til dokumentasjon.

3.2.2.1 Dagslysfaktor

DF er den enkleste måten å beregne dagslys på, men den er også svært upresis, da det selv ved bruk av dataprogrammer som regel blir gjort forenklinger for å øke regnehastigheten.

$$\overline{DF} = \overline{DF_0} * K_{nedenfra} * K_{ovenfra}$$

Formelen over er en enkel formel for å beregne tilnærmet gjennomsnittlig dagslysfaktor der DF_0 er gjennomsnittlig dagslysfaktor, og $K_{nedenfra}$ og $K_{ovenfra}$ er korrelasjonsfaktorer for henholdsvis skygge fra balkong og lysgrav eller avskjermet horisont (Byggforsk 2004).

K_{nedenfra} og K_{ovenfra} kan hentes fra kurver utarbeidet av Byggforsk og er faktorer som korrigerer for skygge over eller under et vindu. Metoden har allikevel en rekke begrensninger. (Byggforsk 2004). En annen svakhet med dagslysfaktorberegning er at metoden ikke tar høyde for avgjørende faktorer for visuell komfort som lokasjon og blending. Disse faktorene kan simuleres gjennom mer avanserte beregningsmetoder.

3.2.2.2 Dagslysauntonomi

Da solens bane og klimaet er svært forskjellig opplevd ulike steder på jorda, er det hensiktsmessig at simulasjonen er lokasjonsbestemt. DA er en klimabasert beregningsmetode som deler rommet opp i et rutenett av punkter der punktene fungerer som dagslyssensorer. Beregningene gjøres på grunnlag av en «typical meteorological year»-fil (TMY-fil) med timebaserte klimadata for et konkret sted for et helt år, og gjør at det kan hentes ut mer detaljerte og nyanserte resultater. En DA-beregning vil resultere i en prosentverdi som angir hvor stor del av de timene bygget vanligvis er i bruk, det gitte «belysningsmålet» (Target illuminance) er nådd. En kan også gå inn i hvert enkelt punkt i rutenettet, og hente ut DA-resultatet for en spesifikk time, eller et gjennomsnitt for en spesifikk dag, uke, måned eller år (Nabil & Mardaljevic 2006).

For å vurdere visuell komfort, og grad av blending kan beregningsmetoden «Annual Glare» brukes. Denne metoden gjør det mulig å hente ut blendingsforholdene for en gitt dag og tid, for et valgt perspektiv (DIVA for Rhino 2015).

3.2.2.3 UDI (Useful Daylight Illuminance)

UDI er en beregningsmetode som gir det årlige tilførselen av dagslys med en intensitet mellom 100 og 3000 lux, og er basert på timebaserte klimadata for et spesifikt sted over et år. Det skilles mellom supplerende, og autonom UDI. Den supplerende gjelder lyset mellom 100 og 300 lux, da det antageligvis vil være behov for å supplere med elektrisk belysning. For den autonome er lyset mellom 300-3000 lux, og trolig vil være tilstrekkelig i seg selv. Mardaljevic et al. poengterer at UDI er basert på undersøkelser som ble gjort før LCD-skjermer kom på markedet. CRT-skjermer som stort sett ble brukt da undersøkelsene ble utført var mer utsatt for blending, og fare for visuelt ubehag. Hva som etter definisjonen er «nyttig» eller «usefull» i beregningsmetoden kan være farget av dette (Mardaljevic et al. 2012). Da metoden først ble introdusert i 2005 var det en lavere øvre

grense for brukbart dagslys, noe som tyder på at definisjonen har blitt justert som følge av utviklingen. Definisjonen var i 2005 som følger:

«Achieved UDI is defined as the annual occurrence of illuminances across the work plane where all the illuminances are within the range 100-2000 lux» (Nabil & Mardaljevic 2005, s. 1).

Metoden er veldig aktuell når solskjermingen innføres, og gir en relativt reell illustrasjon av dagslyssituasjonen særlig på arbeidsplassen.

3.2.2.4 Dagslyssimuleringsprogram

De fleste dagslyssimuleringsprogrammer har mulighet til å beregne både DF og DA. På bakgrunn av SINTEFs rapport, norske rådgiverfirmaers erfaringer og kompetansenettverket, *Lyskultur*, vurderes Relux/Raytracing-module til å være det mest utbredte programmet for å simulere dagslys. «DIVA for Rhino» er den nest mest utbredte programvaren. For å oppnå en god dagslysberegning/-simulering bør følgende faktorer tas hensyn til (Almås et al. 2016):

- Rommenes utforming
- Solskjerming som resultat av fast solskjerming, skygge fra bygg, vegetasjon, overheng og andre bygningsdeler rundt.
- Lystransmisjon (LT)
- Plassering og utforming av vinduer.

Jakubiec & Reinhart (2011) har undersøkt forskjellene mellom DAYSIM og EnergyPlus som beregningsverktøy. Resultatene viser at de to verktøyene gir relativt like resultater i dagslysberegninger med åpne persienner, men at EnergyPlus har noen svakheter når det skal beregnes med lukkede persienner. Forfatteren konkluderer med at som et resultat av mer presise dagslysestimater, gir DAYSIM de mest realistiske resultatene både for bruk av elektrisk lys og solskjerming med tanke på visuell komfort og distribusjon av naturlig dagslys (Jakubiec & Reinhart 2011).

3.3 U-verdi, G-verdi og varmetap

En vegg skal skjerme ute fra inne og inne fra ute. Det ønskes en tettest mulig vegg for å enten holde på varmen, eller holde varmen ute. Målet på veggens evne til å gjøre nettopp dette er veggens U-verdi. For å utforme den optimale fasaden for caset «OsloSolar» må altså U-verdien og varmetapet tas i betraktning. Dette delkapittelet vil belyse U-verdi som et mål, og gjennomgå ulike måter å oppnå en best mulig U-verdi, og minst mulig varmetap.

Varme transporteres som et resultat av temperaturforskjell og vil alltid gå i retning kaldere temperaturer. Denne transporten kan skje ved tre ulike former. Ledning (i fast materiale), konveksjon i (væsker og gasser/luft) og stråling (direkte overføring mellom flater) (Byggforsk 2017).

Den totale varmetransporten omtales ofte som materialets varmekonduktivitet (materialets varmeledningsevne), blir betegnet med en λ , og har enheten W/mK. Denne egenskapen vil variere med strukturen, tettheten, temperaturen og fuktigheten i materialet. Varmemotstanden vil variere for de forskjellige sjiktene i en sammensatt konstruksjon, og temperaturen vil deretter variere. Er det høy varmemotstand vil temperaturvariasjonen over sjiktet være stor (Byggforsk 2017).

Bygningskomponenter er som regel bygget opp av både homogene sjikt og sjikt som inneholder flere materialer. Da for eksempel kledning er et homogent sjikt, er kombinasjonen av isolasjon og stendere et sammensatt sjikt. Det er vanskeligere å beregne nøyaktige varmemotstander for disse sjiktene fordi varmen ikke bare beveger seg gjennom sjiktet, men også innad i sjiktet mellom de forskjellige materialene. Det er derfor vanlig å dele opp sjiktene i felter og anta at feltene opptrer som «varmetette skott». U-verdien rundes somregel av til to gjeldende siffer, og det er ikke nødvendig å korrigere verdien hvis den samlede korreksjonen er mindre enn 3%. Inneholder konstruksjonen kuldebroer, vil varmemotstanden reduseres. Dette kan særlig forekomme i skjøtene mellom ulike bygningskomponenter (Byggforsk 2017).

I henhold til NS3701 viser tabell 4 krav for passivhus (SINTEF 2013). Da konkurransegrunnlaget krever energikravberegninger på et nivå 30% under

passivhusstandard (Rygh 2014), er disse verdiene også gitt i tabellen. Det må likevel påpekes at det ikke er presisert at dette angår alle typer energimål, men at energibehovet totalt må være 30% lavere enn for et passivhus. For å oppnå det, må alle passivhuskrav oppfylles med god margin.

Alle bygningskategorier	Passivhus	Krav fra Futurebuilt
U-verdi vinduer og dører	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,56/(\text{m}^2\text{K})$
U-verdi yttervegg	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (TEK17)
Lekkasjetall ved 50 Pa trykkdifferanse	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	$\leq 0,42\text{h}^{-1}$ (yrkesbygg)
Varmetapstall	$\leq 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabell 4: Energikrav passivhus/futurebuilt.

$$U = \frac{1}{R_t} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Der U er U -verdi, og R_T er den totale varmemotstanden.

For å beregne U -verdien bør altså først R_T finnes. R_T er summen av varmemotstanden i sjiktene og varmeovergangsmotstanden inne og ute (Byggforsk 2017).

G -verdi er målet på hvor mye solvarme som transmitteres gjennom bygningsdelen, og betegnes ofte med den engelske forkortelse SHGC (solar heat gain coefficient). Ved lav G -verdi hindres kortbølget stråling fra å gjøres om til langbølget stråling, og avkjølingsbehovet reduseres (Aerogel Norge AS 2010). For å beregne varmetapstall legges reglene i NS-EN ISO 13789 «Bygningers termiske egenskaper - Varmetransportskoeffisienter på grunn av varmegjennomgang og ventilasjon – Beregningsmetode» til grunn, og gis som:

$$H''_{tr,inf} = \frac{H_{tr,inf}}{A_{fl}} \text{ (W}/(\text{m}^2\text{K}))$$

Der $H''_{tr,inf}$ er varmetapstallet for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap

$H_{tr,inf}$ er varmetransportkoeffisienten for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap (W/K)

A_{fl} er oppvarmet del av BRA, i m^2 (Standard Norge 2014).

3.4 Futurebuilt

Da Entra ønsker at OsloSolar skal være et «Futurebuiltprosjekt», er Futurebuilt et relevant tema for oppgaven. Futurebuilt er et tiårig (2010-2020) tiltak for klimavennlig arkitektur og byutvikling, der byggeprosjekter i Oslo, Bærum, Asker og Drammen kan delta. På sine hjemmesider skriver de om seg selv

«Futurebuilt skal stimulere til nyskaping og endret praksis og være en læringsarena for utbyggere, arkitekter, rådgivere, entreprenører, kommuner og brukere.» (Futurebuilt 2016, avsn. 1)

Målet deres er å bygge 50 forbildeprosjekter med 50% reduksjon i klimagassutslipp innen transport, bruk av energi og bruk av materialer. Dette krever høye, men allikevel realistiske ambisjoner. Det kommer også frem på deres hjemmesider at tanken bak Futurebuilt er at forbildeprosjektene skal være med på å skape en bedre by å bo i, og at prosjektene skal fungere som et «utstillingsvindu» og til inspirasjon både nasjonalt og internasjonalt. Det krever litt ekstra fra utbygger for å gjennomføre et Futurebuiltprosjekt, men på den andre siden vil prosjektet bli bistått med svært høy kompetanse og rådgivning på temaene transport, energi og materialer, samt få en høy profilering. Til tross for at Futurebuilt ikke kan støtte prosjekter direkte økonomisk, vil det få hjelp til å søke om økonomiske midler fra for eksempel Enova og FoU (Futurebuilt 2016).

3.5 BREEAM

Med dagens fokus på miljø og bærekraft har miljøsertifiseringer i byggenæringen blitt en måte å skille seg ut på og flagge miljøfokus utad. Med bakgrunn i målet om å få case-bygget «OsloSolar» BREEAM-sertifisert til «Outstanding»-nivå, vil dette delkapittelet ta for seg BREEAM som sertifiseringsordning.

3.5.1: Hva er BREEAM?

BREEAM er en forkortelse for *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*, og er en benchmarking metode. BREEAM er også verdens eldste miljøsertifiseringsordning. Et bygg kan sertifiseres til fem ulike nivåer (Pass, Good, Very good, Excellent og Outstanding), basert på hvor mange poeng det oppnår innenfor ni kategorier. Kategoriene det kan samles poeng innen er: ledelse, helse- og innemiljø, energi, transport, vann, materialer, avfall, arealbruk og økologi og forurensning. Det kan også hentes ytterligere poeng for innovative løsninger (NGBC 2016).

I innledningen til BREEAM-NOR-manualen beskrives den som en miljøytelsesstandard som er beregnet på nybygg, men også kan benyttes i rehabiliteringsprosjekter.

Bakgrunnen for BREEAM som metode er å kunne måle de bærekraftige egenskapene til et bygg. Metoden ble lansert i 1990, og blir brukt i over 70 land over hele verden.

BREEAM fronter en visjon der bærekraft blir sett i et livsløpsperspektiv og det skapes større bevissthet rundt temaet blant alle de involverte i byggeprosessen (NGBC 2016).

3.5.2 Verdiskaping som et resultat av miljøsertifisering.

I artikkelen «The value of BREEAM – A review of latest thinking in the commercial building sector 2016» gjennomgår forfatterne en rekke studier som er gjort der det er forsøkt å kvantisere «verdien» av bærekraftige bygg, og fordelene av å BREEAM-sertifisere fra et forretningsperspektiv (Soulti & Leonard 2016). Resultater fra en studie gjort av Rambøll «viser at nordmenn i større grad enn sine nordiske naboer bruker «bærekraft» for å forbedre eget omdømme og image». Ifølge Sunniva Baarnes (2017), som er fungerende seksjonsleder for BREEAM og Bærekraftige Bygg i Rambøll, viser studiene at tiltakene for bedret bærekraft i tillegg til å være bra for miljøet, øker trivsel hos brukerne. Økt trivsel gir økt kommersiell og økt økonomisk markedsverdi for bygget (Byggeindustrien 2017, avsn 1). Det kommer også frem i en rapport gjort av «World

green building council» at sertifiserte «grønne» bygninger får en økt markedsverdi med ca. 30% i forhold til «vanlige» bygg. Utleieverdien skal også stige med ca. 24,9% (World Green Building Council 2013).

Men er det dyrere å bygge et BREEAM-sertifisert bygg enn et «vanlig» bygg? Forskning gjort av BRE og Sweerr Group «Delivering sustainable buildings» viser at BREEAM-sertifiserte bygg i ingen eller svært liten grad øker kapitalkostnadene, og at hvis driftskostnadene regnes med vil bygget i løpet av få år ha tjent inn denne eventuelle økningen i kapitalkostnader (Soulti & Leonard 2016 s. 4).

3.6 Materialvalg

3.6.1 Valg av isolasjon og fasadens tykkelse

Dagens strenge krav til lav varmeledningsevne og lave U-verdier, legger et press på isolasjonsteknologien. For å møte nye krav med vanlige isolasjonsmaterialer som mineralull og steinull, må tykkelsen på veggene økes. Økt veggtykkelse stjeler av mulig BRA, og valg av isolasjonsmateriale bør derfor veies opp mot kvadratmeterverdien. Gangåssæter et al. (2017) tar for seg fordelene og ulempene ved å innføre nye isolasjonsmaterialer med høy ytelse som aerogel, vacuum insulation panels (VIP) og nanoisolasjonsmaterialer. Forfatterne konkluderer med at de nevnte isolasjonsmaterialene har fordeler med tanke på bedre ytelse og plassbesparelse. Imidlertid er faktorer som skjørheten til aerogel og at vakuudet vil tape seg med tid og dermed føre til en økning i varmeledningsevne (dårligere isolasjonsevne), ulemper som gjør disse teknologiene mindre bærekraftige. Det bør derfor forskes videre på materialteknologi innen isolasjon (Gangåssæter et al. 2017). Det samme hevder Jelle i 2011 (Jelle 2011).

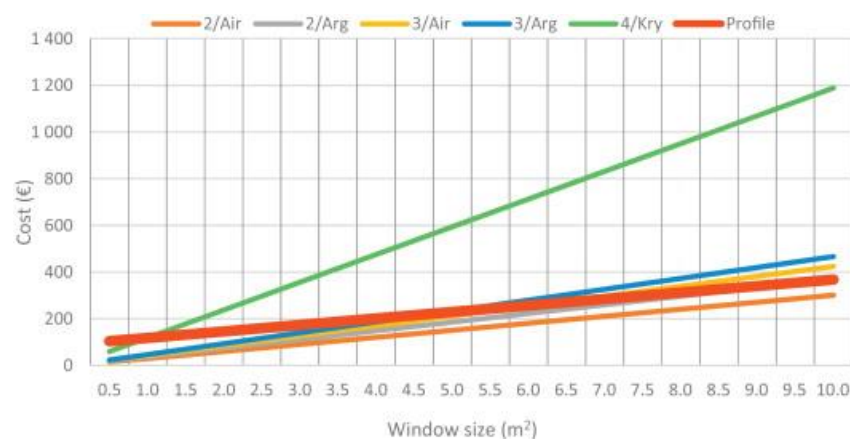
I en studie utført av Schlanbusch et al. (2014) for SINTEF byggforsk analyseres bruk og utslipp av energi og klimagasser fra bruk av isolasjonsmaterialer. I analysen poengteres viktigheten av å redusere den totale belastningen på klimaet, og å ikke bare fokusere på bygningskroppens tetthet, men også valget av materialer. Analysen konkluderer med at det krever mye energi for å oppnå energieffektive løsninger, men at også mengden materiale som er nødvendig må regnes inn i et klimagassregnskap.

Isolasjonsmaterialene basert på mineralull har mindre energibruk og klimagassutslipp i produksjonen enn XPS, EPS og vakuumisolasjonspanel (VIP). EPS har noe lavere miljøpåvirkning enn XPS, og XPS igjen har lavere miljøpåvirkning enn VIP. Effekten fra transport til byggeplass i Norge viste seg å utgjøre en relativt liten andel (Schlanbusch et al. 2014, innledning).

3.6.2 Valg av glass og dets innvirkning på dagslys

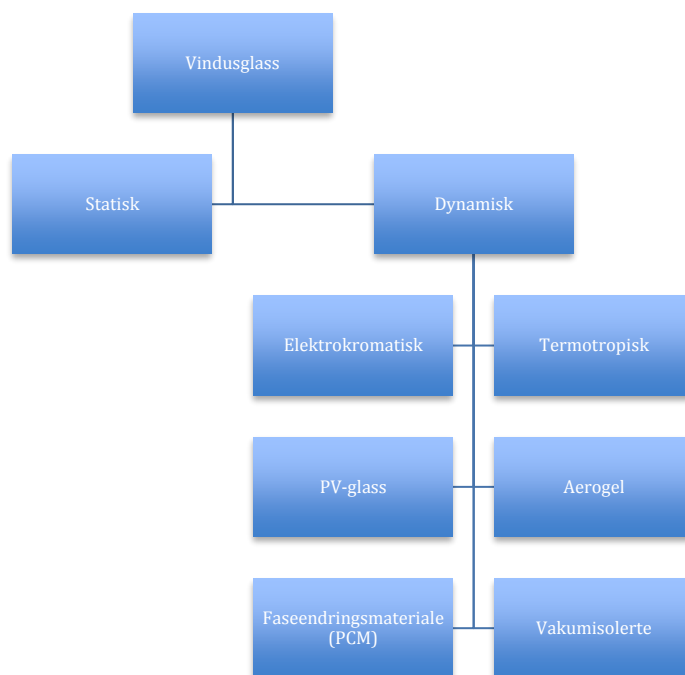
Når både dagslys og energieffektivitet skal ivaretas samtidig, blir det komplisert å velge vindusglass. I tillegg til antall glass, glassets tykkelse, hva hulrommet mellom glassene skal fylles med, og hva slags belegg glasset er behandlet med, er det ikke bare klimaet for den gitte lokasjonen som er avgjørende for glassets effekt, men også hvilken fasade (med tanke på himmelretninger) glasset er satt inn i. En annen avgjørende faktor er størrelsen

på vinduene i forhold til veggen. Dette forholdet betegnes med forkortelsen WWR (window-to-wall-ratio) (Hee et al. 2015). Jaber & Ajib (2011) har undersøkt ulike typer glass, og hvordan de oppfører seg i ulike klima. Artikkelen viser også hvordan lavere U-verdi gir bedre energieffektive egenskaper. Jo lavere U-verdi, jo mer gunstig er materialet på innklimaet. Dette gjelder uansett om det er ønskelig å holde varmen eller kulden ute eller inne. En sammenligning mellom tolagsglass og trelagsglass gjort av Tahmasebi et al. (2011) viser de samme tendensene. Det årlige energibruket var høyere for bygg med tolagsglass enn bygg med trelagsglass i alle tilfellene undersøkt. Forsking gjort på kostnadseffektivisering av vinduer viser at det er mer effektivt å ha store vinduer fremfor mange små, da det er vindusprofilene som har høyest kostnader, ikke selve glassene. Dette underbygges også av at kostnadsforskjellene mellom etlags-, tolags- og trelagsvinduer er marginale (Pikas et al. 2014).



Figur 29: Kostnadene av vinduskomponenter (glass og profil) Den tykke røde linjen representerer profilkostnadene per vindusstørrelse. (Pikas et al. 2014)

Glassets egenskaper måles som regel i 3 størrelser. U-verdi, G-verdi (SHGC), og LT. Bakdelen med lav U-verdi er at også LT blir lavere, og dermed slipper mindre dagslys inn. Vindusglasstyper deles opp i to typer. Statisk og dynamisk glass. Da statisk glass har ett sett faste egenskaper, kan de dynamiske glassene ha flere funksjoner, og er et svært aktuelt forskningstema. (Hee et al. 2015). Figur 30 viser ulike glasstyper som bør tas i betraktning når glass skal velges.



Figur 30: Typer glass å velge mellom. Illustrasjon basert på artikkelen til Hee et al.(2015)

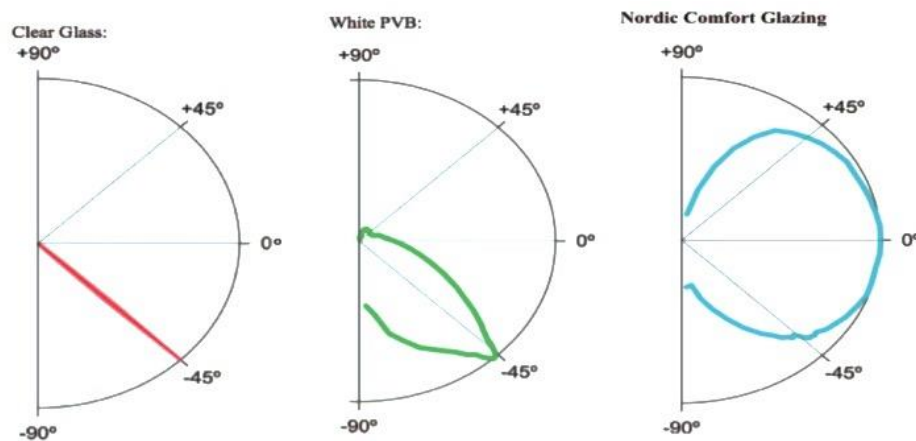
3.6.2.1 Redirecting glass (RDG)

«Redirecting glass» (RDG) er betegnelsen på glass som sprer lyset, og på den måten kan føre lyset lenger inn i rommet enn ved vanlig glass, og egenskapene til glasset vil være avhengig av hva glasset fylles med. Dette kan for eksempel være produktet SGG LUMIPOP, som er spesialdesignet for å spre lys og øke visuell komfort (Neyer et al. 2015).

Et annet materiale som er aktuelt for å spre lyset er Aerogel. Aerogel er tørket «gel» med veldig høy porøsitet. Materialet var i 2011 det letteste faste materialet man kjente til, og grunnet de usedvanlig små porene, har Aerogel mange fordelaktige egenskaper både termisk, optisk og akustisk (Baetens et al. 2011). Aerogel har usedvanlig lav G- og U-verdi, og er derfor aktuelt når det snakkes om energieffektive bygg. Materialet har i tillegg en videre vinkel på spredningen av lyset enn vanlig glass, og har derfor gode diffusjonsegenskaper (Aerogel Norge AS 2010)(Se figur 31). I likhet med PV og faseendrende materiale (PCM), er Aerogel en teknologi som opprinnelig ble utviklet for bruk i romfart, men som siden er tatt i bruk av andre sektorer grunnet de mange fordelene. En bygningens energiytelse er avhengig av bygningens skall, og da særlig av vinduene, som ofte er en av de største årsakene til bortkastet energi i bygg. De største bakdelene med

aerogel som materiale er de høye kostnadene samt den lave TV-verdien, men det er forventet at etterspørselen og markedet for materialet skal øke de neste årene, og at materialet også vil få en økt vitenskapelig kredibilitet, da det per dags dato ikke er gjort tilstrekkelig forskning (Hee et al. 2015). Baetens et al. skriver tilsvarende i sin artikkel «Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review» følgende:

«Silicia aerogels are an innovative alternative to traditional insulation due to their high thermal performance, although the cost of the material remain high for cost-sensitive industries such as the building industry. Research is continuing to improve the insulation performance and lowering the production costs of Aerogel» (2011, s. 766).



Figur 31: viser forskjellen på diffuseringsegenskapene til klart glass og Aerogel dagslyspaneler. Figuren er hentet fra Areogel Norge sine hjemmesider.

I mange tilfeller kan en lyshylle brukes som et alternativ til «redirecting glass» (Fugelsnes 2003). Konseptet baserer seg på en hylle som blir festet utenpå vinduskarmen, og ved bruk av film med høy refleksjon reflekterer lyset inn og opp i taket. Lyset reflekteres på den måten videre inn i rommet (Beltran et al. 1997). Denne måten å spre lyset på blir ikke belyst ytterligere i denne oppgaven da en lyshylle vil komme i konflikt med, og skygge for solcellepanelene under.

3.6.2.2 Elektrokromatiske vinduer

Elektrokromatiske materialer kan endre sine egenskaper (G-verdi/(SHGC) og VT) ved tilkobling av strøm med lav spenning. Ifølge Lampert (1993) har elektrokromatiske vinduer (EC-vinduer) følgende fordeler:

- Det er bare nødvendig med krafttilførsel når EC skal endre funksjon
- Behøver kun lav spenning
- Glasset har et minne på 12-48 timer.
- Speilende refleksjon
- Kan produseres for store arealer

Undersøkelser gjort av Baetens et al. (2010) konkluderer med at elektrokromatiske vinduer er den teknologien som er mest lovende når det angår dagslys VS. solenergi. Elektrokromatiske vinduer er veldig populært og har gjennom to tiår bygget et kommersielt marked. EC kan ikke alene totalt unngå blinding som resultat av direkte sollys, men kan forbedre forholdene betraktelig. En svakhet med forskningen på elektrokromatiske vinduer, er at det er gjort lite forskning på bruk av denne teknologien i kalde klima (Hee et al. 2015).

3.7 Optimaliseringsteori

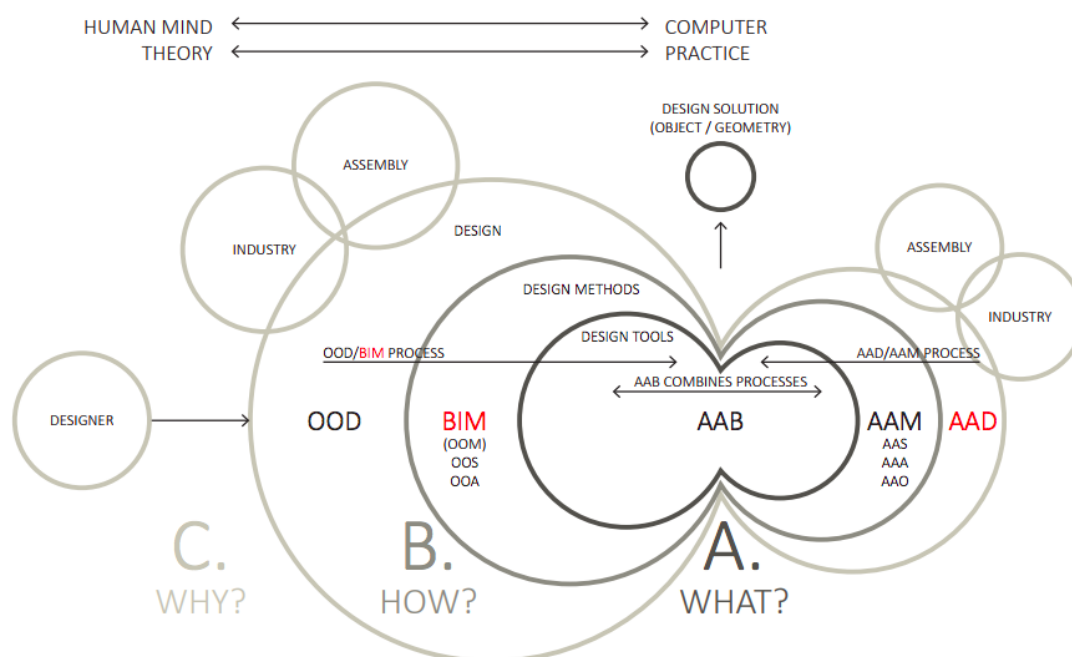
Når flere parametere skal settes opp mot hverandre, må det velges verktøy for å gjøre dette.

Selv om materialeegenskapers innvirkning på energibehov i bygg er studert mye, er byggets geometris innvirkning studert mindre. Susorova et al. (2013) er av få som har forsket på geometrien til bygningens og vinduenes effekt på byggets energibruk. Susorova et al. tar utgangspunkt i følgende faktorer; WWR (window-to-wall-ratio), vinduenes retning og rommets bredde og lengde. Resultatet fra forskningen viser at faktoren «geometri» har stor effekt på energisparing i varme klima, men mindre effekt i kalde og tempererte klima. De optimale vinduene for en bygning er de vinduene som gir minst behov for nedkjøling som følge av overoppheting, men som samtidig gir minst behov for kunstig lys som følge av lite naturlig dagslys (Susorova et al. 2013), (Tzempelikos et al. 2007). Forfatterne understreker at design, og valg av fasader, vinduer og deres egenskaper har en nøkkelrolle i bestemmelsen av en bygnings energiytelse. Dette både gjennom oppvarming, avkjøling og belysning, men også gjennom det termiske og den visuelle komforten til brukerne av bygget. Ved å innføre ny teknologi, oppnås dynamiske/ «aktive» fasader og vinduer som kan optimalisere bruk av solstrålene til dagslys og oppvarming. De «aktive» istedenfor «passive» fasadene tillater at det i større grad kan kontrolleres når det er ønskelig å utnytte ulike funksjoner som solskjerming, oppvarming og avkjøling. Vi får en kombinasjon av design og kontroll. Videre blir viktigheten av å fokusere på optimaliseringen tidlig i designprosessen poengtert, og det blir diskutert hvordan en slik prosess kan fungere (Tzempelikos et al. 2007).

I sin masteroppgave «Algorithm- Aided Design and Object-Oriented Design» legger Harri Humppi (2015) frem en konseptanalyse av Algorithm-Aidend Design (AAD), og Building Information Model (BIM) og krysningen mellom disse to: Algorithm-Aided Building Information Modeling (AAB). Det finnes lite teoretisk litteratur om AAB, men designmetoden vil ifølge forfatteren gjøre nye prosesser mulig, og bør derfor undersøkes grundigere. Diagrammet i figur 32 viser hans forsøk på å visualisere sammenhengen mellom de ulike prosessene i optimaliseringen som resulterer i ABB. Humppi nevner Grasshopper + Geometry Gym, Dynamo, Grevit og Lyrebird som mulige verktøy for å

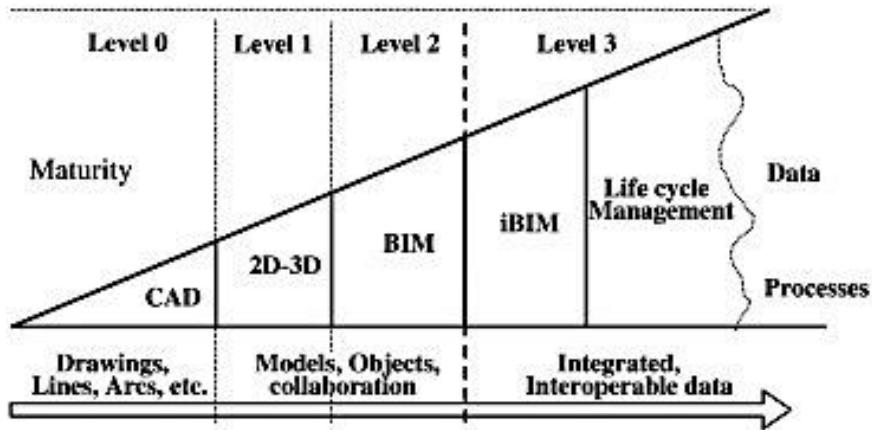
modellere og analysere på dette nivået. Han bruker 3 forskningsspørsmål for som tar for seg forskjellige deler av prosessene.

- A. «What can ABB produce in practice? »
- B. «How to use design methods of AAB? »
- C. «Why should AAB be developed? »



Figur 32: Hentet fra Humppis masteroppgave og illustrerer sammenhengen mellom de ulike designmetodene og –prosessene. (Humppi 2015)

Denne utviklingen i designprosessene i bygg ble først illustrert i «Bew-Richards BIM maturity model (UK)» i 2008 (Se figur 33). Selv om modellen kalles en «modningsmodell» er det i større grad en strategimodell for utviklingen av «Building Information Modeling» (BIM) i Storbritannia. Den er delt opp i 4 nivåer, der per 2011 nivå 0 og 1 var kjente metoder, nivå 2 var metoder som fremdeles innarbeides, og nivå 3 er metoder som enda ikke var utarbeidet (GCCG (Government Construction Client Group) 2011). Ifølge forfatterne av artikkelen «Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects» opereres det i 2013 hovedsakelig på nivå 1, mens «de beste i klassen» opererer på nivå 2 (Porwal & Hewage 2013).



Figur 33: Bew and Richards maturity model fra 2008. Viser de forskjellige gradene av bygningsdesign. Kilde: (Porwal & Hewage 2013)

4. CASE: OsloSolar

«Prosjektet, kalt Urban+, er en FutureBuilt-pilot og skal møte alle FutureBuilt krav til plussenergibygge, og skal også oppnå klassifiseringen BREEAM NOR Outstanding. Mål er også satt for «Cradle to Cradle», reduksjon av karbonutslipp, universell utforming og økonomisk gjennomførbarhet.»

(Rygh 2014 , avsn 2)

Sitatet over er hentet fra kunngjøring av konkurransen (Rygh 2014).

OsloSolar er designet for å tilfredsstille alle tekniske og prosjektspesifikke krav, og vil trolig resultere i verdens største plusshus. Med en optimal fasade skal det oppnås best mulig dagslys, størst mulig energiproduksjon og minst mulig varmetap. Kombinasjonen av lavt energibehov og høy energiproduksjon vil være både økonomisk og praktisk. Det ble i 2015 gjort et forprosjekt for OsloSolar, og er derfor allerede utarbeidet et forslag til en fasadeløsning. Det vil i dette kapitlet diskuteres hvorvidt denne løsningen ved bruk av ny modellering og nye beregninger (basert på nyere teknologi) kan gjøres enda mer effektiv.

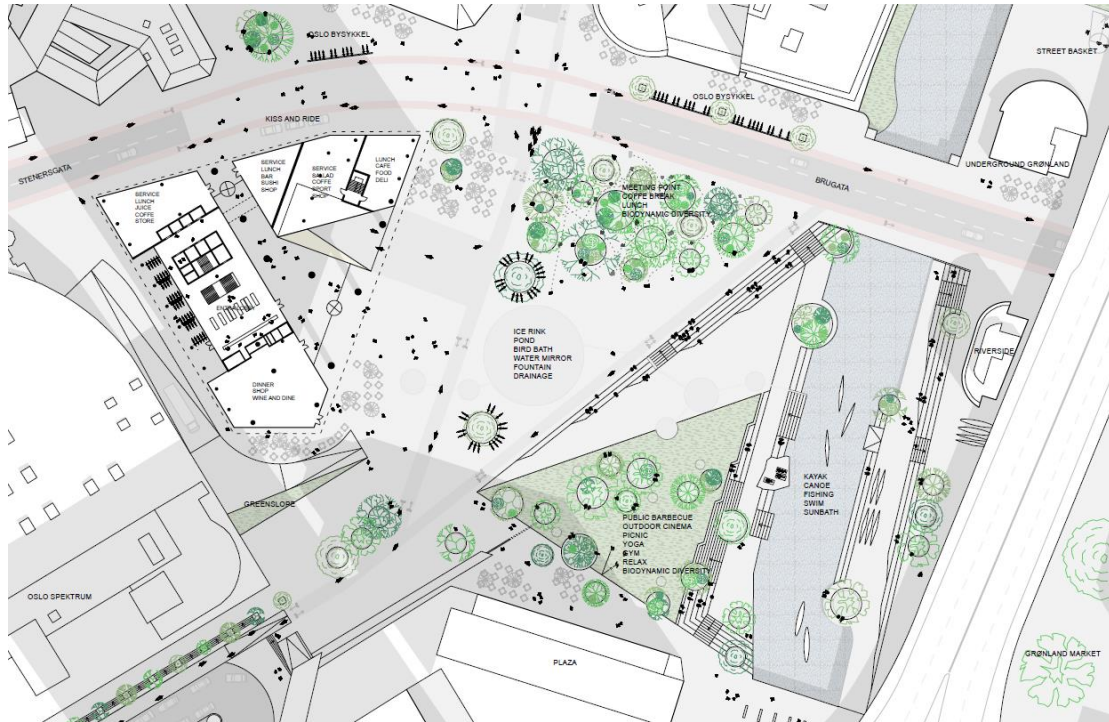
Dette kapitlet vil oppsummere de viktigste energi- og miljøkonseptene for bygget basert på prosjektleders beskrivelse (Killingland 2015). Dette er relevant for oppgaven både for å vise sammenhengene og for å få en generell innsikt i prosjektet som helhet. Kunnskapen om prosjektet er opparbeidet gjennom å studere prosjektbeskrivelsen (CODE et al. 2015) samt gjennom samtaler og veiledning fra prosjektleder for OsloSolar, Mangus Killingland.



Figur 34: Bildet er hentet fra Ramboll.no, og illustrerer prosjektet, Oslosolar, som skal ligge ved vaterlandsparken i Oslo.

I juryens bedømmelse av OsloSolar som vinner av konkurransen ved navnet Urban+, vektlegges det at «*ukompliserte energisystemer med fjernvarme og solcellepaneler gjør forslaget robust*». Målet om «*Cradle to Cradle*» er møtt ved at bygningsform, energiproduksjon, samling og lagring av snø- og regnvann, bruk av vann og planter og inn klima er nært koblet sammen. Skråtaket blir det viktigste arkitektoniske uttrykket. (Norske Arkitekters Landsforbund et al. 2015, s. 5)

Lilletorget 1 er i dag et kontor-/næringsbygg som skal rives. Med den planlagte erstatningen OsloSolar, kan bygget fungere som et bindeledd mellom enden av Grønland og indre sentrum (Oslo City og Oslo S). Byggets grunnplan vil invitere inn i et atrium fra Vaterlandsparken (se situasjonsplan i figur 35). Vaterlandsparken har en svært sentral beliggenhet i byen, men er dessverre i dag mest brukt av personer fra belastede miljøer i Oslo. Etter planen skal parken også få et løft og vil da kunne fungere som en verdig avslutning på gangveien langs Akerselva, hele Oslos tursti. Den sentrale plasseringen av bygget kan potensielt skap et marked for eventuell næring på grunnplan i OsloSolar, også utenom kontortider.



Figur 35: Situasjonsplanen viser hvordan det nye bygget vil ligge i forhold til den eksisterende bebyggelsen. Situasjonsplanen er laget av Code arkitekter og er hentet med tillatelse.

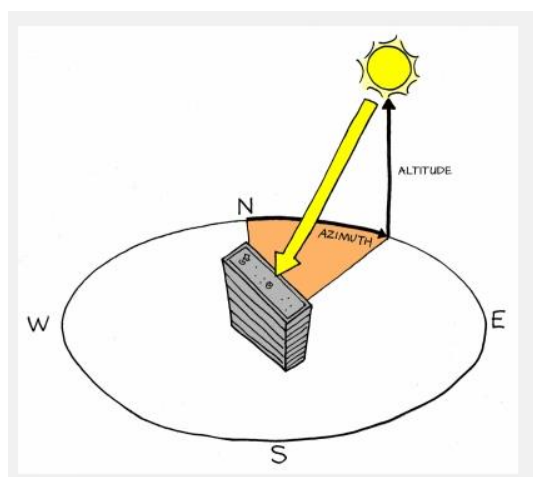
4.1 Energi- og miljøkonsept

I forprosjektet som ble utarbeidet i forbindelse med konkurransen i 2015 (Killingland & Rambøll 2015) er det prosjektert et bygg med solceller med 21,5% effektivitet i panelene hvor det er tenkt solcellemoduler fra Sunpower (x-series) (Sunpower 2016).

Solcellepanelene er kombinert med «Solarwalls» på nordfasaden til forvarming av ventilasjonsluften (Conserval Engineering Inc 2016). Energikravberegninger er gjort etter NS 3701:2013 (Standard Norge 2012), med utgangspunkt i Futurebuilts krav fra konkurransegrunnlaget (30% under passivhus-standard). Konkurransegrunnlaget krever et overskudd på + 2 kWh/m²/år, som etter planen skal selges ut på nettet i overskuddsperioder. I tillegg er det satt som et mål at bygget skal BRREAM-sertifiseres til nivået ”Outstanding”. Delkapittelet vil belyse de strategiene og løsningene ved bygget som vil bidra til at kravene og målene blir nådd.

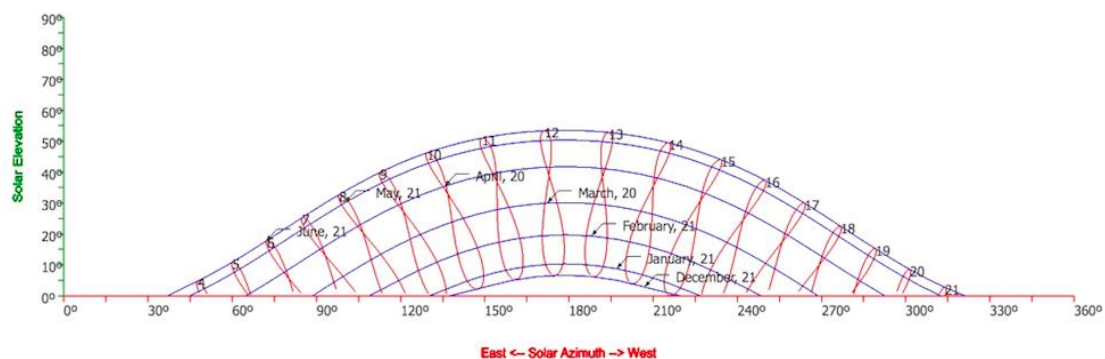
4.1.1 Solceller

Når et bygg designes med utgangspunkt i at det skal produsere mest mulig energi, er det viktig å ta solens bevegelse gjennom dagen og året i betraktning. Dette kan illustreres med et «sun path diagram» (se figur 37). Diagrammet viser solens høyde (altitude) på y-aksen og solens azimuth på x-aksen med utgangspunkt i byggets beliggenhet (se figur 36 for illustrasjon av «altitude» og «azimuth»).



Figur 36: Figuren viser forskjellen på «altitude» og «azimuth», og er hentet fra katrinewelton.no

For OsloSolar estimeres det i forprosjektet at 5090 solcellepaneler med ca. 345W gir ca. 1,7 MWp. Med fjernvarme i tillegg vil det årlige energibehovet være dekket med en netto positiv energi på +5,8 kWh/m²/år, der m² i dette tilfellet er BRA (oppvarmet gulvareal). Energiproduksjonen er dimensjonert til å produsere mer enn kravene fra Futurebuilt (en netto produksjon på minimum + 2 kWh/m²). Dette er gjort fordi klimaforandringer kan føre til en varmere og mer skyet værtype, og dermed PV-panelene mulig vil produsere mindre energi enn planlagt (Stranden 2017). Som det kommer frem av figur 37, vil det være desidert kortest og lavest sol i desember. Plasseringen av bygget har også stor innvirkning på energiproduksjonen. Hvis ikke Osloplaza hadde kastet skygge på denne tomten, vil sørfasaden kunnet produsere 20% mer energi (Killingland 2015). Ifølge Byplan Oslo (2015) og Oslo kommune (Oslo kommune 2015) er planen om å bygge generelt høyere i Oslo sentrum. Dette kan også påvirke byggets fremtidige energiproduksjon negativt grunnet mer skygge.



Figur 37: Figuren viser et kartesisk «Sun path diagram» for tomten til OsloSolar og er simulert i Skelion. De blå linjene representerer ulike måneder fra vintersolverv (21. desember) til sommersolverv (21. Juni), mens de røde løkkene gir solens eksakte plassering for en gitt time i krysningspunktet med en gitt dato.

4.1.2 Solarwall

Teknologien baserer seg på å høste morgensola på øst-fasaden samt varmetap fra konstruksjonen for å varme opp luften 2-6 grader før den spres ut i bygget via ventilasjonssystemet på vinteren. Bruken av Solarwalls til dette formålet vil lønne seg da termisk solkraft er mye mer effektivt enn elektrisk solkraft, og vi vil utnytte et større spekter av lyset fra av solstrålene. Solarveggene vil bare bli brukt i vinterhalvåret for å slippe inn den oppvarmede luften, og vil stenges av i sommerhalvåret. Om sommeren

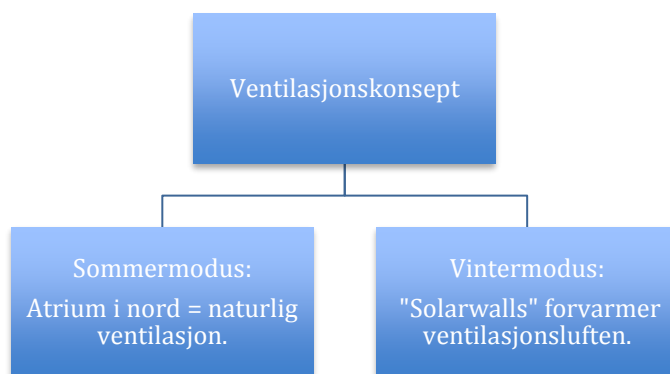
brukes det naturlige ventilasjonen ved hjelp av atriet og sjakten i nord. Solarwalls har ikke behov for noen form for vedlikehold (Conserval Engineering Inc 2016).

4.1.3 Planløsning

Ulike behov ved ulike typer aktivitet er med på å avgjøre planløsningen i bygget. Hver etasje er delt inn i 3 soner, der møterommene vil ha størst behov for nedkjøling, og derfor er lagt mot nord og mot atrium. Bygget er hovedsakelig planlagt for kontorlokaler, med unntak av næringslokaler i de nederste etasjene. Innredningen vil være en kombinasjon av cellekontorer og åpne kontorlandskap med møterom og lignende i kjernen.

4.1.4 Ventilasjon

OsloSolar satser på lite energibehov til oppvarming og nedkjøling av rom og luft. Bygget vil ha «vanlig» balansert ventilasjon, men med større dimensjoner for varmegjenvinning og rør. OsloSolar vil i tillegg ha en intern sjakt som vil bidra til «skorsteinseffekt». Grunnet svært godt isolert bygningskropp, er oppvarmingssesongen veldig kort. Hovedkonseptet for ventilasjonen er todelt (se figur 38).



Figur 38: Ventilasjonskonsept.

- Sommermodus: Atriumet i nord ventilerer og brukes som gratis avkjøling iløpet av natta.
- Vintermodus: «Solarwalls» forvarmer ventilasjonsluften som skal inn i bygget.

Overflødig varme «flyttes» mellom øst og vest ettersom hvor og når det er behov.

Forslaget er å skape en varmedistribusjon som går mot klokka i rør, og som beveger seg gjennom bygningen for optimal distribusjon av oppvarming på varm og kald side gjennom dagen. Ved å bruke et PCM på vegger og i tak forhindres overoppheting av rom.

4.1.5 Biodiversitet og luftrensning fra planter

Ved å samle og filtrere regn- og snø vann fra taket, kan vannet brukes til å vanne planter, kjøle og klimatisere bygget eller til å trekke ned på toalettene. På denne måten kan bygget nå målet om maks 10m³ vannforbruk årlig per ansatt. OsloSolar har også lagt opp til kjøling fra regnvann og evapotranspirasjon (ET). Det samlede vannet fra taket vil teoretisk kunne dekke hele kjølebehovet for bygningen ved evapotranspirasjon, men det vil da være behov for 11.245 m² plantevegg for å absorbere alt regnvannet, noe som ikke er realistisk. Grunnet den hurtige utskiftingen av luft i kontorbygg vil planteveggene og plantene i OsloSolar først og fremst ha en estetisk effekt. Om natten når ventilasjonen er av, vil plantene imidlertid kunne virke klimatiserende.

4.1.6 Vann

Vann varmes opp der det trengs. Med en tank i hver etasje unngås energibruk til å pumpe vannet rundt i bygget med medfølgende varmetap på veien. Solenergi vil stort sett dekke tappevannsenergien. Det er fokusert på at de tekniske systemene skal bruke minst mulig energi til å pumpe vann og luft rundt i bygget og rørsystemene vil være begrenset til et par etasjer per system.

4.1.7 Dagslys

Optimalisering av dagslys og elektrisk lys, og gjennom det, velvære og produktivitet hos brukerne, er en viktig del av energistrategien til OsloSolar. OsloSolar er selvforsynt med lys både fra dagslys gjennom vinduene og fra kunstig lys generert av solcellepanelene på fasaden. Løsløsningen bør være basert på:

- Menneskelig velvære og produktivitet
- Energieffektivitet
- Energisparing
- Robust og lite vedlikehold

Det er viktig å velge lysarmaturer som passer til kontorarbeid og ikke gjenspeiles i skjermer osv. Dagslys styres ved et lyskontrollsystem med lysarmaturer som kan tunes fra kaldt hvitt lys til varmt gult lys ved hjelp av en astronomisk tidsklokke. Dette systemet kan være en del av bygningens styringssystem. Bruk av sensorer som registrerer om det er

noen tilstede eller ikke, vil sikre lys når noen bruker bygget. Områder med tilgang på dagslys vil også bli koblet til en sensor som kontrollerer at mengden lys vil være konstant hele tiden ved å sørge for at det «spes på» med elektrisk lys ved behov. For å få dagslyspoeng i BREEAM-NOR sertifiseringen (kapittel HEA 01) er det krav om gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2,1 % (NGBC 2016).

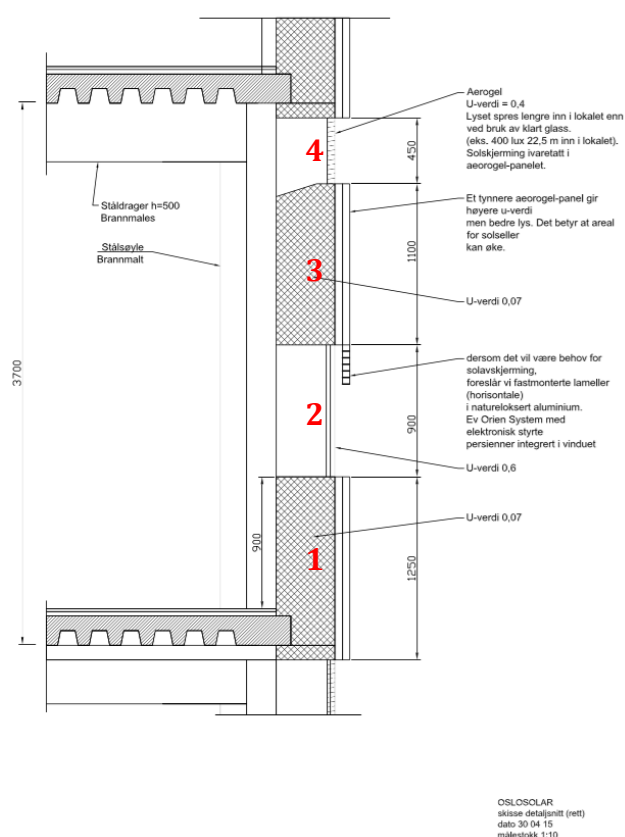
4.1.8 BREEAM-sertifisering

OsloSolar tar sikte på en BREEAM-NOR-sertifisering på Outstanding-nivå. Det vil si at mer enn 85% av mulige BREEAM-poeng må være oppnådd. Dette er svært ambisiøst, og krever fokus på å sikre BREEAM-poeng gjennom hele prosessen.

4.2 «Base case»

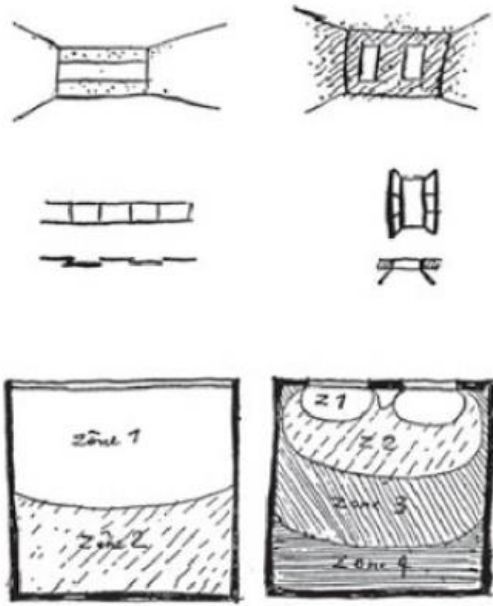
Det blir tatt utgangspunkt i en detaljtegning av fasaden fra forprosjektet i 2015. Fasaden består av 4 elementer det er valgt å kalle:

- 1. Nedre veggelement
- 2. Vinduselement
- 3. Midtre veggelement
- 4. Vindusbåndet



Figur 39: Utgangspunktet for modelleringen. Der 1,2,3,4, markerer henholdsvis «nedre veggelement», «vinduselement», «midtre veggelement» og «vindusbånd».

Bruk av horisontale vindusbånd, slik det er gjort i dette caset ga ifølge den franske arkitekten Le Corbusier (1887-1965) 8 ganger bedre dagslys enn tilsvarende vindusarealer vertikalt på veggen (se skisse under) (Corrodi & Spechtenhauser 2008).



Skissen tegnet av Le Corbusier illustrerer forskjellen mellom lysforholdene for det horisontale vindusbåndet og de tradisjonelle vertikale vinduene. Hentet fra boken: *Illuminating: Natural Light in Residential Architecture* (Corrodi & Spechtenhauser 2008).

5. Resultater/Analyse/Tolkning

5.1 Resultater fra simuleringer og beregninger

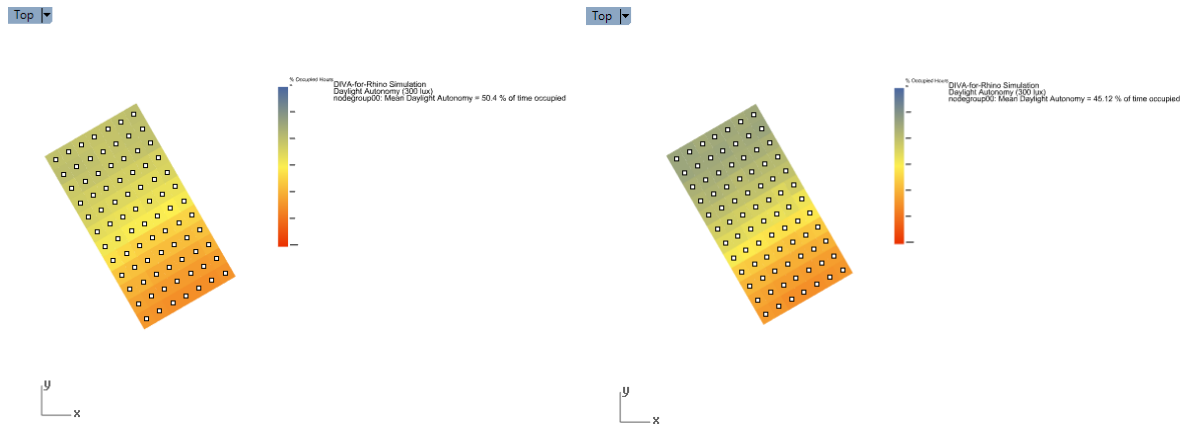
Det er først gjort tester med og uten vindusbåndet som er plassert øverst på fasaden, og som skal føre lyset lenger inn i rommet. Videre er effekten av vinkelen i vinduskarmen under dette vindusbåndet forsøkt testet. På grunnlag av disse testene er det gjort tester for 21 ulike WWR, der det er det midtre veggelementet og vinduselementet som justeres. Alle WWR er testet for to tykkelser; 400mm og 500mm. Totalt ble det altså utført 42 DA-simulasjoner for 42 ulike fasadesammensetninger. I tillegg ble det gjort 21 PVWatts-simulasjoner samt 42 varmetapsberegninger. Dataene som er hentet ut av disse beregningene utgjør oppgavens empiri. I tillegg til denne empirien er de ulike løsningene vurdert kvalitativt opp mot hverandre.

5.1.1 Med og uten vindusbånd

Resultatene tilsier at vindusbåndet gir en vesentlig endring i dagslysforhold, og vindusbåndet blir derfor tatt med videre som et utgangspunkt for resten av simuleringene. Materialeegenskapene til aerogelmaterialet i vindusbåndet gir lite utslag på resultatene sammenlignet med vanlig glass. Aerogel er likevel valgt som materiale, da det ifølge teori, skal ha god effekt på spredningen av lyset (Baetens et al. 2010). Denne effekten ville ifølge Jon Sargent i «DIVA» bli vanskelig å simulere (Sargent 2017). Dette er en svakhet i programmet og i denne fremstillingen av lyssituasjonen. Det må her understekes at aerogel har svært lav LT, og at det derfor kunne vært valgt en annen type «redirecting glass», for å sikre mer lys inn, men da oppgaven ikke tar for seg materialvalg som en egen parameter, er bare Aerogel (som var prosjektert i utgangspunktet) testet.

Vindusbånd	Dagslys DA	Dagslys DF
Med	50,4	1,8
Uten	45,1	1,6

Tabell 6: Resultater fra dagslysberegninger for "med og uten vindusbånd"



Utgangspunkt

Utgangspunkt uten vindusbånd

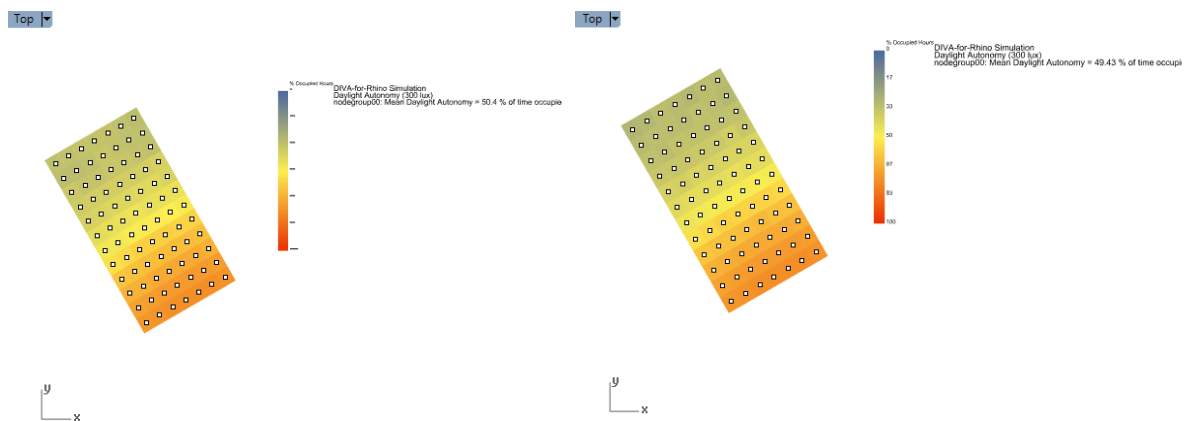
Figur 40: Simuleringsresultatene for utgangspunktet med og uten vindusbånd.

5.1.2 Med og uten vinkel i vinduskarm under vindusbånd

Forskjellen mellom resultatene fra simuleringen av modellen med og modellen uten vinkel i vinduskarmen under vindusbåndet er marginal, og det velges derfor å forenkle simuleringen videre uten vinkelen. Allikevel bør det tas i betraktning at det er en forskjell i DF, og at en slik vinkel kan være et hensiktsmessig tiltak i noen tilfeller.

Vinkel i vinduskarm	Dagslys DA	Dagsly DF
Med	50,4	1,8
Uten	49,4	1,8

Tabell 7: Resultater fra dagslysberegninger for «med og uten vinkel i vinduskarm under vindusbånd».



Utgangspunkt

Utgangspunkt uten vinkel i vinduskarm

Figur 41: Simuleringsresultatene for med og uten vinkel i vinduskarm under vindusbånd.

5.1.3 Resultater for ulik WWR

For å vurdere om fasaden oppfyller Futurebuilts krav om +2 kWh/m²/år energiproduksjon (Rygh 2014), må det estimeres hvor stort byggets energibehov er, for så å beregne hvor mye det vil produsere.

$$\text{Energibehov} + 2 \text{ kWh/m}^2/\text{år} \leq \text{Energiproduksjon}$$

OsloSolars energibehov er hentet fra prosjektleder, Magnus Killinglands beregninger. Det fullstendige regnearket er lagt ved i appendix F. Fra energiberegningene kan det avleses at for å oppfylle Futurebuilts krav om +2 kWh/m²/år, må det produseres mer enn 978 187 kWh/år (se tabell 8).

I SINTEF byggforsk sitt notat om kriterier for Futurebuilt pluss hus heter det:

«For bygg over 4 etasjer vil det imidlertid i mange tilfeller være nærmest umulig å oppnå denne plussenergi-definisjonen med dagens tilgjengelige teknologi. For bygg over 4 etasjer kan det derfor tillates at man trekker ut energibruk til teknisk utstyr, dvs. at bygget skal regnes som plussenergi inkludert energipostene oppvarming, varmtvann, vifter, pumper, belysning og kjøling.» (Andresen et al. 2014, s. 1)

Beregningene har derfor tatt utgangspunkt i energibehov uten teknisk utstyr. Se tabell 8.

Totalt vektet levert energi	1 466 587	kWh/år
Spesifikk vektet levert energi	33,0	kWh/m ² /år
Vektet levert energi uten teknisk utstyr	889 387	kWh/år
Spesifikk vektet levert energi uten teknisk utstyr	20,0	kWh/m ² /år
Vektet levert (+2 kWh/m ² /år)	22,0	kWh/m ² /år
Oppvarmet Bruksareal, BRA	44 400	m ²
BTA, brutto areal	53 400	m ²
Futurebuilt Net Positive Energy Requirements		
Vektet levert (+2 kWh/m ² /år)	88 800	kWh/år
Vektet levert	889 387	kWh/år
Produksjonskrav	978 187	kWh/år

Tabell 8: Utdrag fra energiberegninger gjort av Magnus Killingland 25.10.2017. Fullstendig dokument i Appendix F.

Når Energiproduksjonen for bygget er beregnet, er den estimerte mengden solceller på tak fra forprosjektet lagt til grunn, da taket som konsept ikke er fokuset i denne oppgaven. Det er allikevel antatt at solcellepanelene på taket, på samme måte som panelene på fasaden, vil ha en økt effekt (fra 19% i forprosjektet til 23% i de nye beregningene).

Beregningene for energiproduksjonen er altså basert på modulareal på tak + modulareal på fasade. Modularealet på fasaden vil variere med WWR, og beregningene tar utgangspunkt i lengdemeter fasade som skal ha solcelleegenskaper. Disse kan så multipliseres med modularealet per lengdemeter fasade for hver gitte WWR. Den totale lengden fasade for bygget er gitt i tabell 9.

	Lengdemeter (m)	Etasjer	Sum (m)
Lengde øst	62,78	14	878,92
Lengde Sør	15,76	14	220,64
Lengde vest	53,58	14	750,12
Resterende etasjer fasade øst (10 etg)			305,52
Resterende etasjer fasade vest (11 etg)			307,8
SUM1			2463
Trekk fra grunnet atrium	64		64
SUM2			2399

Tabell 9: Beregning av total lengde fasade som skal ha solcelleegenskaper.

For å kjøre simuleringene i «Skelion» samt beregningene i Excel, er det brukt informasjon fra Sunpowers brosjyre (Sunpower 2016), men det er etter anbefaling fra Josefine Selj i IFE, tatt utgangspunkt i et solcellepanel med 23 % effekt (istedenfor 21 % som beskrevet i brosjyren) (Selj 2017). «Input-dataene» brukt i tillegg til de som er beskrevet i tabell 8 og 9, er listet opp i tabell 10.

Solceller, effekt peak per panel	375	W/panel
Solceller, effekt peak per m2 solcellepanel	230	W/m2
Solceller, virkningsgrad	23,0	%
Vekt per panel	18,6	kg
Vekt per m2	11,6	kg
Lengde fasade med solceller	2399	m
Modulareal tak	2 661	m2
Antatt innstråling, antar 10% reduksjon grunnet skygge	720	kWh/m2/år
Produksjon tak	440661,6	kWh/år

Tabell 10: Viser input for simuleringer i «Skelion» og endelige beregninger i «Excel».

Resultatene fra simuleringene med veggtykkelse 400mm og 500mm, for 21 forskjellige WWR er gitt i tabell 11. Resultattabellen er markert med farger som viser hvilket eller hvilke krav som er oppfylt for det gitte WWR. Dagslysfaktor er for alle modeller gitt i tabellen for å bestemme hvilke som er innenfor BREEAM-NORs krav.

- Rosa = oppfyller bare energiproduksjonskravet
 $Energibehov + 2 \text{ kWh/m}^2/\text{år} \leq \text{Energiproduksjon}$ (Rygh 2014)
- Oransje = oppfyller bare dagslyskravet
 $Gjennomsnittlig \text{ dagslysfaktor} \geq 2,1$ (NGBC 2016)
- Grønn = oppfyller begge kravene

Kontorets BRA er $2,4 \times 4,5 = 10,8$. Det forenklede varmetapet (varmetap som følge av U-verdi og kuldebroer) deles derfor på dette arealet, for å få et estimert varmetapstall. De WWR som ikke møter det strenge kravet fra Futurebuilt om energikravberegninger på et nivå 30% under passivhusstandard, altså et varmetapstall $\leq 3,0$, er markert med rødt i tabell 11. Det må allikevel tas i betraktning at dette er en forenklet utregning uten hensyn til varmetap fra tak, gulv, ventilasjon osv. For å beregne varmetapet er det brukt en standardverdi for normalisert kuldebro for bygninger med bæresystem i betong, mur eller stål = $0,09 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (Arild Gustavsen et al. 2008). Ifølge Arild Gustavsen et al. (2008) kan kravene til kuldebroverdi kompenseres med forbedringer på andre områder.

«Veiledning til TEK angir at kravet til normalisert kuldebroverdi kan fravikes dersom det ekstra varmetapet kompenseres med for eksempel bedre isolasjon i en annen bygningsdel eller med bedre varmegjenvinning» (Arild Gustavsen et al. 2008, s. 47)

De WWR som oppfyller begge krav (markert i grønt), er aktuelle alternativer for fasadeløsning. Årsaken til at to WWR med rødt varmetap blir ansett som aktuelle løsninger er fordi kravet fra Futurebuilt er at enerkravberegningene skal være 30 % under passivhusnivå, men det understrekes ikke at det må være dette for alle kategorier, men totalt.

WWR	Lengde på veggelement	Varmetapstall W/(m2K)	Dagslys med tykkelse 400 DA	Dagslys med tykkelse 400 DF	Dagslys med tykkelse 500 DA	Dagslys med tykkelse 500 DF	Energiprod kWh/år	Totalt pluss i kWh/m2/år
12,2	2000	0,09	3,3	0,2	1,8	0,2	1 538 203,50	14,61
14,9	1900	0,11	4,4	0,2	2,2	0,2	1 504 617,50	13,86
17,6	1800	0,12	10,5	0,3	7,3	0,3	1 471 031,50	13,10
20,3	1700	0,14	16,8	0,4	13,8	0,4	1 437 445,50	12,34
23,9	1600	0,15	22,9	0,6	20,5	0,6	1 402 660,00	11,56
25,7	1500	0,17	28,4	0,7	26,4	0,7	1 370 273,50	10,83
28,4	1400	0,18	33,4	0,9	31,6	0,9	1 335 488,00	10,05
31,1	1300	0,19	38	1,1	36,8	1,1	1 302 902,00	9,29
33,8	1200	0,21	41,5	1,3	40,4	1,2	1 268 316,00	8,53
36,5	1100	0,22	47,1	1,6	46,2	1,5	1 234 730,00	7,78
39,2	1000	0,24	47,5	1,6	46,8	1,6	1 199 944,50	6,99
41,9	900	0,25	49,9	1,8	49,4	1,8	1 166 958,25	6,25
44,6	800	0,27	52,4	2	51,9	2	1 132 772,50	5,48
47,3	700	0,28	54,7	2,2	54	2,1	1 099 186,50	4,73
50	600	0,30	57,6	2,4	57,1	2,4	1 065 600,50	3,97
52,7	500	0,31	58,2	2,5	57,8	2,5	1 032 014,50	3,21
55,4	400	0,32	59,7	2,6	59,3	2,6	998 438,50	2,46
58,1	300	0,34	61,4	2,8	61	2,8	964 842,50	1,70
60,8	200	0,35	62,8	3	62,4	2,9	930 556,80	0,93
63,5	100	0,37	64,2	3,1	63,8	3,1	896 670,90	0,16
66,2	0	0,38	71,6	4,8	71,7	4,8	862 885,00	0,60

Tabell 11: Resultater for 21 ulike WWR utarbeidet i «DIVA for Rhino», «Skelion» og «Excel».

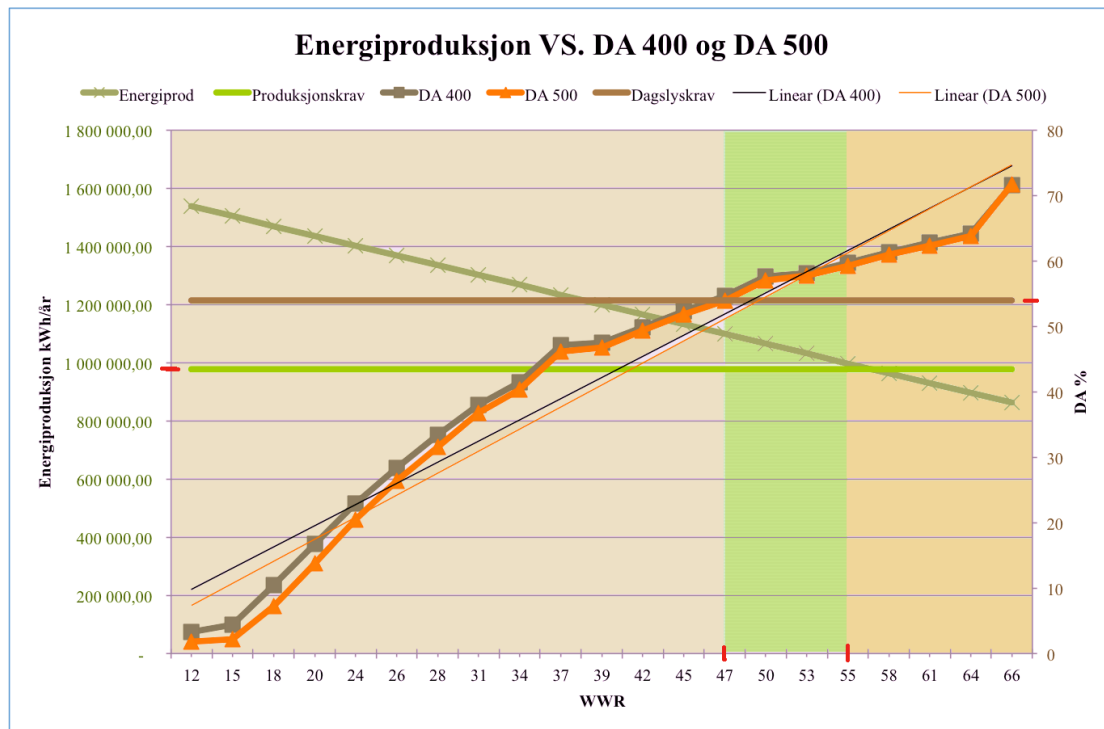
Rosa = oppfyller bare energiproduksjonskravet på +2 kWh/m²/år (Futurebuilt)

Oransje = oppfyller bare dagslyskravet på DF = ≥ 2,1 (BREEAM-NOR)

Grønn = oppfyller begge krav

Tallene markert i rødt overskrider varmetapstallkravet på ≤ 3,0.

De samme resultatene som i tabell 11, er presentert grafisk i figur 42. De aktuelle fasadesammensetningene (WWR) er markert i grønt, og er det intervallet der både energiproduksjonen er større enn energiproduksjonskravet, og dagslysforholdene er over dagslyskravet. WWR-intervallet er markert med to vertikale røde linjer. Det observeres at veggene med en tykkelse på 400mm gir noe bedre dagslys, særlig i tilfellene der det er lav WWR (altså mye vegg og lite vindu).



Figur 42: grafisk fremstilling av resultatene. Der DA400 og DA500 er funksjoner av «WWR» og «DA %», og Energiprod er en funksjon av «WWR» og «Energiproduksjon kWh/år».

Tabell 12 viser korrelasjonsfaktoren til henholdsvis dagslysforhold med en veggtykkelse på 400mm, dagslysforhold med en veggtykkelse på 500mm og energiproduksjonen. Resultatene fra beregningene (beregnet etter formel for «Pearsons korrelasjonskoeffisient, r ») viser at det er sterk positiv sammenheng for dagslysforholdene, og nesten perfekt negativ sammenheng for energiproduksjonen. Årsaken til at disse ikke korrelerer helt, kan være feilkilder som at det er gjort feil i modelleringen, at materialene er gitt feil verdier, at det er plottet feil verdi fra simuleringsprogram til Excel eller lignende.

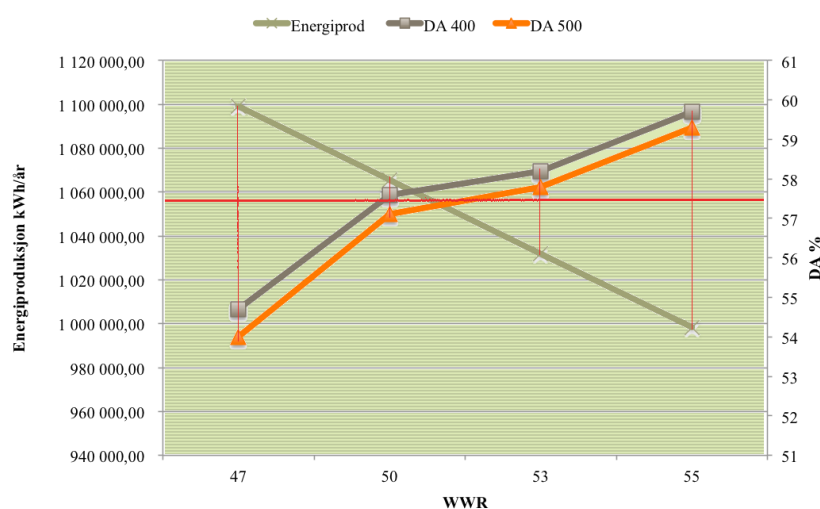
Korrelasjonskoeffisient	
DA400	0,9709
DA500	0,9707
Energiproduksjon	-0,9999

Tabell 12: Korrelasjonsfaktor for de tre grafene.

5.2 Analyse av resultater









5.2.1 «Trade off»

For å vurdere resultatene opp mot hverandre kan det gjøres en «trade off»-analyse (se figur 43). Det er umulig å bestemme en fasade som både er den som produserer mest energi, og gir best dagslys. De åtte alternative fasadeløsningene er gitt i tabell 13.



Figur 43: De 4 WWR som oppfyller alle krav. De røde linjene markerer muligheten for «trade off».

- Hvis det velges en løsning med **mest energiproduksjon**, vil det være dårligere dagslysforhold. Fordelen kan være at det produseres nok ekstra strøm til å kompensere for det tapte dagslyset ved bruk av kunstig lys.
- Hvis det velges en fasade med **best dagslysforhold**. Det vil produseres mindre energi, men med de forbedrede dagslysforholdene, kan energien som spares på kunstig lys kompensere for tapet av energiproduksjon. Det vil med denne løsningen også minke utgiftene til solcellepaneler, samt mindre produksjon av materiale.
- Valget mellom fasadetykkelse på 400mm og 500mm blir også en ”trade off”-situasjon. Da de to tykkelsene har antatt samme U-verdi, vil valget baseres på pris, bærekraft og arealbesparelse.
- To av de aktuelle WWR møter ikke kravene om varmetap på et nivå 30% under passivhusnivå (se tabell 11 for estimert varmetapstall). Dette økte varmetapet kan kompenseres for med f.eks. bedre isolasjon i en annen bygningsdel eller bedre varmegjenvinner.

WWR	DA 400 	DA 500 	Energiprod
	47	54,7	54  1 099 186,50
	50	57,6	57,1  1 065 600,50
 	53	58,2	57,8 1 032 014,50
 	55	59,7	59,3 998 438,50

Tabell 13: Utsnitt av de aktuelle fasadene, og fordeler og ulemper ved dem.



= dyr løsning.



= mest bærekraftig løsning.



= genererer mest energi.



= gir best dagslysforhold



= gir høyere varmetap enn Futurebuilt-kravet

5.2.3 Valg av fasadesammensetning/WWR

Da dagslys ble ansett som den mest begrensende faktoren i optimaliseringen, antas dagslyskravets nivå som «godt nok» dagslys. Av de aktuelle fasadesammensetningene (som oppfyller alle krav) vurderes fasaden med WWR = 50 (midtre veggelement = 600mm) som det beste alternativet. Fasaden gir mer enn gode nok dagslysforhold, og genererer samtidig mye energi. Når det gjelder veggtykkelse, er det valgt en løsning med isolasjonsmateriale som gjør det mulig med en tykkelse på 400 mm, og samtidig oppnå målet på en U-verdi = 0,07. Selv om dette er en mindre miljøvennlig og dyrere løsning enn en «vanlig» vegg, er arealbesparelsen en viktig faktor. OPAK (2017) hevder i en rapport med grunnlag i Dagens Næringslivs utarbeidede eiendomsindeks for kontorlokaler i Oslo-området, at kvadratmeterprisen per år for bygg i kategorien «høy standard sentralt» (som OsloSolar vurderes til) per januar 2017 er på 2900 kr/m²/år (OPAK 2017). For de 10 cm ekstra rundt hele bygget vil dette utgjøre en verdi på:

$$0,1m * 2399m * 2900kr/m^2 / \text{år} = 695\,710\,kr/\text{år}$$

(Der lengden 2399m er hentet fra tabell 9). Dette er en svært høy verdi som vurderes som gunstig nok til å velge den tynneste fasadeløsningen. Ifølge Hornak (2012) fikk man i 2012 VIP-isolasjonsmateriale til en pris på rundt 700 kr/m². Det samme prisestimatet bekrefter Morten Rødsrud fra Vakunor AS, men Rødsrud understreker at prisen vil avhenge av tykkelsen på materialet. Økt mengde material gir lavere U-verdi, men høyere

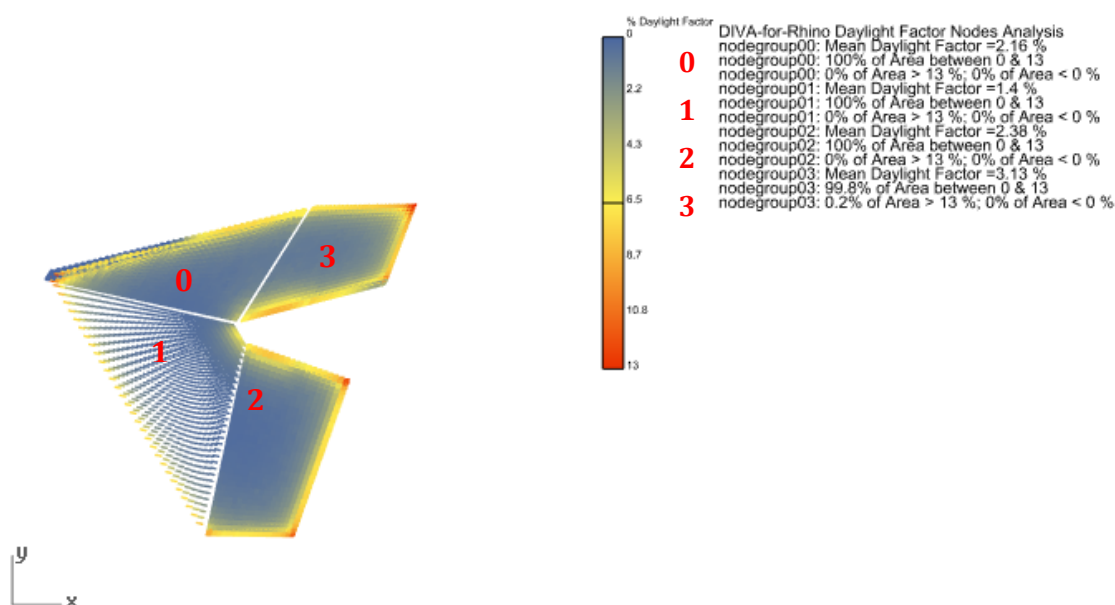
pris (Rødsrud 2017). Prisen på Glavas produkt «Proff 35» (200mm) er i dag på rundt 125 kr/m². Ved antatt dobbel mineralull er forskjellene i pris for isolasjonsmaterialene satt opp i tabellen under. For OsloSolar vil dette utgjøre en forskjell på ca. 2 millioner kr, men med de økte utleieinntektene som følge av de 10 ekstra cm, vil denne utgiften være ha en tilbakebetalingstid på under 3 år.

Modulareal/m fasade (m ² /m) inkludert fast solcelleelement	Lengdemeter fasade (m)	Areal Isolasjon (m ²)	Pris Glava (kr) (320 kr/m ²) 400mm	Pris VIP (kr) (700 kr/m ²)	Forskjell i pris (kr)
1,85	2399	4438,15	1 109 538	3 106 705	1 997 168

Tabell 14: Prisforskjellen mellom isolasjon i mineralull og VIP.

Selv om oppgaven først og fremst undersøker forholdene for ett cellekontor, er ikke dette den endelige planløsningen for hele etasjen eller for alle etasjene. Kontorlandskap er en arealeffektiv løsning, men krever andre dagslysegenskaper enn et cellekontor. For å teste fleksibiliteten i byggets planløsning med tanke på dagslys, er det modellert en hel etasje med den valgte løsningen (WWR=50). Resultatet viser den gjennomsnittlige dagslysfaktoren for 4 «nodegrupper». Det er bare gruppe 1 som ikke tilfredsstillers TEK17 krav om 2% dagslys (TEK17 § 13-7 (2)), det vil derfor være hensiktsmessig å bruke de indre delene av dette arealet til rom som ikke er beregnet til «varig opphold».

Top ▾



Figur 44. DF-simulering for en hel etasje med WWR=50. Simulert i «DIVA for Rhino».

Det valgte fasadesammensetningen gir som det kommer frem i tabell 11 en $DF = 2,4$ og en energiproduksjon på 1 065 600 kWh/år. Hvis dette sammenlignes med den valgte fasaden for forprosjektet i 2015 (se figur 39) (Killingland 2015), hadde denne fasaden en $DF = 3,1$ (som var det gjeldende BREEAM-NOR kravet i 2015), og en energiproduksjon på 1 420 007 kWh/år. Dette resultatet tyder på at dagslysberegningen gjort i denne oppgaven ikke stemmer overens med dagslysberegningene som ble gjort i forprosjektet i 2015. Vindusarealet i fasaden er økt, men det er likevel oppnådd en lavere DF . Årsaken til dette kan være forskjeller i forutsetningene og modellene som er utgangspunktet for beregningene. Den lavere energiproduksjonen kommer som følge av mindre areal til solcellemoduler grunne mer areal til vinduer, men blir nesten kompensert med bruk av mer effektive solceller (23 %).

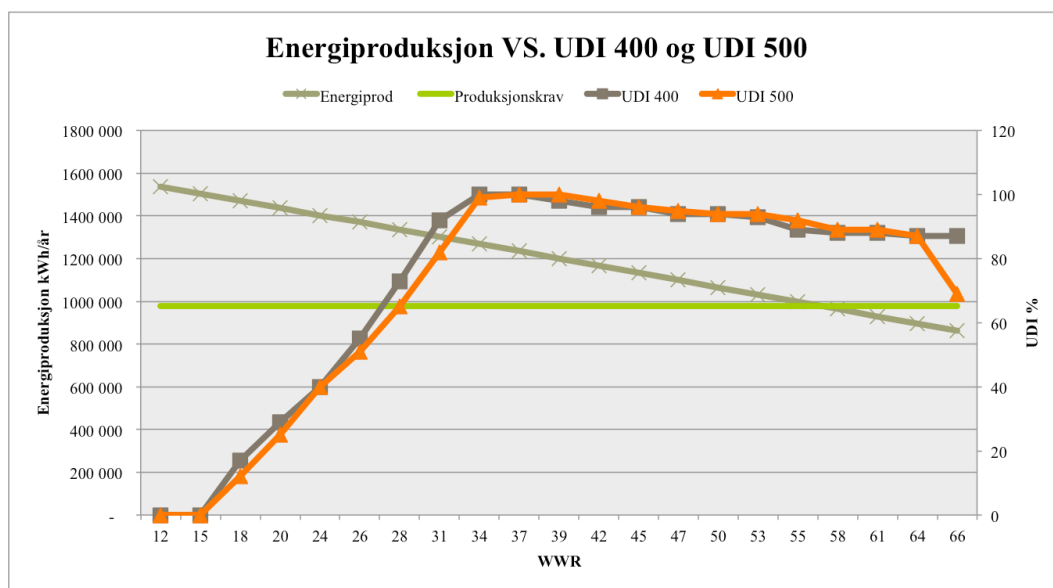
5.2.3.1 UDI

Hvis resultatene for UDI settes inn istedenfor resultatene for DA/DF får vi en litt annen situasjon som bør tas i betraktning. Den fasadesammensetningen som for denne typen beregning gir best dagslys i er $WWR = 36,5$ (se tabell 15), altså en løsning med midtre veggelement = 1100mm. Dette er 500mm mer vegg, og mer potensiell energiproduksjon enn den valgte løsningen, men fasadesammensetningen er langt utenfor dagslyskravene fra TEK 17 og BREEAM, og blir derfor ikke aktuell å bruke i dette caset.

WWR	UDI 400	UDI 500	Energiprod
12,2	0	0	1 538 204
14,9	0	0	1 504 618
17,6	17	12	1 471 032
20,3	29	25	1 437 446
23,9	40	40	1 402 660
25,7	55	51	1 370 274
28,4	73	65	1 335 488
31,1	92	82	1 302 902
33,8	100	99	1 268 316
36,5	100	100	1 234 730
39,2	98	100	1 199 945
41,9	96	98	1 166 958
44,6	96	96	1 132 773
47,3	94	95	1 099 187
50,0	94	94	1 065 601
52,7	93	94	1 032 015
55,4	89	92	998 439
58,1	88	89	964 843
60,8	88	89	930 557
63,5	87	87	896 671
66,2	87	69	862 885

Tabell 15: Resultater fra UDI-beregninger i «DIVA for Rhino».

I den grafiske fremstillingen (se figur 45), ser vi at UDI-prosenten først øker, før den synker litt. Årsaken til dette er at det blir en større andel lys over 2000 lux, og dermed for mye dagslys ettersom WWR øker.



Figur 45: Grafisk fremstilling av resultatene fra UDI-beregninger i «Diva for Rhino».

6. Diskusjon

Delspørsmålene som er definert i innledningskapittelet er brukt som utgangspunkt for å belyse problemstillingens ulike aspekter, og er i dette kapittelet diskutert med et mål om å tilnærme seg en besvarelse på oppgavens problemstilling: *Hva er det optimale forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon for fasaden i caset «OsloSolar»?*

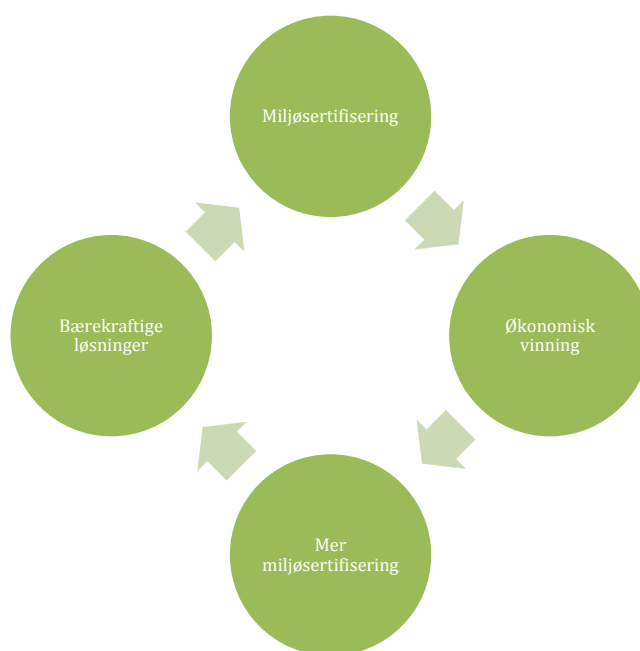
6.1 Rammeverk og krav for «bærekraftige bygg»

OsloSolar vil trolig være verdens største plusshus når det er forventet å stå ferdig i 2020/2021. Gjennom litteraturstudien fremkom det at nesten samtlige artikler ble innledet med byggenæringens store energiforbruk og behovet for raske tiltak. Mange refererer til EUs 2020-mål. (European Commission 2014)

Men hvorfor bygge plusshus? Holder det ikke å oppfylle kravet ved å bygge nNEB? Her kommer Futurebuilt inn med sine «forbildeprosjekter» (Futurebuilt 2016). Viktigheten av at noen går frem som forbilder, og skaper nye løsninger og ny teknologi på dette området er helt nødvendig hvis EU skal nå sine klimamål. I Entras konkurranseutlysning (Rygh 2014 , avsn 2) skrives det at «*prosjektet, kalt Urban+, er en FutureBuilt-pilot og skal møte alle FutureBuilts krav til plussenergibygg*». Dette blir derfor en viktig rammebetingelse for prosjektet, og vurderes som hovedårsaken til at OsloSolar er prosjektert som et plusshus. Litteraturen avdekker nemlig mange utfordringer knyttet til å produsere mer energi enn bygget selv bruker. Som følge av plusskundeordningen vil bygget, slik reglementet er i dag, bare kunne sende 100 kW ut på nettet uten å bli regnet som en energibedrift. (Fladen & Sandnes 2016 s.7). Konsekvensen av dette er at overskuddsstrømmen selges billig på nettet, og må kjøpes dyrere tilbake (Mulder et al. 2013). Satt på spissen, vil dette resultere i at det vil være mer lønnsomt med nNEB enn plusshus fordi de «siste» kW for å bli regnet som et plusshus fort blir veldig kostbare. Det vil lønne seg å produsere mindre strøm, noe som er lite hensiktsmessig rent samfunnsøkonomisk og fremstår som sløsing av ressurser. Dette kan vel og merke forandre seg med tiden hvis batterilagring blir billigere, eller hvis strømprisene blir så høye at strømleverandørene vil betale mer for «overskuddsstrømmen» (Zaitsev et al. 2016).

En viktig del av konseptet «bærekraftige bygg» er muligheten for å endre bygget etter endrede behov. Bygget bør ha fleksible planløsninger og generelt godt dagslys. I OsloSolars tilfelle vil dette dreie seg om endrede ønsker i forhold til kontordriften for eksempel muligheten for kontorlandskap istedenfor cellekontor. Som det kommer frem i resultatene er det bare de innerste arealene i etasjeplanet som ikke tilfredsstillere BREEAM-NOR-kravene om en gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2,1 % (NGBC 2016), og disse vil kunne brukes til rom som ikke er ment for «varig opphold».

Miljøsertifiseringsordninger har de siste tiårene fått en viktig plass i byggenæringen, og ifølge World Green Building Council (2013), viser forskning at sertifisering ikke bare er bærekraftig for miljøet, men også kan gi økonomiske fordeler i form av høyere markedsverdi Dette er et gjennombrudd for slike ordninger (for eksempel BREEAM-NOR), og vil trolig føre til at enda flere velger å miljøsertifisere bygg, og dermed også planlegge flere bærekraftige bygg. Vi ender opp med en «god, grønn sirkel».



Figur 46: Den gode, grønne sirkelen som følge av miljøsertifisering.

6.2 Hvordan optimalisere dagslys og utformingen av vinduer i caset?

For å vurdere den forhåndsbestemte utformingen av fasaden (se figur 39), ble det gjort tester med og uten «vindusbåndet» og med og uten vinkelen i vinduskarmen under «vindusbåndet». Formålet med «vindusbåndet» og vinkelen er å spre dagslys lenger inn i rommet. Det ble så gjort justeringer av vinduselementet, og gjort tester av 21 ulike WWR for to veggtykkelser. Det er innlysende at et større vindu vil gi mer dagslys, men hva er egentlig et «godt» dagslys?

Teorien tar for seg forhold som bør tas i betraktning når det skal velges type vindusglass, og det kommer frem at det kan bli en komplisert sak når både energieffektivitet og dagslys skal ivaretas. Hva bør prioriteres når godt dagslys (høy LT) gir dårlig U-verdi (høy U-verdi), slik det hevdes av Hee et al. (2015)? Det viser seg at mest mulig lys ikke nødvendigvis er det samme som godt lys, og at blending kan bli et hyppig problem ved store vindusarealer. Det er i denne oppgaven ikke utført avanserte analyser av blending som problem, men trolig vil OsloSolar i tillegg til bruk av elektrokromatiske glass, trenge ytterligere solskjerming. Når det innføres solskjerming vil vindusbåndet virkelig komme til sin rett, og sørge for at kontoret får noe tilgang på dagslys selv om lyset må skjermes i arbeidshøyde. Valget av RDG (for eksempel aerogelglass) i vindusbåndet er gjort for å utnytte vindusbåndet til det fulle ved å spre lyset og samtidig opprettholde en lav U-verdi (Aerogel Norge AS 2010). Glasset vil ikke være gjennomsiktig, og vil dermed ikke bidra til utsyn, men dette anses som irrelevant da vindusbåndet uansett er plassert høyt oppe på vegg. Resultatene tilsier at vindusbåndet bidrar til bedre dagslys. Det bør allikevel tas i betraktning at aerogel har svært lav LT, og dermed slipper lite lys inn, og det bør vurderes andre RDG med høyere LT, for å utnytte vindusbåndets muligheter maksimalt. Et problem med vindusbåndet som konsept er at det gir lite utslag på DF-beregningene fordi DF alltid beregnes uten solskjerming. Allikevel vil en løsning med et vindusbånd kan gjøre stor forskjell når solskjermingen er aktivert, og bør vurderes for som et alternativ kontorbygg.

Utsyn er ikke bare noe mange foretrekker, men det er også et krav i TEK 17 (§13-8 (1)). Ved å innføre vindusbåndet, kan vinduselementet gjøres noe mindre, men allikevel oppfylle dagslyskrav. Denne måten å fordele dagslyskildene på kan føre til at utsynet ikke er like godt ved stående posisjon (fordi man vil kunne måtte se inn i det midtre

veggelementet), men da det stort sett slettes på arbeidsplassen, vurderes dette verken som et problem eller brudd på TEKs krav om ”tilstrekkelig utsyn”.

Resultatene viser at vinkelen i vinduskarmen under vindusbåndet gir veldig liten effekt på dagslysforholdene. Årsaken til dette kan være at en rett karm vil reflektere lyset opp i taket som en slags «lyshylle», noe som også vil bidra positivt til lysforholdene (Fugelsnes 2003). Det er allikevel en liten forbedring i DA, og som det også nevnes i resultatkapittelet kan det være et alternativt tiltak i tilfeller det ønskes å bruke minst mulig areal til vinduer.

6.3 Hvordan optimalisere veggtykkelse og vurdere hensiktsmessig isolasjonsmateriale med tanke på varmetap i caset?

I teorien introduseres Futurebuilts energikrav om et nivå 30% under passihusnivå (Rygh 2014). For å nå et slikt nivå, kreves enten veldig tykke vegger eller dyrt, lite miljøvennlig isolasjonsmateriale. I oppgaven er det valgt å gjøre tester for to veggtykkelser med samme U-verdi, men bruk av forskjellig isolasjonsmateriale. Det kommer frem i resultatet at den tynneste veggen gir noe bedre dagslys, men at den først og fremst er valgt av økonomiske årsaker. Selv om den «tynne» veggen med høyeffektivt isolasjonsmateriale er mye dyrere enn en vegg med vanlig isolasjonsmateriale, vil denne ekstra utgiften tjenes inn med tiden. Hvis vi ser bort fra antagelsen om at den tynnere veggen vil ha samme U-verdi grunnet bedre isolasjonsmateriale, men at det allikevel velges en tynnere vegg, vil dette medføre høyere U-verdi, høyere varmetapstall, og dermed økt energibehov til oppvarming. Men om dette økte energibehovet kan dekkes av egenprodusert energi, gjør det da noe med litt høyere varmetapstall? Hvis bygget skal koste det samme bør det altså gjøres en økonomisk «trade off»-analyse for hva som sparer mest energi ved samme investering. En bedre isolert vegg eller samme verdien i økt mengde solceller?

Hee et al. (2015) hevder at det blir et dilemma mellom lav U-verdi og godt dagslys. Forskingen viser at lav U-verdi gir lav TV, altså dårligere dagslysforhold. Lav U-verdi vil senke energibehovet, mens lav TV vil øke energibehovet som følge av økt behov for kunstig belysning. Det blir et «trade-off»-dilemma der det er vanskelig å få begge deler. Forfatterne konkluderer allikevel til slutt med at når det gjelder valg av glass, får du det du betaler for, og at det derfor bør gjøres en tekno-økonomisk analyse når det skal bestemmes glasstype. Det samme gjelder for isolasjonsmateriale generelt. Man vil kunne få en «tynn» vegg med like lav U-verdi som en «tykk» vegg om man bare er villig til å betale for det.

6.4 Hvordan optimalisere energiproduksjon i caset, og hvilke muligheter og utfordringer oppstår ved bruk av BIPV?

Fornybar energi har to komponenter som er verdiskapende for samfunnet. Energien i seg selv, og miljøfordelene. Ved å installere solkraft vil man i tillegg til de direkte fordelene fra energien, også få indirekte effekter som sparing av store mengder luftforurensing og vannbruk knyttet til kraftverkdrift, som i mange tilfeller ville vært alternativet (SolarCity Corporation 2015 s. 30-31). For å inkludere solkraft som et utgangspunkt for utformingen av bygget, ble casets energiproduksjonspotensial undersøkt for 21 ulike WWR i programmet «Skelion».

Schuetze et al. (2015) hevder at om EU skal nå sitt 2020-mål om at alle nybygg skal være nNEB, vil det avhenge av en ekspansjon i den installerte BIPV-kapasiteten. Ifølge Zaitsev et al. (2016) er en ekspansjon i markedet avhengig av at aktørene gjør prosessen så enkel og sømfri for kunden som mulig. For å gjøre dette mulig for aktørene, bør politikken tilrettelegge for energiproduksjon, slik at det også lønner seg økonomisk ved at det blir en kortere tilbakebetalingstid på solcelleanleggene. Med dagens plusskundeordning kan et bygg bare tilføye strømmettet 100 kWh uten å bli beregnet som en energibedrift. Dette gjør det vanskelig for store næringsbygg, og kan bli en begrensende faktor for utbyggeren. Allikevel må trolig deler av strømmettet oppgraderes hvis det skal være i stand til å ta imot strøm fra de nye ”energibedriftene”, for ifølge IEA (2016) er ikke batterilagringsteknologien moden for denne skalaen (International Energy Agency 2016). Dette er kostbare løft, så det er fremdeles et stykke igjen før alt er tilrettelagt for bruk av BIPV.

Politikken som omhandler lønnsomheten av solkraft vil ha en innvirkning på hva slags type solceller som bør velges. Resultatene viser at med solcellepaneler med en effekt på 23%, trengs det bare et modulareal på 1,35m²/lengdemeter fasade, for å produsere mer energi enn bygget bruker (se regneark i Appendix G). Hvis det lønner seg å produsere mindre energi, vil det ikke være hensiktsmessig å velge de dyreste og mest effektive krystallinske solcellepanelene, slik som er valgt for OsloSolar, men heller en billigere tynnfilmvariant. Disse har også fordelen av å ha et mer anonymt estetisk uttrykk.

Som det kommer frem i introduksjonen av caset (kapittel 4), er Oslosolars arkitektur planlagt og optimalisert med tanke på sol-forhold slik området ser ut i dag, men om man

ser på planene for området rundt, er det mange planer som vil kunne være ødeleggende for Oslosolars lys/sol-forhold (Byplan Oslo 2015). Er det dumt å bygge et slikt signalbygg i et såpass usikkert område i utvikling? I Oslo kommunes «kommuneplan mot 2030» legges det frem at det satses på en fortetning av indre by, med mulighet for å bygge høyere enn den vanlige høyden i området i dag (30 m) (Oslo kommune 2015).

Et annet moment som kan forandre seg (og lønnsomheten av BIPV) med tiden er klimaet. Den globale oppvarmingen er et faktum og vil i Norge ifølge Kristin Halvorsen, direktør i Cicero senter for klimaforskning, føre til varmere vintre, kaldere somre og mer regntunge høster (Stranden 2017). På den ene siden vil «dårligere», mer overskyet vær gi mindre direkte sollys, og dermed mindre elektrisetsproduksjon fra solcellepanelene, noe som kan føre til at det blir mindre lønnsomt å investere i solkraft. På den andre siden blir solcellepanelene mer og mer effektive hvert år, som muligens kan kompensere for det dårlige været (Valmøt 2016).

Ifølge Schuetze et al. (2015) vil vanlige bygningsdeler ha negativ effekt på miljøet i form av ressurs- og energibruk. For å vurdere miljøpåvirkningen og energibalansen av en BIPV-fasade må en i tillegg til å vurdere de totale miljøkostnadene og energibruken også vurdere den totale positive energiproduksjonen gjennom bygningsdelens livsløp. Dette er årsaken til at BIPV-fasaders livsløpskostnader kan være lavere enn for en vanlig fasade. Fasadekonseptet er ofte avhengig av et byggs spesielle kontekst, og kan derfor være lite overførbart, altså forskjellig fra case til case (Schuetze et al. 2015). Dette er et argument for å (som i dette prosjektet) gjøre prosjektspesifikke vurderinger.

I Norge står vannkraft i dag for 98% av all elektrisitet. Gitt at vannkraft også er et miljøvennlig kraftalternativ må det vurderes i hvilken grad solkraft er et godt alternativ for Norge. Selv om vannkraften produserer nok energi til å dekke 98% av elektrisitet bruken vår, blir ifølge Lindberg (2017) mesteparten av den rene vannenergien solgt dyrt til utlandet, og Norge må kjøpe «skitten» kraft billig tilbake. Energi har lenge vært en viktig eksportvare for Norge, og i overgangen fra fossil til grønnere fornybar energi, kan denne eksporten av vannkraft være en viktig form for verdiskaping. I lys av dette blir solkraft både et viktig middel for å nå EUs 2020-mål, og viktig som kompensasjon for vannkraften som kan selges som eksportvare til Europa.

Bruk av BIPV	
Muligheter	Utfordringer
Generere elektrisitet	«Levetid» på ca 30 år. Må kunne utskiftes
En del av bygningskroppen	Preget estetikk
Bidrar til lavere u-verdi	Bør designes prosjektsesifikt
Lønnsomt på langsikt	Store investeringskostnader
Energieffektivt	Store installeringskostnader
Bidrar til å nå nNEB-/NEB-/Plusshuskrav	Avhengig av ytre faktorer. Klima, omkringliggende bygg osv.
Lite utnyttet solenergi (stor potensiale)	Liten batterikapasitet
Ulike typer solceller for ulike behov	Strømnettet er ikke tilpasset aktiviteten
Optimal plassering av panelene	Nye skyggekilder kan dukke opp i områder under utvikling
Utforming av bygget tilpasset energiproduksjonen	Mindre miljøvennlig enn vannkraft

Tabell 16: Muligheter og utfordringer ved bruk av BIPV.

6.4 Muligheter og utfordringer/begrensninger gir bruk av valgte simuleringsverktøy.

6.4.1 DA og UDI

Når det i simuleringen av både dagslys (DA, DF og UDI) og solcelleeffekt (PVWatts og PVGis) tas utgangspunkt i en klimafil som er basert på gjennomsnittsværet et sted i Oslo det forrige året, må det tas hensyn til at det vil være endringer i det typiske været, og at resultatene fra simuleringene av den grunn kan bli mindre gjeldende med tiden. Som det kommer frem i metoden er DA en beregningsmetode som vurderer hvor stor del av rommet dagslyset møter kravet om en satt verdi (300 lux) i mer enn 50% av tiden det er i bruk. På samme måte som for DF gir imidlertid ikke DA noen øvre grense for hva som regnes som godt lys. Av de tilgjengelige beregningsmetodene er det bare UDI som definerer et intervall på hva som er godt lys (100-2000 lux) og som unngår en situasjon der problemet er for mye lys inn. Resultatene viser at den valgte fasadesammensetningen har en DA på 57,6%. Dette er akkurat innenfor LEED-kravene det opereres med i USA, der kravet for å oppnå poeng i sertifiseringsordningen er DA = 55% (USGBC 2017). En viktig ting å merke seg fra resultatene er at de fasadesammensetningene som ifølge UDI-beregningene gir best dagslysforhold verken møter DF kravene fra BREEAM-NOR og TEK 17, eller hadde møtt DA-kravene fra LEED. Dette kan tyde på en svakhet ved kravene.

6.4.2 DF

Årsaken til at DF er brukt i denne oppgaven er fordi DF definerer BREEAM-NOR-kravet til dagslys (NGBC 2016). Men bortsett fra å være et krav, sier DF lite om dagslysforholdene. DF måler forholdene på en overskyet dag, men vi har mange andre situasjoner som også burde tas i betraktning. Hvilken gevinst gir for eksempel store vinduer og fin utsikt hvis vinduene stort sett må dekkes til grunnet mangel på visuell komfort? Særlig for kontorbygg blir dette en viktig diskusjon da blending kan føre til refleksjon i skjermer og dermed dårligere arbeidsforhold.

6.4.3 Glare/Blending

De store endringene i solens posisjon gjennom året, kan være et argument for å ha en dynamisk solskjerming fremfor en fast type. Direkte sollys vil kunne føre til visuelt ubehag, og er i Norge først og fremst et problem om vinteren fordi solen er lav innenfor

normale arbeidstider. Ved andre årstider vil solen også kunne oppleves som ubehagelig og blendende, men dette vil stort sett være før og etter arbeidstiden. Årsaken til at vi kan få en «feil» oppfattelse av blindingssituasjonen ved bruk av beregningsmetoden «annual glare», er at det punktet som blir blendet forskyver seg lenger bak i rommet når solen er lavere om vinteren, mens beregningsmetoden bare tar for seg resultatet i en bestemt situasjon. Teorien tilsier at det er da det vil være størst problem. Det kan derfor være fare for at denne typen blinding ikke vil fanges opp med mindre kameraet blir satt inn langt bak i rommet.

6.4.4 PVGis og PVWatts

Som det blir beskrevet i metoden, ble PVWatts valgt som beregningsverktøy foran PVGis fordi resultatene var noe lavere, og det var ønskelig å være på riktig side av disse marginene. Resultatene viser at med den forventede teknologien, vil kravene fra Futurebuilt nås med god margin. Det bør allikevel tas i betraktning at skygge fra omkringliggende bygg ikke er regnet med for fasadene, og at dette vil kunne ha en viss negativ effekt på energiproduksjonen.

Bruk av valgte simuleringsverktøy			
Dagslyssimulering («DIVA for Rhino»)		Solcellesimulering («Skelion»)	
Muligheter	Utfordringer/begrensninger	Muligheter	Utfordringer/begrensninger
Mange ulike måter å vurdere dagslysforhold	Vanskelig å få tilgang på programvare. (Bare 30 dagers prøvelisens)	Design egendefinerte paneler med valgt effekt og størrelse	Vanskelig å få tilgang på programvare. (Bare 15 dagers prøvelisens)
Teste forholdene ulike steder i rommet/bygget	Lang beregningstid	Brukervennlig programvare	Vurdere tap som følge av skygge fra omkringliggende bygg.
UDI	Vanskelig å simulere «spredt lys» (redirected light)	Rask beregningstid	

Tabell 17: Muligheter og utfordringer ved bruk av valgte simuleringsverktøy.

6.5 Må det velges mellom enten godt dagslys eller høy energiproduksjon?

For OsloSolar som prosjekt er både gode dagslysforhold og høy energiproduksjon essensielt for å møte kravene. I resultatene kommer det frem at begge kravene kan møtes med 4 forskjellige WWR og 2 ulike veggtykkelser, og det bli et valg mellom «enda mer» dagslys eller «enda mer» energiproduksjon. For å kunne vurdere hvilke parametere som bør prioriteres å optimere, bør det gjøres helhetlige vurderinger. I denne oppgaven er det mange begrensninger og faktorer som ikke blir tatt høyde for. Dette gjelder både for dagslysbergingene og for energiproduksjonsberegningene. Som det er presentert i resultatet er det valgt en fasadesammensetningen med et WWR på 50. Fasaden er valgt fordi den både oppfyller kravene, men samtidig har litt slingringsmonn både når det kommer til dagslys og energiproduksjon. Det er da tatt høyde for feilkilder som skygge fra omkringliggende bygg, klimaforandringer osv. I fremtiden vil en trolig slippe å gjøre denne formen for forenklinger i optimaliseringen da algoritmebaserte programmer som for eksempel Grasshopper kan tas i bruk, der mange parametere kan kobles opp mot hverandre og beregnes samtidig.

7. Konklusjon

Forskningsspørsmålet som har blitt undersøkt i oppgaven er:

Hva er det optimale forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon for fasaden i caset «OsloSolar»?

Bærekraftige bygg bør (og må fra 2018/2020 grunnet EUs direktiver) designes for å bevare miljøet og senke byggenæringens store bidrag til energibruk og CO₂-utslipp. Miljøsertifiseringsordninger som BREEAM-NOR, bidrar til å synliggjøre bærekraft og kan gi både økonomiske og miljøfremmede ringvirkninger. Det samme gjør Futurebuilt med sine forbildeprosjekter. Den nye veiledningen om tekniske krav til byggverk (TEK 17), har skjerpet kravene om energieffektivitet, og bidrar slik til fokus på bærekraftige bygg.

Det er i «Rhino» modellert 42 modeller med ulikt forhold mellom vindu og vegg (WWR). De samme modellene er videre lastet inn i «Sketchup» for å muliggjøre simulering av solcellenes effekt. Basert på 42 dagslyssimuleringer og 21 energiproduksjon-simuleringer gjort i henholdsvis «DIVA for Rhino» og «Skelion», samt 21 varmetapsberginger, presenteres det i resultatkapittelet 8 mulige løsninger (4 ulike WWR med 2 veggtykkelser). Disse kan hentes i tabell 13, og oppfyller både krav om dagslysforhold og energiproduksjon. Det er markert hvilke av disse som maksimerer energiproduksjon (WWR=47,3), og hvilke som gir de beste dagslysforholdene (WWR=55,4). Det estimerte varmetapet for disse løsningene viser at det kun er 2 av de aktuelle WWR som oppfyller Futurebuilts krav om energikravberegninger 30 % under passivhusnivå. Det er valgt å ta utgangspunkt i ett kontor i 6. etasje på sørøst-fasaden for simuleringene. Dette anses som en sentral begrensning og svakhet ved oppgaven, da forholdene (og dermed resultatene) for en annen fasade trolig vil avvike fra den valgte fasaden grunnet himmelretningene og solens bane. Begrensningen er gjort grunnet tidkrevende dagslyssimuleringer som følge av for store/tunge (hvis det skulle vært simulert for større arealer) eller for mange (hvis det skulle vært simulert for alle himmelretninger) modeller.

Det viser seg at et vindusbånd ved bruk av et «redirecting glass» (RDG) som sprer lyset godt (for eksempel Aerogel som er angitt som materiale i simuleringene), kan bidra til at

dagslyset trenger lenger inn i rommet og dermed gir bedre dagslysforhold. Vindusbåndets posisjon høyt oppe på veggen, samt det diffuse glasset, muliggjør dagslys selv hvis vinduselementet må tildekkes av solskjerming grunnet blinding.

Som følge av høye kvadratmeterpriser i Oslo sentrum (OPAK 2017), vil det lønne seg å velge en tynneste mulig vegg. Det er allikevel viktig å ta i betraktning at vegger isolert med høyeffektiv isolasjon ofte både er dyrere og laget av mindre miljøvennlig materiale enn «vanlige» vegger. Ved bruk av BIPV er den største fordelen samtidig også den største utfordringen. Det er ønskelig å generere mest mulig energi, men grunnet «feed-in tariff»-ordninger er det lite lønnsomt å selge egen strøm billig ut på nettet, for så å måtte kjøpe annen strøm dyrt tilbake igjen. I OsloSolars tilfelle vil trolig ikke det lokale strømmettet ha nok kapasitet til å ta imot den genererte strømmen, noe som kan føre til utgifter i forbindelse med oppgradering av strømmettet.

For å simulere dagslys og energiproduksjon finnes mange ulike programvarer å velge mellom (Jakica 2017), (Almås et al. 2016). Valget av hvilke program som skal brukes bør gjøres prosjektspesifikt da noen prosjekter krever mer avanserte simuleringer enn andre. For OsloSolar har solcellene vært et viktig prinsipp for utformingen av bygget, muliggjort gjennom simuleringer gjort i «SketchUp plugin»-programmet; «Skelion». For simulering av dagslys er det oppfattet som et gjennomgående problem at jo mer detaljerte modeller som er brukt, desto lenger tid tar beregningene. En beregning kan ta opptil flere timer, noe som har resultert i bruk av forenklete, «lettere» modeller.

Hovedfunnet i oppgaven er utredet fra beregningsresultatene samt vurderinger gjort med utgangspunkt i teorien og erfaringer. Resultatene tilsier at fasaden som vurderes til å gi det optimale forholdet mellom dagslys, varmetap og energiproduksjon er en fasade med 4 elementer; «nedre veggelement», «vinduselementet», «midtre veggelement» og «vindusbåndet», med høyder på henholdsvis 1250mm 1400mm, 600mm og 450mm. Det nedre veggelementet er inkludert etasjeskille på 350mm, og resulterer i en brytningshøyde = 900mm. Fasaden får altså et WWR=50. Det er valgt et høyeffektivt isolasjonsmateriale som muliggjør en U-verdi=0,07 for en fasade med veggtykkelse=400mm. Vinduselementet vil ha elektrokromatisk glass og vindusbåndet vil ha et «redirecting glass», for eksempel aerogelglass. Med denne fasadeløsningen oppfylles både BREEAM-NOR- og TEK 17-krav til dagslys, samt Futurebuilts krav til

varmetap og energiproduksjon. Til sammenligning med den prosjekterte fasaden fra 2015 gir den nye fasaden både lavere DF og mindre energiproduksjon til tross for større vindusarealer. Dette tolkes som at det er gjort andre forutsetninger og brukt andre metoder ved simulering og beregninger i forprosjektet, og kan tyde på svakheter ved en av metodene.

Resultatene viser også noen interessante funn ved bruk av « Useful daylight illuminance » UDI som beregningsverktøy for dagslysforhold. Som følge av bruk av denne metoden viser resultatene at den fasadesammensetningen som gir totalt best dagslysforhold er den med et WWR=36,5. Denne fasadesammensetningen er ikke innfor verken BREEAM-NOR eller TEK 17 sine krav til dagslys, og avdekker dermed en svakhet i kravene. Eventuelt kan dette også tolkes som en svakhet ved UDI som beregningsmetode.

8. Videre arbeid

For videre arbeid med OsloSolar som prosjekt, vil det være viktig å holde seg oppdatert innen ny teknologi på markedet og endringer i politikk og krav. Oppgaven viser at endringer siden forprosjektet til OsloSolar ble ferdigstilt i 2015 gir utslag på hva som vurderes som den optimale løsningen per i dag. Selv om det i oppgaven er tatt høyde for en viss teknologisk fremgang, bør prosjektet vurderes med oppdaterte løsninger tettest mulig opp mot forventet byggestart 2019.

I artikkelen «Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings» (Pikas et al. 2014) beskriver forfatterne hvordan det er gjort mye forskning på hvordan optimalisere bygg med tanke på energieffektivitet, men lite med tanke på kostnadseffektivitet. Er det mest energibesparende og økonomisk gunstig med investeringer i mer effektiv isolasjon eller bør det gjøres investering i mer effektive solceller? Hvis målet er å gjøre nNEB kommersielt attraktivt, bør denne parameteren inkluderes ytterligere i videre arbeid.

Med PVT-teknologien utnyttes mest mulig av energien som treffer bygget. Racell er et dansk selskap grunnlagt i 1982, og ledet av Yakov Safir. Det nyeste produktet deres innen materialteknologi er «Triple energy» som ifølge deres hjemmeside kan vinne energi med en utnyttelse på 90 %, der 20% går til elektrisitet, 30 % går til avkjølingsenergi, og 40% går til oppvarmingsenergi (Safir 2017). Dette er ny avansert teknologi som produsenten holder tett til brystet, men en slik teknologi kan være interessant for plusshusprosjekter som OsloSolar.

For OsloSolar ville det vært interessant å inkludere materialitet både til yttervegg og glass, type PV-paneler, tykkelse yttervegg og størrelse på vinkel i yttervegg under vindusbånd som parametere, i tillegg til dagslys og energiproduksjon i algoritmen. Optimaliseringsalgoritmer som «Grasshopper» vil kunne gjøre optimaliseringer med mange parametere. Å lære seg en slik metode krever en del arbeid. Samtidig kan det på sikt spare mye tid knyttet til beregninger og analyser. Optimaliseringsalgoritmene gjør det mulig å finne de beste løsningene for senere prosjekter med en ny grad av nøyaktighet.

I denne oppgaven er det gjort en prosjektspesifikk analyse av hva som ville være den beste fasadeløsningen for caset «OsloSolar». Tilsvarende metode vil kunne brukes for andre prosjekter der grunnplan/arealene er bestemt, og det med det som utgangspunkt skal bestemmes fasadeløsning.

9. Litteratur

- Aerogel Norge AS. (2010). - Når bærekraftige løsninger betyr noe.
- Almås, J. A., Gruner, M., Klinski, M., Rode, T., Vik, L. & Andresen, I. (2016). Krav til dagslys i TEK10. Vurdering av forslag til lemping og tydeliggjøring av kravet i TEK10 til dagslys, samt kartlegging av metoder og beregningsutstyr. .
- Amundsen, J. S., Bartnes, G. & Øyslebø, E. (2017). Kraftmarkedsanalyse 2016 - 2030. *Rapport NVE*.
- Andresen, I., Thyholt, M. & Dokka, T. H. (2014). Kriterier for Futurebuilt Plusshus. *SINTEF Byggforsk*.
- Arbeidsplassforskriften § 2-10. (2011). *Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler*
- Arild Gustavsen, Jan Vincent Thue, Peter Blom, Arvid Dalehaug, Tormod Aurlien, Steinar Grynning & Sivert Uvsløkk. (2008). Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk. *SINTEF Byggforsk Prosjektrapport*.
- Australian Government. (2017). *Photovoltaic systems. Your Home*. Tilgjengelig fra: <http://www.yourhome.gov.au/energy/photovoltaic-systems> (lest 07.12.17).
- Baetens, R., Jelle, B. P. & Gustavsen, A. (2010). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94 (2): 87-105.
- Baetens, R., Jelle, B. P. & Gustavsen, A. (2011). Aerogel insulation for building applications: a state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 43 (4): 761-769.
- Beltran, L., Lee, E. & Selkowitz, S. (1997). Advanced optical daylighting systems: light shelves and light pipes. *Journal of the illuminating engineering society*, 26 (2): 91-106.
- Berner, E. (2012). *Evapotranspirasjon* Store Norske Leksikon Tilgjengelig fra: <https://snl.no/evapotranspirasjon> (lest 16.10.2017).
- Bluman, A. G. (2000). *Elementary statistics*: McGraw Hill Publishers.
- Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C. H. & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10.
- Byggeindustrien. (2017). *Nordmenn bygger omdømme med bærekraft*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1317989> (lest 20.06.2017).
- Byggforsk, S. (2004). Beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor og glassareal *Byggforskserien*, 421.626
- Byggforsk, S. (2017). Beregning av U-verdier etter ISO 6946. *Byggforskserien*, 471.008.
- Byplan Oslo. (2015). *Oslo S – ett skritt videre*. Tilgjengelig fra: <http://byplanoslo.no/content/oslo-s-ett-skrutt-videre> (lest 02.10.2017).
- Barnes, S. (2017). *Grønne bygg; bra for miljøet, bra for helsen - bra for business*. bygg.no. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/annonsorinnhold/1316527?category=content+marketing> (lest 12.10.17).
- Carr, G. (2012). *Sunny uplands - Alternative energy will no longer be alternative*: The Economist. Tilgjengelig fra: <https://www.economist.com/news/21566414->

- [alternative-energy-will-no-longer-be-alternative-sunny-uplands](#) (lest 30.08.2017).
- Carter, J. (1979). *Solar Energy Remarks Announcing Administration Proposals*. Tilgjengelig fra: <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=32500> (lest 03.10.2017).
- Chen, C. J. (2011). *Physics of solar energy*: John Wiley & Sons.
- Christensen, A. (2014). *Ny giv for organiske solceller*. Tilgjengelig fra: <http://forskning.no/alternativ-energi/2014/08/ny-giv-organiske-solceller> (lest 10.10.2017).
- CODE, Rambøll & IFE. (2015). *Prosjektbeskrivelse av vinnerforslaget OSLOSOLAR*. Tilgjengelig fra: <http://arkitektur.no/lilletorget-1-oslo> (lest 27.06.2017).
- Conserval Engineering Inc. (2016). *SolarWall*. Tilgjengelig fra: <http://solarwall.com/en/home.php> (lest 06.10.2017).
- Corrodi, M. & Spechtenhauser, K. (2008). *Illuminating: natural light in residential architecture*, b. 3: Walter de Gruyter.
- Delphin, I. L. A. (2013). *Aeorgel*. Store Norske Leksikon Tilgjengelig fra: <https://snl.no/aerogel> (lest 06.10.2017).
- DIVA for Rhino. (2015). *RHINO TRAINING*. Tilgjengelig fra: <http://solemma.net/TrainingRhino.html> (lest 29.09.2017).
- Energimerking.no. (2009). *Om energimerkeordningen* Tilgjengelig fra: <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/> (lest 16.10.2017).
- Enova. (2017). *Om Enova - Hvor kommer pengene Enova deler ut fra?* Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/om-enova/> (lest 30.09.2017).
- European Commission. (2014). *Climate action*. Tilgjengelig fra: https://europa.eu/european-union/topics/climate-action_en (lest 25.09.2017).
- Fialka, J. (2016). *Why China Is Dominating the Solar Industry*. Tilgjengelig fra: <https://www.scientificamerican.com/article/why-china-is-dominating-the-solar-industry/> (lest 12.10.2017).
- Fjellvåg, H. (2009). *Amorfe Materialer*. Store Norske Leksikon Tilgjengelig fra: <https://snl.no/amorfe-materialer> (lest 22.09.2017).
- Fladen, B. A. & Sandnes, E. (2016). *Endringer i kontrollforskriften vedrørende plusskundeordningen*.
- Fornybar.no. (2016a). *1.1 Vinden som energikilde*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/vindkraft/ressursgrunnlag-vind1.1> (lest 03.10.2017).
- Fornybar.no. (2016b). *Komponenter i solcellesystemet*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/komponenter-i-solcellesystemet> (lest 04.09.2017).
- Fornybar.no. (2016c). *Produksjonskostnader og nettparitet, elektrisitet fra solceller*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/produksjonskostnader-og-nettparitet-elektrisitet-fra-solceller> (lest 18.09.2017).
- Fornybar.no. (2016d). *Solceller*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/solceller> (lest 22.09.2017).
- Fortum. (2017). *Hva betyr 1 kWp* Tilgjengelig fra: <http://www.fortum.no/faq/hva-betyr-1-kwp/> (lest 04.09.2017).

- Fugelsnes, E. (2003). *Bli lys!*: NTNU. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/alternativ-energi-arbeid-hus-og-hjem/2008/02/bli-lys> (lest 27.11.2017).
- Futurebuilt. (2016). *Om oss*. Tilgjengelig fra: <https://www.futurebuilt.no/Om-oss> (lest 03.10.2017).
- Gangåssæter, H. F., Jelle, B. P., Mofid, S. A. & Gao, T. (2017). Air-Filled Nanopore Based High-Performance Thermal Insulation Materials. *Energy Procedia*, 132: 231-236.
- GCCG (Government Construction Client Group). (2011). A report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper I: BIM (red.). Glava.no. (2017). *KONSTRUKSJONER BRANN - LYD - VARME*
- Iht. energikravene i TEK17 og TEK10*. Tilgjengelig fra: <https://media.glava.net/mediabank/store/10579/Konstruksjoner.pdf> (lest 30.11.2017).
- Hee, W., Alghoul, M., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M., Alrubaih, M. & Sopian, K. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42: 323-343.
- Heiskel, B. (2017). *E-post utveksling mellom Johanne Thurmann-Moe og Bjørnar Heiskel (Rambøll)* (03.11.2017).
- Hornak, J. (2012). *Möjligheter med högpresterande isolering. AMA-nytt HUS*, 2/2012.
- Humppi, H. (2015). *Algorithm-Aided Building Information Modeling: Connecting Algorithm-Aided Design and Object-Oriented Design*. Master of Science Thesis Tampere University og Technology 164 s.
- IE MIT. (2015). *The Future of Solar Energy AN INTERDISCIPLINARY MIT STUDY. MIT Future of Series*, 8.
- International Energy Agency. (2016). *TRENDS 2016 in photovoltaic applications Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2015*.
- Jaber, S. & Ajib, S. (2011). Thermal and economic windows design for different climate zones. *Energy and Buildings*, 43 (11): 3208-3215.
- Jakica, N. (2017). State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Jakubiec, J. A. & Reinhart, C. F. (2011). *DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus*. Proceedings of building simulation. 2202-2209 s.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43 (10): 2549-2563.
- Kaneka Corporation. (2017). *New World Record Established for Conversion Efficiency in a Crystalline Silicon Solar Cell*. Tilgjengelig fra: <http://www.kaneka.co.jp/en/service/news/nr201708252/> (lest 21.09.2017).
- Killingland, M. (2015). *OsloSolar Energy concept, design and engineering. Futurebuilt+//Oslosolar Fra Magnus Killingland til Code Arkitektur, Kopi til Rambøll Prosjektgruppe* (07.06.2015).
- Killingland, M. & Rambøll. (2015). *Konkuransebidrag*. Tilgjengelig fra: <http://www.arkitektur.no/lilletorget-1?pid1=236212> (lest 12.12.2017).

- King, D. L., Kratochvil, J. A. & Boyson, W. E. (1997). *Temperature coefficients for PV modules and arrays: measurement methods, difficulties, and results*. Photovoltaic Specialists Conference, 1997., Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE: IEEE. 1183-1186 s.
- Klima- og miljødepartementet. (2016). *Sirkulær økonomi, EUs handlingsplan for en sirkulær økonomi* Regjeringen.no Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2015/des/sirkular-okonomi/id2470468/> (lest 29.08.2017).
- Kollegiet for brannfaglig terminologi. (2013). *Skorsteinseffekt*. Faguttrykk Tilgjengelig fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=skorsteinseffekt> (lest 16.10.2017).
- Lampert, C. M. (1993). Optical switching technology for glazings. *Thin Solid Films*, 236 (1-2): 6-13.
- Larsen, B. B. (2015). *Moores Lov*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/Moores_lov (lest 16.10.2017).
- Lied, F. (2017). *Solcelle*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/solcelle> (lest 03.10.2017).
- Lindberg, T. (2017). *Myten rundt grønn kraft* Energi og Klima Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/kommentar/myten-rundt-gronn-kraft/> (lest 02.11.2017).
- Lærheim, O. D. (1988). *Kroppsrhythmene og lyset: En innføring i kronobiologi*. Bergen Alma Mater Forlag AS.
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N. & Christoffersen, J. (2012). *Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability*. Proceedings of the building simulation and optimization conference (BSO12), Loughborough, UK.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., Kimber, A. & Mitchell, L. (2005). *Performance parameters for grid-connected PV systems*. Photovoltaic Specialists Conference, 2005. Conference Record of the Thirty-first IEEE: IEEE. 1601-1606 s.
- Marton, I., Grønn Byggallianse & Solenergiforeningen. (2016). *Solenergianlegg Tipshefte fra Grønn Byggallianse 5*.
- Morgan, S. (2017). *China eclipses Europe as 2020 solar power target is smashed*. Tilgjengelig fra: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/china-eclipses-europe-as-2020-solar-power-target-is-smashed/>
- Mulder, G., Six, D., Claessens, B., Broes, T., Omar, N. & Van Mierlo, J. (2013). The dimensioning of PV-battery systems depending on the incentive and selling price conditions. *Applied Energy*, 111: 1126-1135.
- Nabil, A. & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37 (1): 41-57.
- Nabil, A. & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy & Buildings*, 38 (7): 905-913.
- Neyer, A., Klammt, S. & Müller, H. (2015). *Energy efficient room illumination by the redirection of sunlight: new micro structured components*: 3rd Southern African Solar Energy Conference, South Africa, 11-13 May, 2015.
- NGBC. (2016). *BREEAM-NOR for nybygg 2016 Teknisk manual b. 1.0*: NGBC.
- Norske Arkitekters Landsforbund, Futurebuilt & ASA, E. E. (2015). *URBAN+. Norske arkitekturkonkurranser*, 463.

- Olje- og energidepartementet. (2015). *Bygningsenergidirektivet. Direktiv om bygningers energiytelse*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2009/mars/bygningsenergidirektivet-recast/id2434671/> (lest 29.09.2017).
- OPAK. (2017). OPAKs prisstigningsrapport.
- Oslo kommune. (2015). Kommuneplan 2015 - Oslo mot 2030 *Samfunnsdel og byutviklingsstrategi*
- Peng, C., Huang, Y. & Wu, Z. (2011). Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. *Energy and Buildings*, 43.
- Pikas, E., Thalfeldt, M. & Kurnitski, J. (2014). Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings. *Energy and Buildings*, 74: 30-42.
- Porwal, A. & Hewage, K. N. (2013). Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. *Automation in Construction*, 31: 204-214.
- Prosjektnorge. (2017). *Hva er Benchmarking* (lest 16.10.2017).
- pveducation. (2017). *Azimuth Angle*. Tilgjengelig fra: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/2-properties-sunlight/azimuth-angle> (lest 21.10.2017).
- Rambøll & Link Arkitektur. (2013). Nesten nullenergibygg - Forslag til nasjonal definisjon
- Regjeringen.no. (1997). *5.2.9 Produkter i et «vugge til vugge-perspektiv»*. St.meld. nr. 29 (1997-98) - Norges oppfølging av Kyotoprotokollen. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/stmeld-nr-29-1998-id191599/sec5> (lest 26.11.2017).
- Rygh, P. (2014). *Entra inviterer til Plusshus-konkurranse*. Tilgjengelig fra: <https://www.arkitektur.no/urban> (lest 27.06.2017).
- Rødsrud, M. (2017). *E-postutveksling mellom Morten Rødsrud (Vacunor AS) og Johanne Thurmann-Moe angående kvadratmeterpris på VIP*. (27.11.17).
- Safir, Y. (2017). *RACELL - Unique Solar Solutions*. Tilgjengelig fra: <http://www.racell.dk/> (lest 04.12.2017).
- Sargent, J. (2017). *E-postutveksling mellom Johanne Thurmann-Moe og Jon Sargent (DIVA for Rhino)* (04.11.17).
- Sawin, J. L., Seyboth, K. & Sverrisson, F. (2016). Renewables 2016 Global status report. *Rapport REN21*
- Schlanbusch, R. D., Fufa, S. M., Sørnes, K. & Kristjansdottir, T. (2014). Energi-og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer.
- Schuetze, T., Willkomm, W. & Roos, M. (2015). Development of a holistic evaluation system for BIPV facades. *Energies*, 8 (6): 6135-6152.
- Selj, J. H. (2017). *E-postutveksling mellom Johanne Thurmann-Moe og Josefine Helene Selj (IFE)* (11.08.2017).
- SINTEF. (2013). Dokumentasjon av passivhus og lavenergibygninger i henhold til NS 3700 og NS 3701 *Byggforskserien*, 473.015.
- SINTEF. (2017). *Nye løsninger for bruk av faseendringmaterialer for effektiv lagring av termisk energi*. Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/prosjekter/pcm-eff/> (lest 05.11.2017).
- SINTEF Byggforsk. (2015). Ventilasjon av boliger. Prinsipper *Byggforskserien*, 552.301.

- Skelion. (2016). *VIDEO TUTORIALS*. Tilgjengelig fra:
<http://skelion.com/en/training.htm?v1.0.0> (lest 21.08.2017).
- SolarCity Corporation. (2015). SolarCity 2015 impact report
- Solenergi.no. (2017). *Solceller*. Om solenergi Tilgjengelig fra:
<https://www.solenergi.no/solstrm/> (lest 03.10.2017).
- Solera. (2017). *SOLERA® T-R18+Aerogel*. Tilgjengelig fra:
http://www.advancedglazings.com/solera_t-r18aerogel/ (lest 27.10.2017).
- Soulti, E. & Leonard, D. (2016). *The value of BREEAM*
A review of latest thinking in the commercial building sector Briefing Paper:
 BREEAM.com
- Standard Norge. (2012). Kriterier for passivhus og lavenergibygninger.
 Yrkesbygninger. *Norsk Standard* NS 3701:2012.
- Standard Norge. (2014). Standard for beregning av bygningers energiytelse *Norsk Standard*, NS 3031:2014.
- Statsbygg. (2017). *Klimagassregnskap*. Tilgjengelig fra:
<http://www.statsbygg.no/Samfunnsansvar/Miljo/Klimagassregnskap/> (lest 16.10.2017).
- Stranden, A. L. (2017). - *Vi må forberede oss på mer ekstremvær*. Tilgjengelig fra:
<http://forskning.no/naturressursforvaltning-alternativ-energi-energi-okonomi/2017/08/norske-somre-blir-kaldere-og-vi-far> (lest 28.09.2017).
- Suárez-García, A., Fariña, E. A., Álvarez-Feijoo, M., González-Peña, D., Alonso-Tristán, C. & Díez-Mediavilla, M. (2017). Estimation of photovoltaic potential for electricity self-sufficiency: A study case of military facilities in northwest Spain. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9 (5): 053503.
- Sunpower. (2016). *SunPower® X-Series Residential Solar Panels | X21-335-BLK | X21-345*. Tilgjengelig fra: <https://us.sunpower.com/solar-panels-technology/x-series-solar-panels/> (lest 07.07.2017).
- Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A., Clack, H. L. & Elnimeiri, M. (2013). The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings. *Energy and Buildings*, 57: 6-13.
- Tahmasebi, M. M., Banihashemi, S. & Hassanabadi, M. S. (2011). Assessment of the variation impacts of window on energy consumption and carbon footprint. *Procedia Engineering*, 21: 820-828.
- TEK10 § 12-7 (3). (2010). *Krav til rom og annet oppholdsareal*.
- TEK17 § 13-7 (2) & § 13-8 (1). (2017). *Lys og Utsyn*
- TEK 17 § 12-17 (1). (2017). *Vindu og andre glassfelt*
- Thor Falkanger. (2017). Rettskilder. *Store Norske Leksikon*
- Thorud, B. (2016). Hva er det med distribuert solenergi? . *Praktisk økonomi og finans*, 03.
- Tiwari, G. N., Tiwari, A., Shyam & SpringerLink. (2016). *Handbook of Solar Energy : Theory, Analysis and Applications*. Energy Systems in Electrical Engineering: Springer Singapore : Imprint: Springer.
- Tyagi, V., Rahim, N. A., Rahim, N., Jeyraj, A. & Selvaraj, L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20: 443-461.
- Tzempelikos, A., Athienitis, A. K. & Karava, P. (2007). Simulation of façade and envelope design options for a new institutional building. *Solar Energy*, 81 (9): 1088-1103.

- USGBC. (2017). *Daylight* LEED BD+C: Healthcare Tilgjengelig fra:
<https://www.usgbc.org/credits/healthcare/v4-draft/eqc-0> (lest 28.11.17).
- Valmot, O. R. (2016). *Dette er teknologisprangene bak solcellerevolusjonen*: TU.
Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/dette-er-teknologisprangene-bak-solcelle-revolusjonen/364221> (lest 29.09,2017).
- Wikipedia. (2017). *Swanson's law*. Wikipedia. Tilgjengelig fra:
https://en.wikipedia.org/wiki/Swanson%27s_law (lest 17.10.2017).
- World Green Building Council. (2013). *The Business Case For Green Building - A Review of the Costs and Benefits for Developers, Investors and Occupants*
- Zaitsev, D., Rehbinder, E., Heimdal, K. & Abbas, A. (2016). *Mot lysere tider. Solkraft i Norge – Fremtidige muligheter for verdiskaping. Rapport Accenture, WWF*

Table 1
Analysis of solar design tools for PV and BIPV.

▼ Polysun		PV																			
		System Advisor Model	PVsynt	PV/SOL	Skellon	Solarlus-PV	Polysun	CECPV Calculator	PVwatts	DDS-CAD PV	INSEL	PV Designer	PV F-CHART	SMA Off-Grid Configurator	SolarPro	Archeios	PV-DesignPro	RETScreen Plus	HOMER Pro	PVscout	HELIOS3D
light sources	natural - sun and sky (simplified/POA)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	natural - sun and sky (CIE/Perez)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
database	batteries	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	inverters database	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
PV performance models	PV modules database	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	Sandia	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
PV performance models	CEC	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	one/two diode (equivalent circuit)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
simulations/ analyses	PVFORM (PVWatts)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	rendering/visualisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
shading	BAPV/roof-mounted PV energy yield	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	LCOE/LCC/payback time	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
PV technology	simplified near-filed shading	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	c-Si	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
design phase	thin film	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	hybrid (HIT)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
design workflow	all technologies	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	conceptual/early phase	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
computation	schematic	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	design development	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
integration general	real-time simulation/progressive	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	multiple solutions comparison	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	integrated optimisation	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	dynamic simulation (other renewables)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
interoperability	3D environment	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	CPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	GPU based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	multi-threading	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	local network (multi-node)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	web/cloud	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	instanting (proxies)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	graphical user-interface	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	open-source	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	Windows	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	Mac OSX	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	UNIX (Linux)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	stand alone	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	3D plugin	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	CAAD/BIM integrated plugin	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	(online/cloud/app) web based	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	Edificius	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	DDS-CAD	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	Sketchup	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	CAD/BIM interoperability (IFC, IGES)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	DDE (dynamic data exchange)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	CAD interoperability (fbx, dwg, dxf, sat)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	BIM interoperability (IFC, IGES)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	freeware	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	free for educational/non commercial use	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	educational/student discount	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	payware	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	flexible payment options (subscription)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
pricing	bundled	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

Appendix B

PVWatts: AC Energy report 0

Page 1 of 5



Results

Station and Model info							
	Lat	Lon	Elevation (m)	TZ	City	Country	Resource file
Station	59.900002	10.620000	17,00	1.0	OSLO/FORNEBU	-	014880-EPW-IWEC.epw
Model	59.913298	10.755803	18,15	1.0	Oslo, Oslo	NOR	
Distance (km)	7.715						

Faces analysis

Faces global results							
Solar panels	N°P.	P. power (Wp)	P.weight (kg)	DC r. (kWp)	Energy (kWh)	Yield (kWh/kWp)	Shading L. (%)
SP:uten vindusbånd	1	745,00	37,60	0,74	472,88	634,74	0,00
prøver igjen:1	1	690,00	34,80	0,69	437,97	634,74	0,00

Results for solar modules in each face												
Face	Model	N°P.	P. power (Wp)	DC r. (kWp)	Weight (kg)	Azimuth	Tilt	Relative tilt	Energy (kWh)	Yield (kWh/kWp)	ΣH_m (kWh/m ² /year)	Shading L. (%)
1	SP:uten vindusbånd	1	745,00	0,74	37,60	151,52	90,00	0,00	472,88	634,74	759,84	0,00
2	prøver igjen:1	1	690,00	0,69	34,80	151,52	90,00	0,00	437,97	634,74	759,84	0,00

a)

PV power estimate information report 0

Page 1 of 5



Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Latitude,Longitude: 59.913298;20.730245 10.755802;2989006042
Oslo, Oslo NOR

Faces analysis

Faces global results							
Solar panels	N°P.	P. power (Wp)	P.weight (kg)	Power (kWp)	Energy (kWh)	Yield (kWh/kWp)	Shading L. (%)
SP:uten vindusbånd	1	745,00	37,60	0,74	513,40	689,13	0,00
prøver igjen:1	1	690,00	34,80	0,69	475,41	689,00	0,00

Results for solar modules in each face												
Face	Model	N°P.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Weight (kg)	Azimuth	Tilt	Relative tilt	Energy (kWh)	Yield (kWh/kWp)	ΣH_m (kWh/m ² /year)	Shading L. (%)
1	SP:uten vindusbånd	1	745,00	0,74	37,60	151,52	90,00	0,00	513,40	689,13	831,20	0,00
2	prøver igjen:1	1	690,00	0,69	34,80	151,52	90,00	0,00	475,41	689,00	831,20	0,00

Monthly Shading Losses (%)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

b)

Viser forskjellen på rapporten beregnet av a) PWWatts og b)PVGIS

Appendix C

Daysim-rapporter for alle brukte modeller:

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	43% of floor area
Mean Daylight Factor	1.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 29% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 50% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 43% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 67% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 30% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 96% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Utgangspunkt WWR = 41,9

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	40% of floor area
Mean Daylight Factor	1.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 25% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 45% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 40% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 63% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 27% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 99% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Uten vindusbånd WWR = 29,7

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	42% of floor area
Mean Daylight Factor	1.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 29% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 49% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 42% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 66% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 30% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 98% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Uten vinkel i vinduskarm WWR = 41,9

Varierende lengde på veggelement for veggtykkelse 400mm og 500mm:

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	94% of floor area
Mean Daylight Factor	3.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 58% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 64% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 94% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 75% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 60% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 87% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	100% of floor area
Mean Daylight Factor	4.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 100% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 72% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 100% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 79% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 87% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 69% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 0, WWR = 66,2 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	98% of floor area
Mean Daylight Factor	3.1%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 58% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 64% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 98% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 75% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 63% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 87% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	96% of floor area
Mean Daylight Factor	3.1%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 56% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 64% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 96% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 75% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 55% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 87% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 100, WWR = 63,5 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	82% of floor area
Mean Daylight Factor	3.0%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 55% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 63% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 82% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 74% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 60% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 88% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	80% of floor area
Mean Daylight Factor	2.9%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 52% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 62% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 80% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 74% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 50% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 89% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 200, WWR = 60,8 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	76% of floor area
Mean Daylight Factor	2.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 50% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 61% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 76% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 74% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 56% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 88% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	71% of floor area
Mean Daylight Factor	2.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 50% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 61% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 71% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 73% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 50% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 89% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 300, WWR = 58,1 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	68% of floor area
Mean Daylight Factor	2.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 48% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 60% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 68% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 73% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_{MA} is 51% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 89% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	67% of floor area
Mean Daylight Factor	2.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 48% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 59% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 67% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 72% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_{MA} is 45% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 92% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 400, WWR = 55,4 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	65% of floor area
Mean Daylight Factor	2.5%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 42% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 58% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 65% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 72% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_{MA} is 46% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 93% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	62% of floor area
Mean Daylight Factor	2.5%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 42% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 58% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 62% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 72% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_{MAX} is 43% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 94% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 500, WWR = 52,7 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	61% of floor area
Mean Daylight Factor	2.4%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 42% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 58% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 61% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 71% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 48% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 94% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	58% of floor area
Mean Daylight Factor	2.4%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 42% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 57% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 58% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 71% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 43% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 94% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 600, WWR = 50 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	54% of floor area
Mean Daylight Factor	2.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 35% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 55% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 54% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 69% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 35% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 94% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	51% of floor area
Mean Daylight Factor	2.1%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 33% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 54% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than is 51% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 69% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 35% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 95% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 700, WWR = 47,3 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	50% of floor area
Mean Daylight Factor	2.0%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 33% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 52% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (CA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 68% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 33% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 96% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	49% of floor area
Mean Daylight Factor	2.0%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 33% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 52% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 49% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (CA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 68% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 33% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 96% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 800, WWR = 44,6 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	42% of floor area
Mean Daylight Factor	1.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 29% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 50% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 42% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (CA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 66% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 30% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 96% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	42% of floor area
Mean Daylight Factor	1.8%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 29% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 49% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 42% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (CA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 66% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 30% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 98% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 900, WWR = 41,9 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	40% of floor area
Mean Daylight Factor	1.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 25% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 48% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 40% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 65% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 26% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 98% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	42% of floor area
Mean Daylight Factor	1.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 25% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 47% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 42% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 64% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 26% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 100% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1000, WWR = 39,2 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	37% of floor area
Mean Daylight Factor	1.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 25% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 47% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 37% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 64% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 24% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 100% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	37% of floor area
Mean Daylight Factor	1.5%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 25% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 46% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 37% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 64% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 24% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 100% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1100, WWR = 36,5 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	31% of floor area
Mean Daylight Factor	1.3%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 17% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space: occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 42% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 31% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 60% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 20% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 100% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	31% of floor area
Mean Daylight Factor	1.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 17% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space: occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 40% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 31% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 59% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 20% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 99% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1200, WWR = 33,8 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	25% of floor area
Mean Daylight Factor	1.1%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 17% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space: occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 38% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 25% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 58% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 17% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 92% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	25% of floor area
Mean Daylight Factor	1.1%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 15% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all space: occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 37% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 25% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 57% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 17% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 82% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1300, WWR = 31,1 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	23% of floor area
Mean Daylight Factor	0.9%
Occupancy	3650 hours per year
Glare	1.3% of occupied hours

Daylight Factor (DF) Analysis: 8% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 33% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 23% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 54% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 11% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 73% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	18% of floor area
Mean Daylight Factor	0.9%
Occupancy	3650 hours per year
Glare	1.3% of occupied hours

Daylight Factor (DF) Analysis: 8% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 32% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 18% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 53% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 11% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 65% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1400, WWR = 28,4 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	15% of floor area
Mean Daylight Factor	0.7%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 8% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 28% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 15% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 50% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 8% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 55% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	15% of floor area
Mean Daylight Factor	0.7%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 8% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 26% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 15% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 49% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 8% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 51% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1500, WWR = 25,7 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	8% of floor area
Mean Daylight Factor	0.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 23% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 8% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 46% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 6% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 40% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	8% of floor area
Mean Daylight Factor	0.6%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 21% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 8% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 44% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 5% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 40% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1600, WWR = 23,9 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	2% of floor area
Mean Daylight Factor	0.4%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 17% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 2% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 40% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 29% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.4%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 14% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 37% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior.

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 25% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1700, WWR = 20,3 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.3%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 10% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 34% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 17% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.3%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 7% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 30% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 12% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1800, WWR = 17,6 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 4% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 27% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 0% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 2% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 23% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 0% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

Lengde veggelement = 1900, WWR = 14,9 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

a)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 3% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 5 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 25% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 0% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

b)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	0% of floor area
Mean Daylight Factor	0.2%
Occupancy	3650 hours per year

Daylight Factor (DF) Analysis: 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 2% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 22% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX is 0% for active occupant behavior

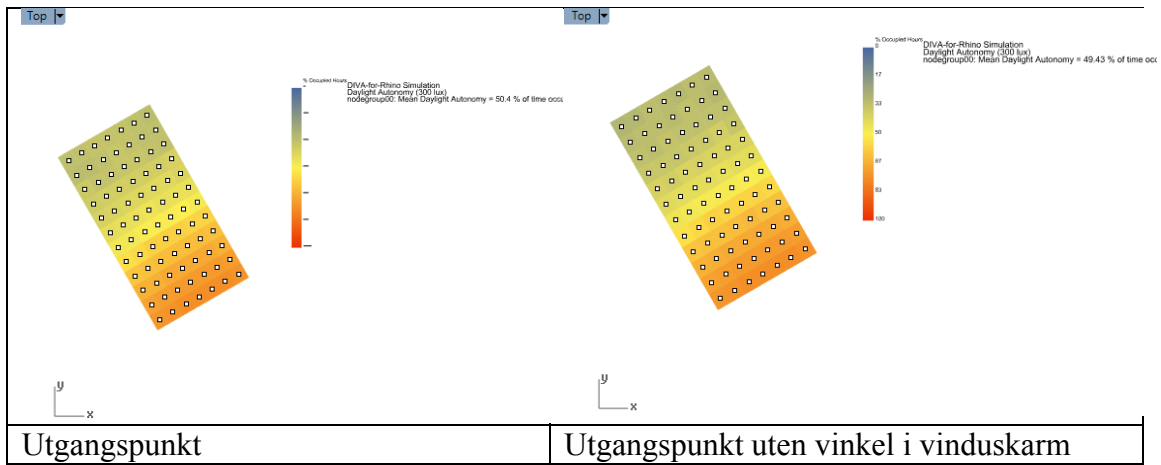
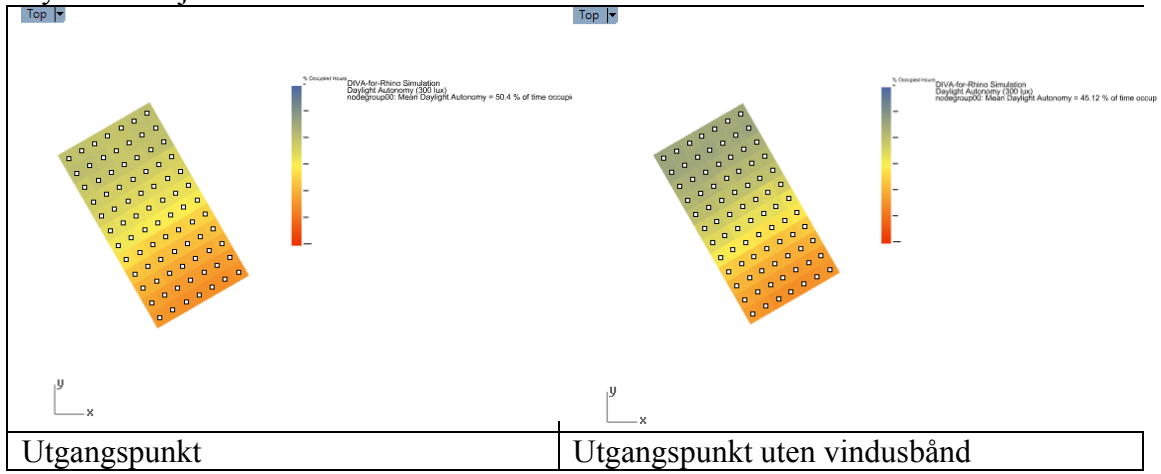
Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 0% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

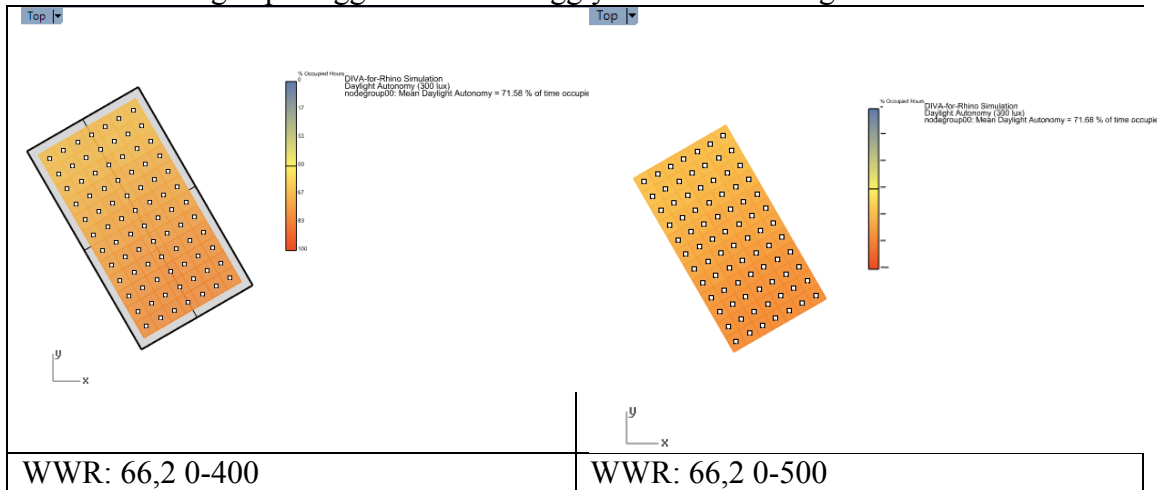
Lengde veggelement = 2000, WWR = 12,2 Tykkelse: a) = 400mm, b) = 500mm

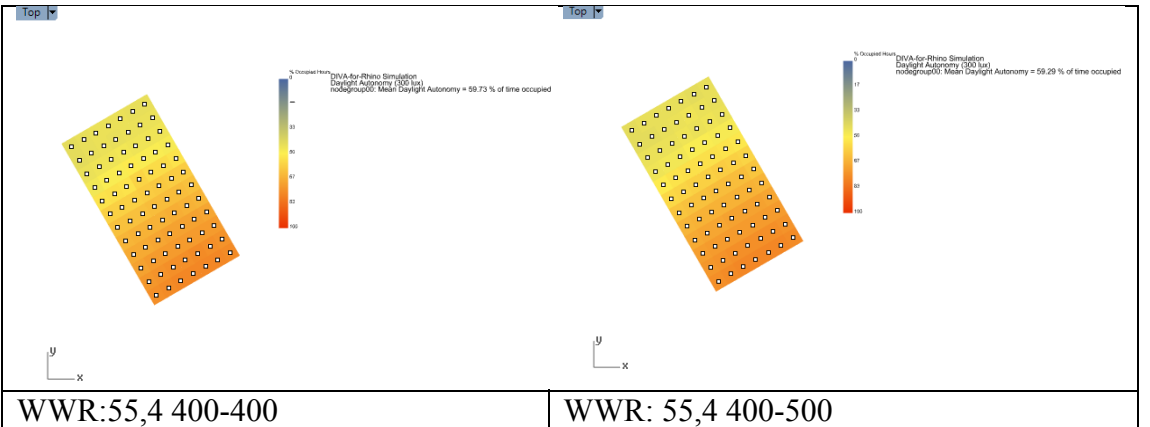
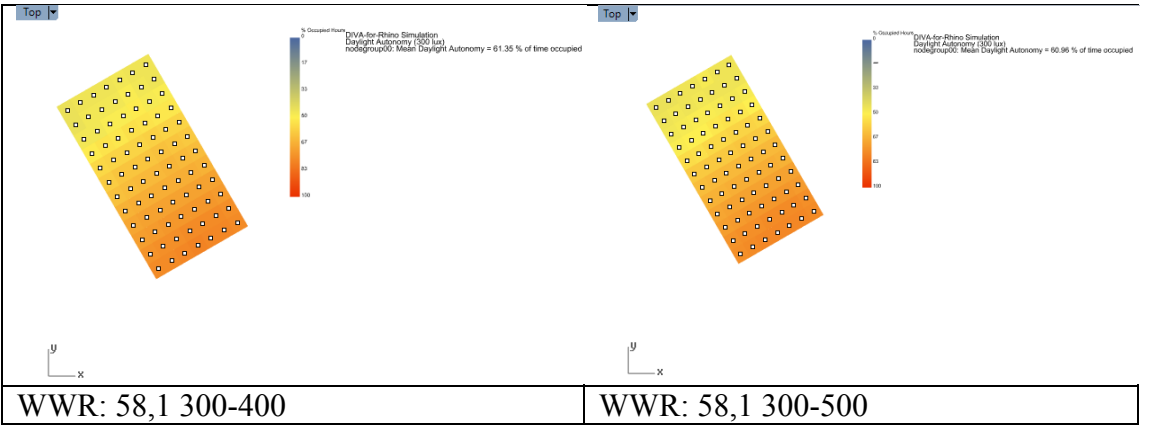
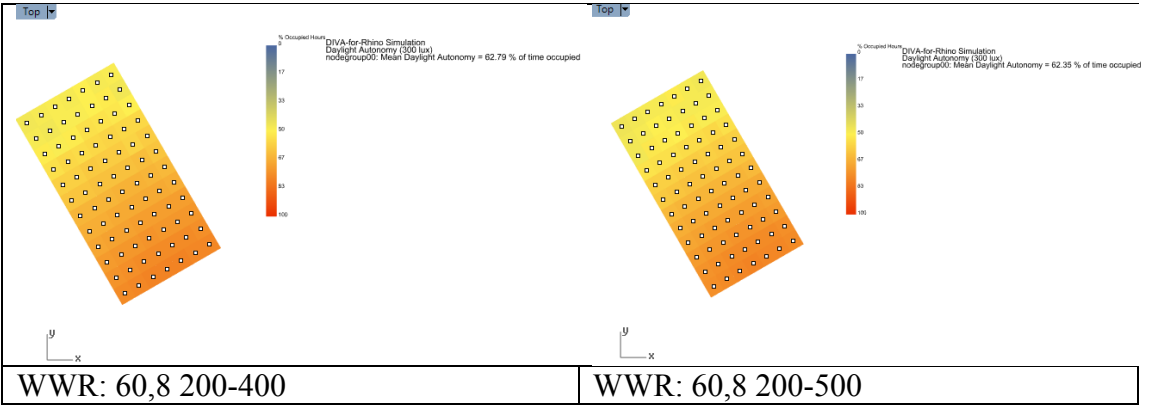
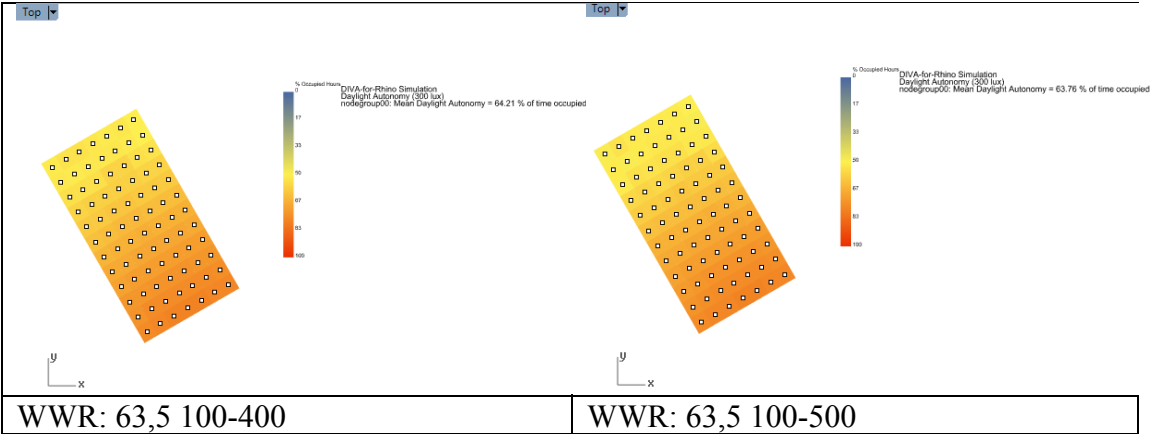
Appendix D

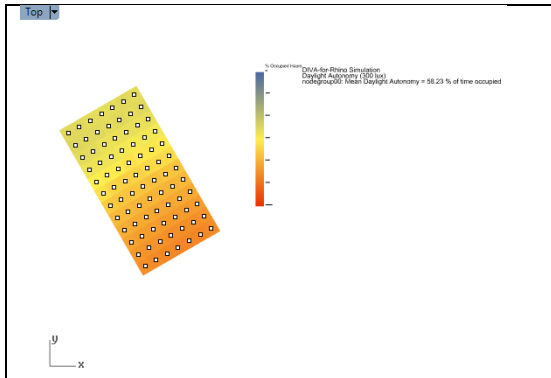
Lysdistribusjon:



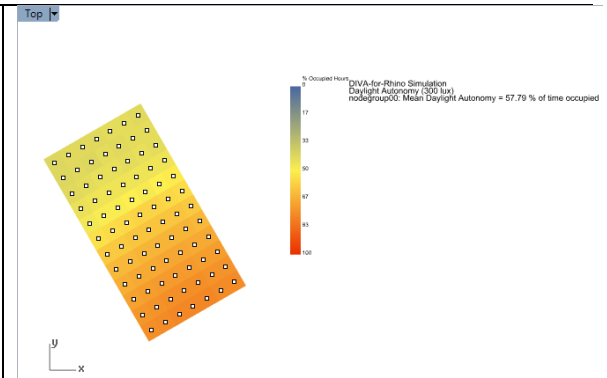
Variierende lengde på veggelement for veggtykkelse 400mm og 500mm:



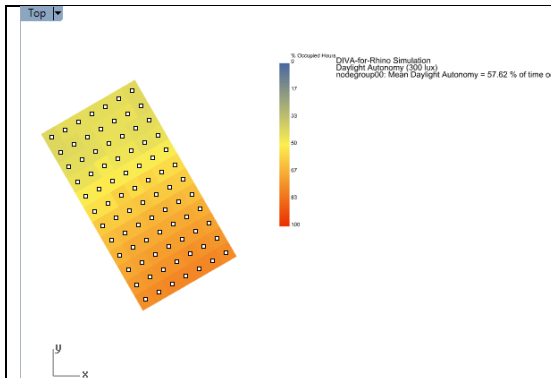




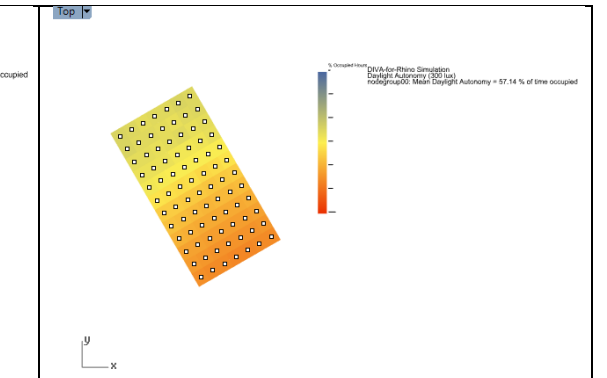
WWR: 52,7 500-400



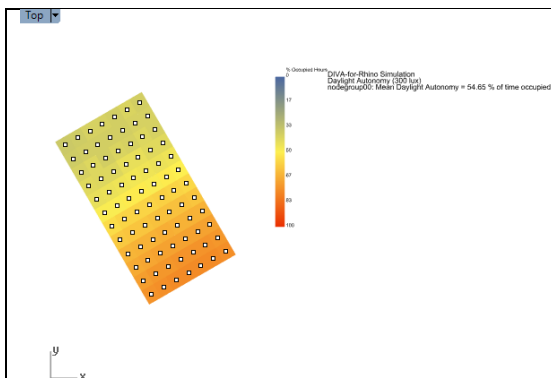
WWR: 52,7 500-500



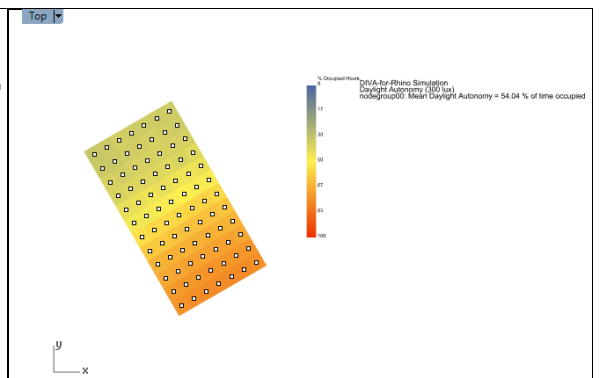
WWR: 50 600-400



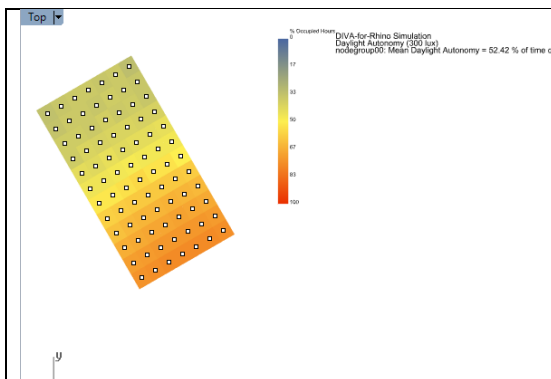
WWR: 50 600-500



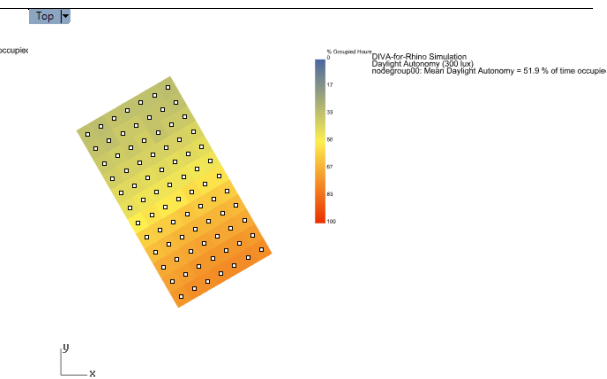
WWR: 47,3 700-400



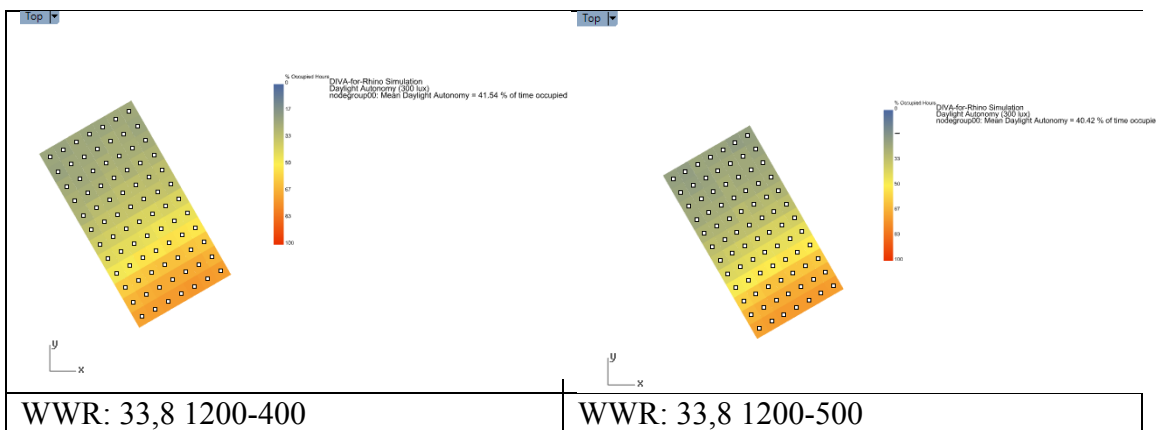
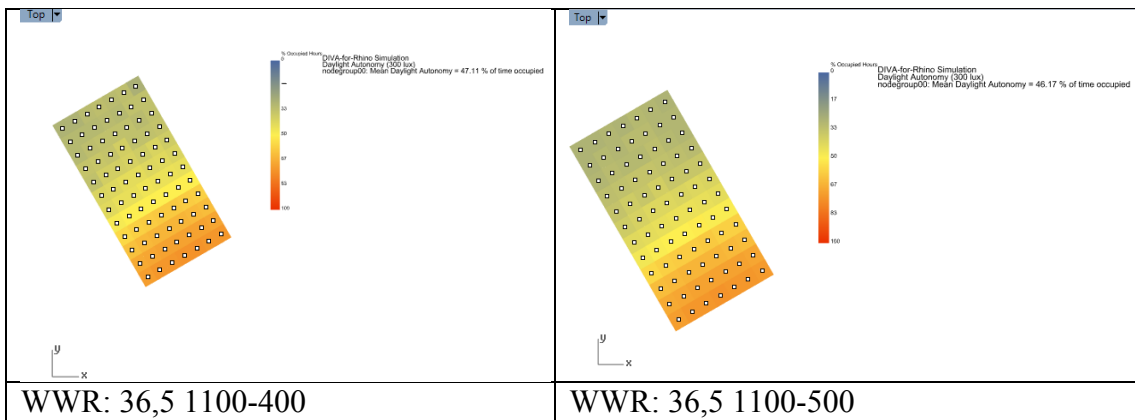
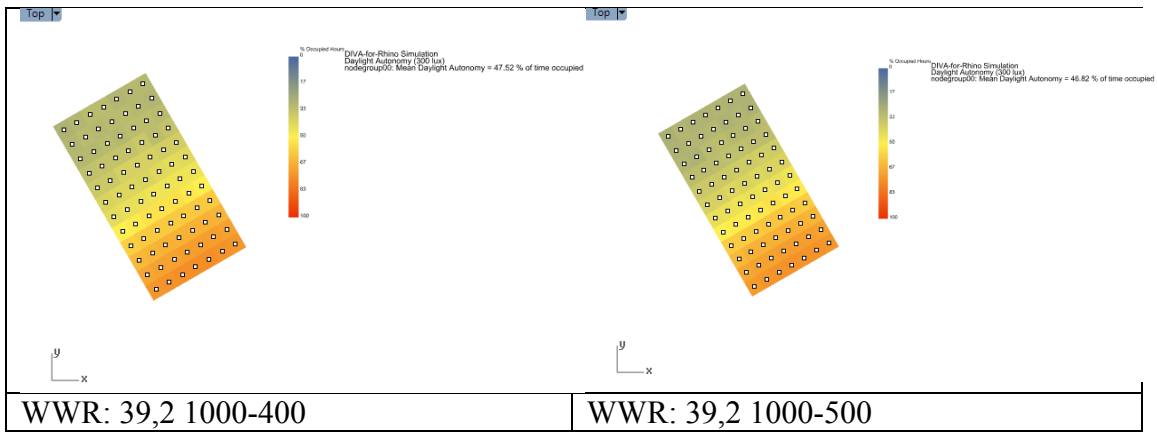
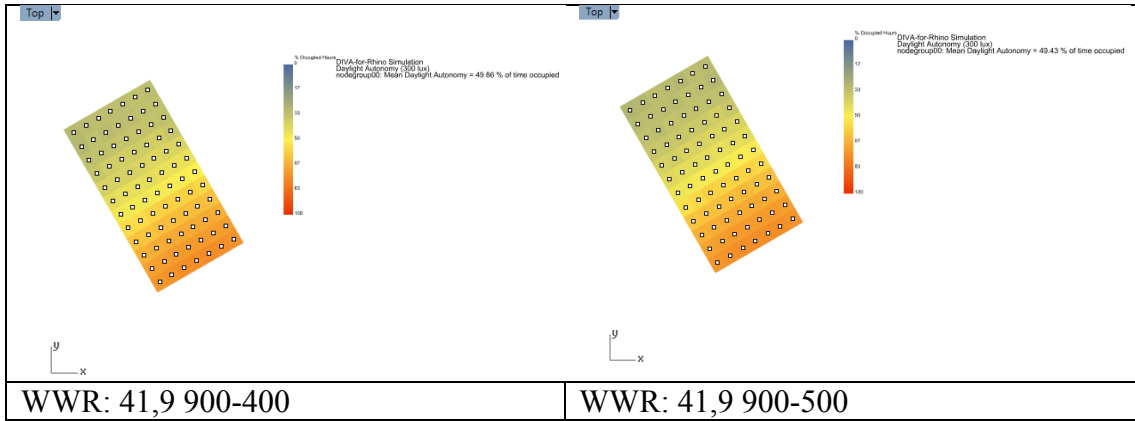
WWR: 47,3 700-500

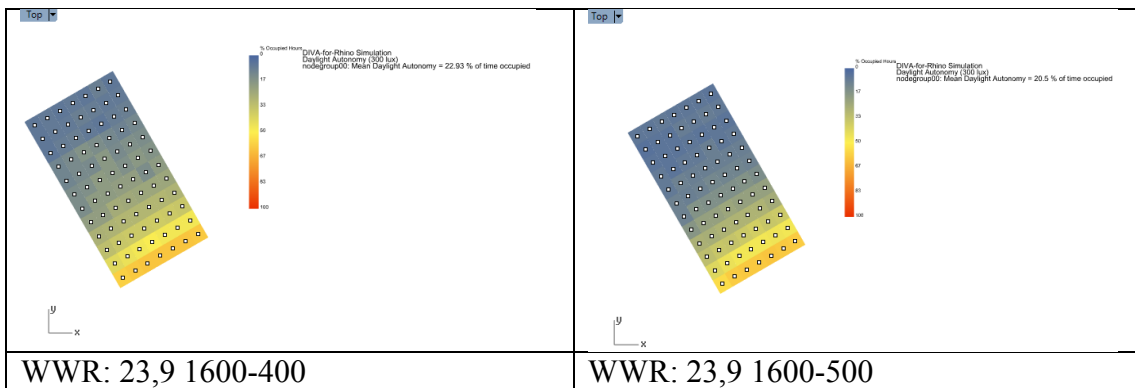
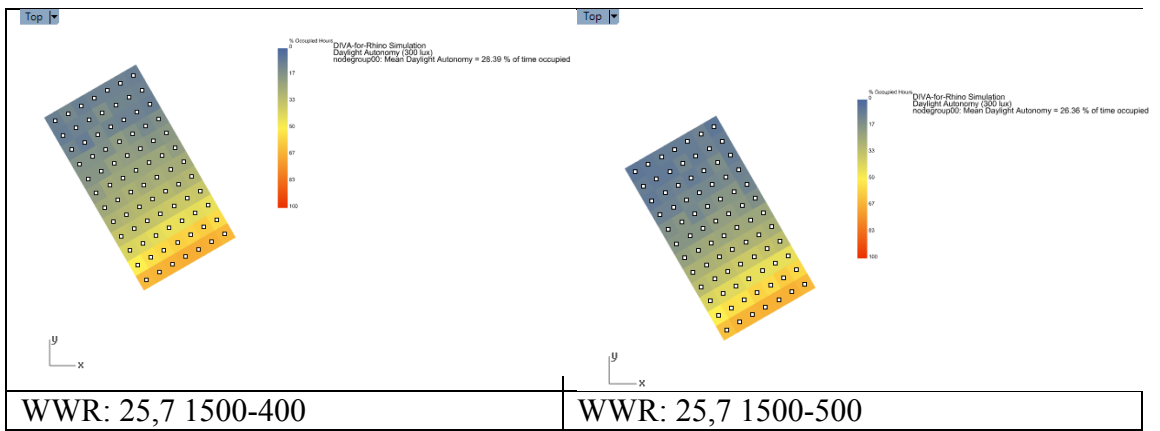
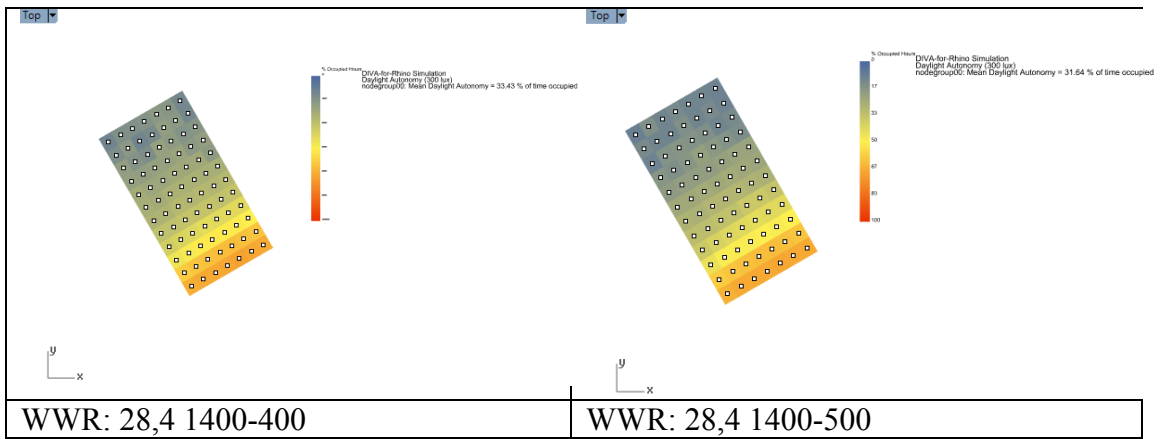
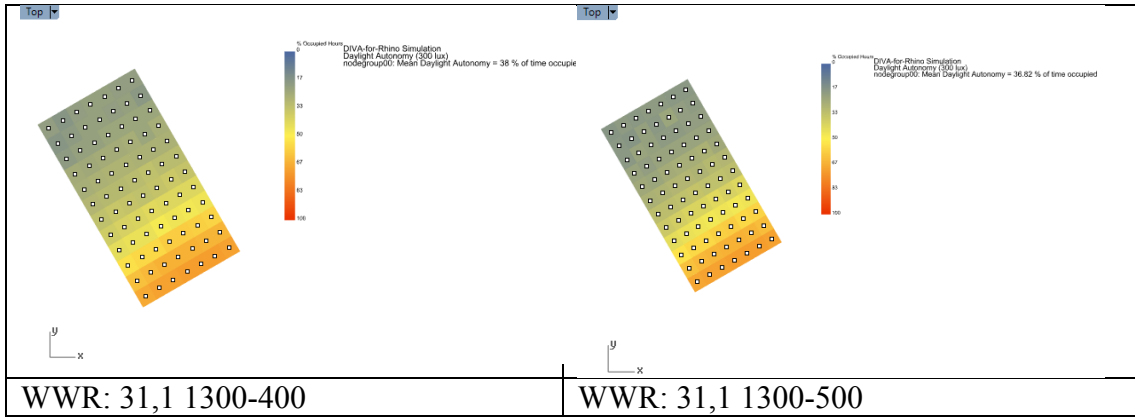


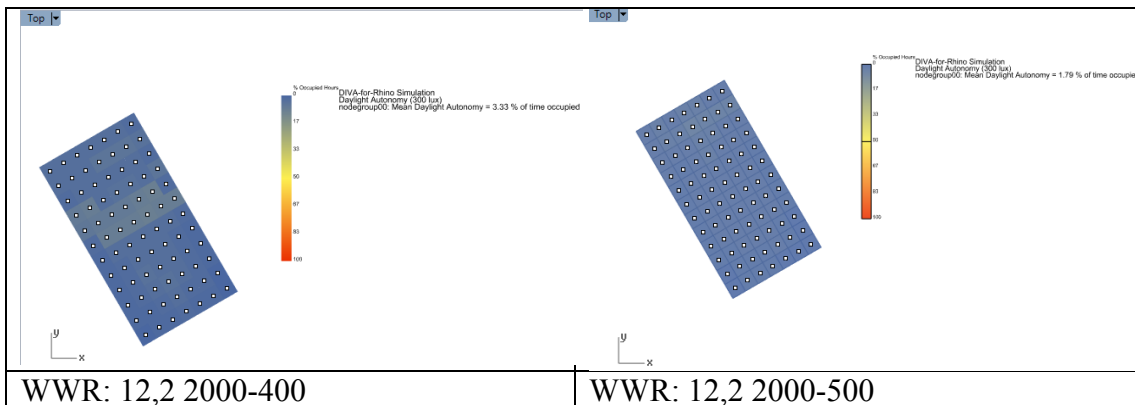
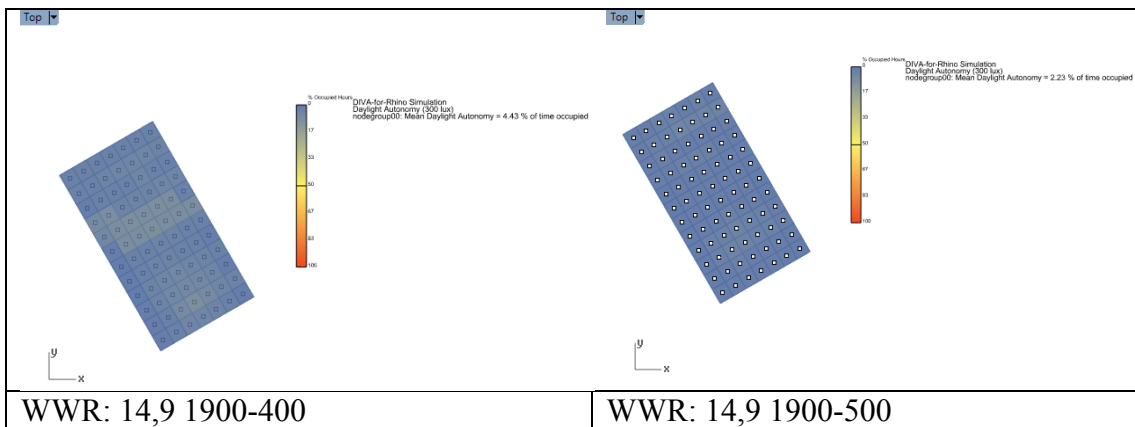
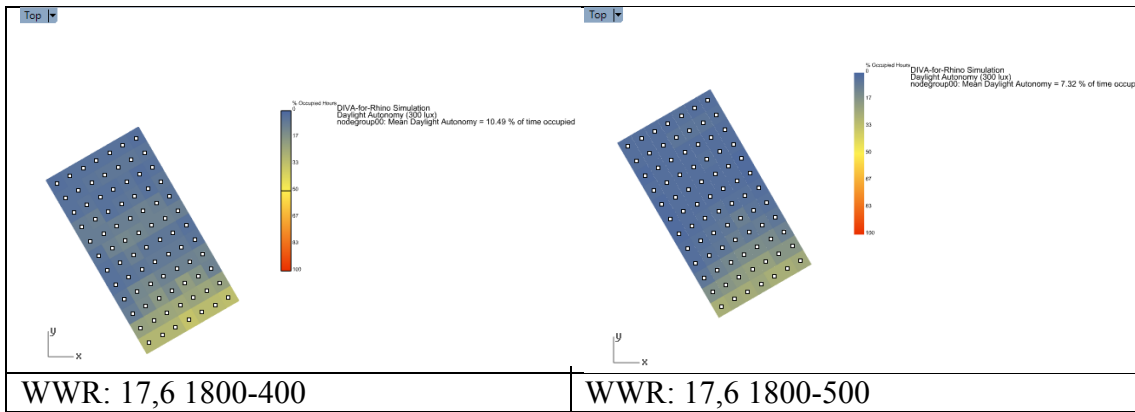
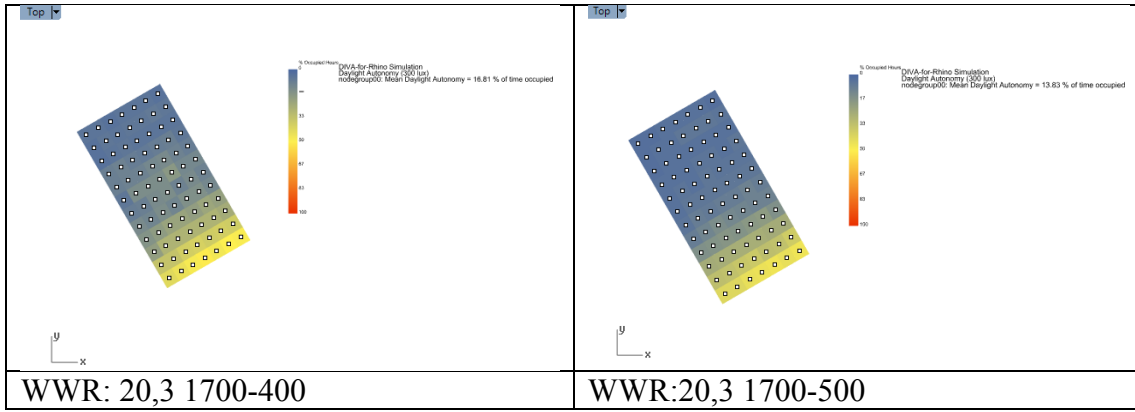
WWR: 44,6 800-400



WWR: 44,6 800-500







Appendix E
Utklipp fra Skelionrapporter

Results

Station and Model info							
	Lat	Lon	Elevation (m)	TZ	City	Country	Resource file
Station	59.900002	10.620000	17,00	1.0	OSLO/FORNEBU	-	014880-EPW-IWEC.epw
Model	59.913317	10.755827	18,10	1.0	Oslo, Oslo	NOR	
Distance (km)	7.716						

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	1,16	35,20	2,07	63,03
2	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	1,99	60,55	2,07	63,03

Utgangspunkt

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	1,26	38,19	2,08	63,32
2	1,16	35,37	2,08	63,32
Σ or Mean	2,42	73,56	2,08	63,32

Uten vindusbånd

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,16	35,20	2,07	63,03

0 – WWR: 66,2

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,09	2,82	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,25	38,02	2,07	63,03

100 – WWR: 63,5

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,19	5,63	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,34	40,84	2,07	63,03

200 – WWR: 60,8

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,28	8,45	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,44	43,65	2,07	63,03

300 – WWR: 58,1

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,37	11,27	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,53	46,47	2,07	63,03

400 – WWR: 55,4

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,46	14,08	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,62	49,29	2,07	63,03

500 – WWR: 52,7

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,56	16,90	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,71	52,10	2,07	63,03

600 – WWR: 50

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,65	19,71	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,81	54,92	2,07	63,03

700 – WWR: 47,3

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,74	22,53	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	1,90	57,73	2,07	63,03

800 – WWR: 44,6

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	1,16	35,20	2,07	63,03
2	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	1,99	60,55	2,07	63,03

900 – WWR: 41,9

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,09	2,82	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,08	63,37	2,07	63,03

1000 – WWR: 39,2

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,19	5,63	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,18	66,18	2,07	63,03

1100 – WWR: 36,5

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,28	8,45	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,27	69,00	2,07	63,03

1200 – WWR: 33,8

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,37	11,27	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,36	71,82	2,07	63,03

1300 – WWR: 31,1

Yearly average

Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,46	14,08	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,45	74,63	2,07	63,03

1400 – WWR: 28,4

Yearly average

Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,56	16,90	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,55	77,45	2,07	63,03

1500 – WWR: 25,7

Yearly average

Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,65	19,71	2,07	63,03
2	0,83	25,35	2,07	63,03
3	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	2,64	80,26	2,07	63,03

1600 – WWR: 23,9

Yearly average

Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,74	22,53	2,07	63,03
2	1,16	35,20	2,07	63,03
3	0,83	25,35	2,07	63,03
Σ or Mean	2,73	83,08	2,07	63,03

1700 – WWR: 20,3

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,83	25,35	2,07	63,03
2	0,83	25,35	2,07	63,03
3	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	2,82	85,90	2,07	63,03

1800 – WWR: 17,6

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	0,93	28,16	2,07	63,03
2	0,83	25,35	2,07	63,03
3	1,16	35,20	2,07	63,03
Σ or Mean	2,92	88,71	2,07	63,03

1900 – WWR: 14,9

Yearly average				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	1,16	35,20	2,07	63,03
2	0,83	25,35	2,07	63,03
3	1,02	30,98	2,07	63,03
Σ or Mean	3,01	91,53	2,07	63,03

2000 – WWR: 12,2

Appendix F Magnus Killinglands energiberegninger

Energy budgets and Futurebuilt Urban+ Energybalance for OsloSolar

Laget av:
Magnus Killingland

Oppdatert:

25.10.17

OsloSolar	Net Energy Demand, NS3701.2013		Delivered Energy		Weighted Delivered		Energy bought from the utility		Passivhus Kontor		
	kWh/m ² /year	kWh/year	System efficiency	District Heating	Electricity	Renewable ratio	District Heating	Electricity	District Heating	Electricity	Maks krav for skrift
Room heating	5,0	222 000	88 %	251 254	0	43 %	108 039	0	251 254	0	10
Ventilation heating	1,0	44 400	88 %	50 253	0	43 %	21 608	0	50 253	0	10
Warm tap water	2,0	88 800	88 %	100 502	0	43 %	43 218	0	100 502	0	2,0
Pumps	3,5	153 400	100 %	0	153 400	100 %	0	153 400	0	170 340	3,5
Lighting	1,5	66 600	100 %	0	66 600	100 %	0	66 600	0	73 560	1,5
Technical Equipment	7,8	310 800	100 %	0	310 800	100 %	0	310 800	0	341 880	12,5
Room cooling	5,0	222 000	290 %	0	577 200	100 %	0	577 200	0	461 760	13,0
Ventilation cooling	7,0	310 800	290 %	0	78 552	100 %	0	78 552	0	84 207	9,4
Total	45,0	1 998 000		402 006	1 071 172	100 %	172 863	1 293 724	402 006	1 149 937	68,9

Plussubstans, med teknik	Plussubstans, uten teknik	Total Delivered Energy	Weighted Delivered Energy	Energy bought from the utility
kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year
48261	48261	1 699 791	1 466 587	1 651 943
45	45	38,2	33,0	37,2
1 428 800	1 428 800	1 118 531	899 387	1 190 183
32	32	25,2	20,0	26,8

* Futurebuilt Net Positive Energy Specifications (above 4 stories)

Heated Floor Area (Opprømt Bevisarea, BKA)	44 400 m ²
Gross Area (BFA, brutto area)	53 400 m ²

Surplus, specific	88261 kWh/m ² /Year
Surplus	3 882 610 kWh/year
Surplus, specific, with tech. Equipment	88261 kWh/m ² /Year
Surplus	3 882 610 kWh/year

Futurebuilt Net Positive Energy Requirements	Weighted Delivered	Production Requirement
kWh/year	kWh/year	kWh/year
88 800	88 800	88 800
899 387	899 387	899 387
20,0	20,0	20,0
2210	2210	2210



Futurebuilt Net Positive Energy Requirements	Weighted Delivered	Production Requirement
kWh/year	kWh/year	kWh/year
88 800	88 800	88 800
1 154 456	1 154 456	1 154 456
1 253 256	1 253 256	1 253 256

Tallene konsept fra juni 2015

Weighted Delivered	88 800 kWh/year
Weighted Delivered	1 154 456 kWh/year
Production Requirement	1 253 256 kWh/year

Solar panel production	1 420 007 kWh/a
Solar panel production, specific per floor area	32,0 kWh/m ² /Year
Energy balance with +2 kWh/m ² /year	166 751 kWh/a
Solceller, totalareal	8 650 m ²
Solceller, effektiv	8 320 m ²
Solceller, effektiv per panel	345 W/panel
Solceller, vindrettede	21,5 %

Appendix G

Egne beregninger hentet fra excelfil.

	Lengdemeter	Etasjer	Sum
Lengde øst	62,78	14	878,92
Lengde Sør	15,76	14	220,64
Lengde vest	53,58	14	750,12
Resterende etasjer fasade øst (10 etg)			305,52
Resterende etasjer fasade vest (11 etg)			307,8
SUM1			2463
Trekk fra grunnet atrium		64	64
SUM2			2399

Mål gjort i Sketchup

Oppvarmet Bruksareal, BRA		44 400	m ²
BTA, brutto areal		53 400	m ²

Arealmål hentet fra forprosjektet

Varmetap gjennom fasde (Vindu+Yttervegg) W/K				
WWR	Yttervegg (U-verdi 0,07) W/K	Aerogel glass (U-verdi 0,3) W/K	Elektrokromatisk glass (U-verdi 0,7) W/K	Totalt W/K
12,20	0,55	0,32	0,00	0,87
14,90	0,53	0,32	0,17	1,02
17,60	0,51	0,32	0,34	1,17
20,30	0,50	0,32	0,50	1,32
23,90	0,48	0,32	0,67	1,47
25,70	0,46	0,32	0,84	1,63
28,40	0,45	0,32	1,01	1,78
31,10	0,43	0,32	1,18	1,93
33,80	0,41	0,32	1,34	2,08
36,50	0,39	0,32	1,51	2,23
39,20	0,38	0,32	1,68	2,38
41,90	0,36	0,32	1,85	2,53
44,60	0,34	0,32	2,02	2,68
47,30	0,33	0,32	2,18	2,84
50,00	0,31	0,32	2,35	2,99
52,70	0,29	0,32	2,52	3,14
55,40	0,28	0,32	2,69	3,29
58,10	0,26	0,32	2,86	3,44
60,80	0,24	0,32	3,02	3,59
63,50	0,23	0,32	3,19	3,74
66,20	0,21	0,32	3,36	3,89

Utrekning av varmetap.

Varierende solcelleelement (m)	Areal element (m2)	Modulareal/m fasade (m2/m) Inkludert fast solcellelement	Årlig produksjon for modulareal (kWh/år)	Energiproduksjon (kWh/år/lengde meter fasade)	Produksjon fasade (kWh/år)	Total produksjon solceller (kWh/år)	Energibalanse med +2 kWh/m2/år	Totalt pluss (kWh/m2/år)	Power for varierende panel (W)	Vekt varierende panel (kg)
-	-	1,25	422,40	176,00	422 224,00	862 885,00	- 115 302,00	0,60	-	-
0,10	0,24	1,35	456,20	190,08	456 009,92	896 670,92	- 81 516,08	0,16	55,20	2,78
0,20	0,48	1,45	490,10	204,21	489 895,79	930 556,79	- 47 630,21	0,93	110,40	5,57
0,30	0,72	1,55	524,40	218,50	524 181,50	964 842,50	- 13 344,50	1,70	165,60	8,35
0,40	0,96	1,65	558,00	232,50	557 767,50	998 428,50	- 20 241,50	2,46	220,80	11,14
0,50	1,20	1,75	591,60	246,50	591 353,50	1 032 014,50	53 827,50	3,21	276,00	13,92
0,60	1,44	1,85	625,20	260,50	624 939,50	1 065 600,50	87 413,50	3,97	331,20	16,70
0,70	1,68	1,95	658,80	274,50	658 525,50	1 099 186,50	120 999,50	4,73	386,40	19,49
0,80	1,92	2,05	692,40	288,50	692 111,50	1 132 772,50	154 585,50	5,48	441,60	22,27
0,90	2,16	2,15	726,00	302,75	726 297,25	1 166 958,25	188 771,25	6,25	496,80	25,06
1,00	2,40	2,25	759,60	316,50	759 283,50	1 199 944,50	221 757,50	6,99	552,00	27,84
1,10	2,64	2,35	794,40	331,00	794 069,00	1 234 730,00	256 543,00	7,78	607,20	30,62
1,20	2,88	2,45	828,00	345,00	827 655,00	1 268 316,00	290 129,00	8,53	662,40	33,41
1,30	3,12	2,55	861,60	359,00	861 241,00	1 301 902,00	323 715,00	9,29	717,60	36,19
1,40	3,36	2,65	895,20	373,00	894 827,00	1 335 488,00	357 301,00	10,05	772,80	38,98
1,50	3,60	2,75	930,00	387,50	929 612,50	1 370 273,50	392 086,50	10,83	828,00	41,76
1,60	3,84	2,85	962,40	401,00	961 999,00	1 402 660,00	424 473,00	11,56	883,20	44,54
1,70	4,08	2,95	997,20	415,50	996 784,50	1 437 445,50	459 258,50	12,34	938,40	47,33
1,80	4,32	3,05	1 030,80	429,50	1 030 370,50	1 471 031,50	492 844,50	13,10	993,60	50,11
1,90	4,56	3,15	1 064,40	443,50	1 063 956,50	1 504 617,50	526 430,50	13,86	1 048,80	52,90
2,00	4,80	3,25	1 098,00	457,50	1 097 542,50	1 538 203,50	560 016,50	14,61	1 104,00	55,68

Energiproduksjon



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway