

Haakon Ø. Aasgaard
Thor Martin Franksson

Juni 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for IKT og realfag

Bacheloroppgave

2020



Haakon Ø. Aasgaard
Thor Martin Franksson

Bacheloroppgave
Juni 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for IKT og realfag



Kunnskap for en bedre verden

TITTEL:

Solcelleanlegg på nytt studentbygg på Campus NTNU i Ålesund

KANDIDATNUMMER(E):

10016 og 10053

DATO:	EMNEKODE:	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
01.02.2020	IE303612	Bacheloroppgave	
STUDIUM:	ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:	
Elkraftsystemer	100/13		

VEILEDER(E):

Gjermund Tomta (NTNU), Robert Furnes (Norconsult), Mari Lauglo (Norconsult)

SAMMENDRAG:

Solcellepanel er et veldig dagsaktuelt tema som stadig blir å finne på flere og flere tak rundt i Norge. I denne rapporten skal vi prosjektere et komplett solcelleanlegg til et nytt studentbygg, og undersøke teorien til de ulike delene et solcelleanlegg består av, samt se på aktuelt regelverk. Hensikten til prosjekteringen er blant annet å se på om det er mulig å installere et solcelleanlegg som kan produsere nok energi til bygget slik at det møter kravene for å bli et nullutslippsbygg.

Ved å benytte et markedsledende simuleringsprogram, kalt PVsyst, har man et solid verktøy til å prosjektere og simulere solcelleanlegg. Programmet gir et nyttig informasjonsgrunnlag med blant annet gode prognoser på forventet effektproduksjon.

Resultatet av simuleringen viser at det er mulig å møte ZEB-0 kravene ved å installere 152 stk 400W panel på tak, og 63stk 400W panel på vegg. Dette vil gi en produksjon på ca. 51MWh i løpet av ett år.

Basert på innhentede priser fra norske forhandlere, vil anlegget være nedbetalt etter minimum 17 år.

Det miljømessige aspektet rundt klimagassutslipp knyttet til anlegget er usikkert da det ikke finnes en standardisert beregningsmetode, men beregninger som er utført viser at anlegget sparer atmosfæren for CO2 etter 6-46 år i drift.

Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.

PostadresseNTNU i Ålesund
N-6025 Ålesund
Norway**Besøksadresse**

Larsgårdsvegen 2

Internettwww.ntnu.no/alesund**Telefon**

70 16 12 00

Epostadressepostmottak@alesund.ntnu.no**Telefax**

70 16 13 00

Bankkonto

7694 05 00636

Foretaksregisteret

NO 971 572 140

FORORD

Solcelleanlegg blir stadig mer aktuelt for nybygg og under rehabilitering av forskjellige bygg. Derfor er det viktig at prosjekteringen av dette blir gjort grundig og man kan gjøre beregninger som er realistiske. På bakgrunn av dette spurte gruppen Norconsult Ålesund om man kunne utføre en oppgave med Norconsult som veiledere innen fornybar energi, og da spesielt solenergi. Oppgaven ble på bakgrunn av dette å prosjektere solcelleanlegg på det nye studentbygget på campus Ålesund.

Hensikten med oppgaven er å kunne både gi Norconsult Ålesund og gruppen kompetanse. Rapporten inneholder en grundig gjennomgang av teori og gjennomføring av prosjektering.

Oppgaven er utført av Haakon Aasgaard og Thor Martin Franksson med veiledning fra Norconsult ved Mari Lauglo og Robert Furnes i tillegg til universitetslektor fra NTNU Ålesund Gjermund Tomta. Gruppen har også fått veiledning fra bedrifter som Otovo, Klar Energy, solcellespesialisten, G-Tek og Solbes. Gruppen ønsker med dette å takke for all hjelp fra nevnte bedrifter, men da rette en spesiell takk mot Norconsult og NTNU som gjorde denne oppgaven mulig å gjennomføre.

INNHOLD

SAMMENDRAG	6
TERMINOLOGI	6
BEGREPER	6
NOTASJON	7
FORKORTELSER	8
1 INNLEDNING	9
2 TEORETISK GRUNNLAG	10
2.1 SOLCELLEPANEL	10
2.1.1 <i>Funksjon</i>	10
2.1.2 <i>Monokrystallinsk og multikrystallinsk</i>	12
2.1.2.3.1 <i>Oppbygning og ytelse</i>	13
2.1.3 <i>Effekttoleranse - sortering av solceller og panel</i>	15
2.1.4 <i>Plassering</i>	15
2.1.5 <i>Montering</i>	17
2.1.6 <i>Kobling og kabling</i>	18
2.1.7 <i>On-grid og off-grid</i>	19
2.2 VEKSELRETTER	21
2.2.1 <i>Virkemåten til en trefaseomformer</i>	22
2.2.2 <i>MPPT</i>	26
2.2.3 <i>Dimensjonering</i>	29
2.2.4 <i>Anleggsovervåking</i>	30
2.2.5 <i>Øydrift</i>	33
2.3 LOVER OG FORSKRIFTER	33
2.3.1 <i>NEK 400:2018</i>	34
2.3.2 <i>FEL – Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg</i>	34
2.3.3 <i>FEU – Forskrift om elektrisk utstyr</i>	35
2.3.4 <i>Andre</i>	35
2.4 STANDARDER	35
2.5 PROGRAMVARE	36
2.5.1 <i>PVsystem</i>	36
2.5.2 <i>Van Der Valk Solar Systems</i>	36
2.5.3 <i>Revit</i>	37

BACHELOROPPGAVE

2.5.4	<i>Solibri</i>	37
2.6	BÆREKRAFT	37
2.6.1	<i>Livsløpsanalyse</i>	37
2.6.2	<i>Miljøvennlige produsenter</i>	38
3	METODE	41
3.1	KUNNSKAPSUTVIKLING	41
3.1.1	<i>Nelfo kurs</i>	41
3.1.2	<i>Ekskursjon Klar Energy – Hareid Group</i>	41
3.2	DATA	42
3.3	STØRRELSE PÅ ANLEGGET	43
3.4	PROGRAMVARE	47
3.4.1	<i>Van Der Valk Solar Systems</i>	47
3.4.2	<i>PVsystem</i>	48
3.4.3	<i>Revit</i>	57
3.5	ØKONOMI	58
3.6	BÆREKRAFT – HVORDAN BEREGNE CO ₂ -UTSLIPP	58
4	RESULTATER	60
4.1	PROSJEKTERING AV ANLEGGET	60
4.1.1	<i>Installasjonsbeskrivelse av anlegget</i>	60
4.1.2	<i>Valg av paneltype og leverandør</i>	62
4.1.3	<i>Valg av vekselretter</i>	66
4.1.4	<i>Van Der Valk</i>	68
4.1.5	<i>Montering og oppbygning av solcellematrisene</i>	72
4.1.6	<i>Resultater fra PVsystem beregninger</i>	76
4.1.7	<i>Dimensjonering av kabler, vern og brytere</i>	80
4.2	ØKONOMI	83
4.2.1	<i>Alternativ 1 – Tak</i>	83
4.2.2	<i>Alternativ 2 – Tak og fasade</i>	86
4.2.3	<i>Tiltak for bedre nedbetalingstid</i>	88
4.3	BÆREKRAFT – BEREGNING AV CO ₂	88
4.4	FORSLAG TIL IMPLEMENTERING AV OVERVÅKNING I SIT-BOLIG	91
4.5	SAMMENLIGNINGER	92
4.5.1	<i>Sammenligning av Meteonorm 7.2 og NASA-SSE</i>	92
4.5.2	<i>Sammenlikning av to forskjellige panel</i>	93
4.5.3	<i>Likt anlegg plassert i Oslo-området</i>	93

5	KONKLUSJON	93
6	REFERANSER	95
7	FIGURLISTE	97
8	TABELLISTE	99
	VEDLEGG	99

SAMMENDRAG

Solcellepanel er et veldig dagsaktuelt tema som stadig blir å finne på flere og flere tak rundt i Norge. I denne rapporten skal vi prosjektere et komplett solcelleanlegg til et nytt studentbygg, og undersøke teorien til de ulike delene et solcelleanlegg består av, samt se på aktuelt regelverk. Hensikten til prosjekteringen er blant annet å se på om det er mulig å installere et solcelleanlegg som kan produsere nok energi til bygget slik at det møter kravene for å bli et nullutslippsbygg.

Ved å benytte et markedsledende simuleringsprogram, kalt PVsyst, har man et solid verktøy til å prosjektere og simulere solcelleanlegg. Programmet gir et nyttig informasjonsgrunnlag med blant annet gode prognoser på forventet effektproduksjon.

Resultatet av simuleringen viser at det er mulig å møte ZEB-0 kravene ved å installere 152 stk 400W panel på tak, og 63stk 400W panel på vegg. Dette vil gi en produksjon på ca. 51MWh i løpet av ett år.

Basert på innhentede priser fra norske forhandlere, vil anlegget være nedbetalt etter minimum 17 år.

Det miljømessige aspektet rundt klimagassutslipp knyttet til anlegget er usikkert da det ikke finnes en standardisert beregningsmetode, men beregninger som er utført viser at anlegget sparer atmosfæren for CO₂ etter 6-46 år i drift.

TERMINOLOGI

Begreper

Solcelle	Mest elementære enhet som utviser den fotovoltaiske effekten
Solcellemodul	Sammenstilling av sammenkoblede solceller
String	Krets av én eller flere seriekoblede solcellemoduler
Solcellematrise	Sammensetning av elektrisk sammenkoblede solcellemoduler, solcellestrenger eller solcelledelmatriser.

BACHELOROPPGAVE

STC	Standard Test Condition - Standard prøvebetingelser for testing og vurdering av solceller og moduler
Optimizer	DC/DC-omformer for å optimalisere et anlegg til å produsere mest mulig energi
KiloWatt peak	Merkeeffekt, effektkapasitet ved standard testforhold
Vekselretter	Solcelleomformer som omformer elektrisk energi levert av solcellematrisen til riktig frekvens og/eller spenning
MPPT	Styringsstrategi hvor driften av solcellematrisen alltid er ved eller nær punktet på en solcelleenhets strøm-/spennings-karakteristikk, hvor produktet av elektrisk strøm og spenning gir maksimal elektrisk effekt under spesifiserte driftsforhold
Irradians	Elektromagnetisk utstrålt solenergi pr arealenhet [W/m^2]
Øydrift	Solcelleanlegg som fortsetter å produsere energi når hovednettet har falt ut.
BIPV	Building-Integrated Photo-Voltaics
BAPV	Building-Applied Photo-Voltaics
BIM	Bygningsinformasjonsmodulering
ZEB	Nullutslippsbygning
DIN-skinne	Standard montasjeskinne
mismatch loss	Tap på grunn av ulike verdier i en kjede med like komponenter

Notasjon

U_{oc}	Open-circuit voltage
I_{sc}	Short-circuit current
I_{SCPV}	Short-circuit

Forkortelser

PV	Photovoltaisk (fotovoltaisk)
STC	Standard Test Condition (standard testforhold)
kWp	Kilowatt peak
AC	Alternating Current (Vekselstrøm)
DC	Direct Current (Likestrøm)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Maksimal effektpunktssporing)
BIPV	Building Integrated Photovoltaics (Bygningsintegreerte solcellesystemer)
BAPV	Building Applied Photovoltaics (Bygningspåførte solcellesystemer)
ZEB	Zero Emission Building
SD-anlegg	Sentral Drift-anlegg

1 INNLEDNING

Forespørselen etter solcellepanel er voksende, og det er ingenting som tilsier at dette skal avta med det første. Dette har sin årsak i mange nye krav og regler i forbindelse med utslipp både under bygging av nybygg, men også til at eldre bygg skal bli mer energieffektive. Dette gjør at mange, både fra det private og forskjellige næringer, ønsker en solcelleinstallasjon på taket eller veggen for å produsere til eget bruk.

I samarbeid med NTNU, Ålesund kommune og Brødrene Sunde, skal Sit bygge et nytt studentbygg på campus i Ålesund. Bygningen, som har fått navnet Sundebygget, skal være levende og aktiv 24 timer i døgnet, 7 dager i uka. Det nye bygget skal inngå i en større campusutbygging ved NTNU i Ålesund, cirka fem kilometer øst for sentrum. Bygget er på totalt 4.902 kvadratmeter og skal romme et studenthus med innovasjonshub, treningssenter, konsertscene/studenthus, kaffebar, kontorer og møtefasiliteter i de tre første etasjene.

Over dette planlegges 84 studentboliger med felles kjøkken i hver etasje.

Consto er nå inne i forprosjektfasen. I denne fasen skal det jobbes for å finne gode, bærekraftige tekniske løsninger for å nå ambisjonen om et nullutslippsbygg i henhold til ZEB-0 (minus) EQ, og i tråd med Sits mangeårige tradisjon for å fokusere på miljø når de bygger nytt.

Sit ønsker derfor å se på muligheten til å utnytte solenergi til lokal kraftproduksjon på taket av det nye studentbygget.

Gruppen går ut ifra at Sit velger å benytte seg av solceller og vil derfor prosjektere et komplett solcelleanlegg.

Det skal prosjekteres et nøkkelferdig anlegg som består av solcellepaneler, stativer med fundament for montasje av panelene, vekselretterne og annet nødvendig utstyr.

Installasjonene skal dokumenteres med beregninger og dimensjonering, skjemaer og detaljer.

Vi vil i denne oppgaven ta for oss en generell prosjektering av et solcelleanlegg på det nye studentbygget som skal bygges på campus Ålesund. Rapporten

BACHELOROPPGAVE

inneholder teori om de forskjellige komponentene, om det er mulig å oppnå ZEB, fremgangsmåte i prosjekteringen ved hjelp av programvare, resultater av fremgangsmåten og en konklusjon om hva vi mener om lønnsomheten solcelleanlegget.

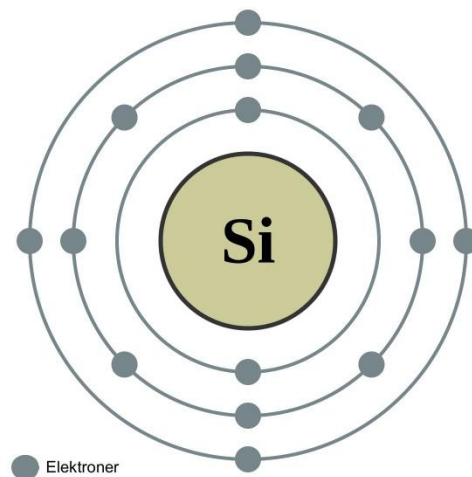
2 TEORETISK GRUNNLAG

2.1 Solcellepanel

2.1.1 Funksjon

Et solcellepanel består av mange solceller som er koblet sammen. Disse solcellene fungerer ved å omdanne sollys til elektrisk energi ved hjelp av den fotovoltaiske effekten. For å forstå hvordan denne prosessen fungerer, må man først vite litt om hvordan solcellen er bygd opp.

En solcelle består oftest av silisium, hvert atom har fire elektroner i det ytterste skallet. Slik som alle andre atomer, ønsker også silisium å ha åtte elektroner i det ytterste skallet, derfor deler naboatomene elektronene mellom seg. Dette gjør at alle atomene får åtte elektroner i det ytterste skallet sitt. Når atomene deler elektroner, kan man si at elektronene er koblet sammen i et krystallgitter. Dette gitteret er ikke godt egnet til å lede strøm, og på grunn av dette tilsetter man andre stoffer, ofte bor og fosfor, som endrer elektronsammensetningen i stoffet. Dette blir på fagspråket kalt doping. En solcelle må på grunn av dette bestå av to lag med dopet silisium, slik at elektronene kan bevege seg fra et sted til et annet.



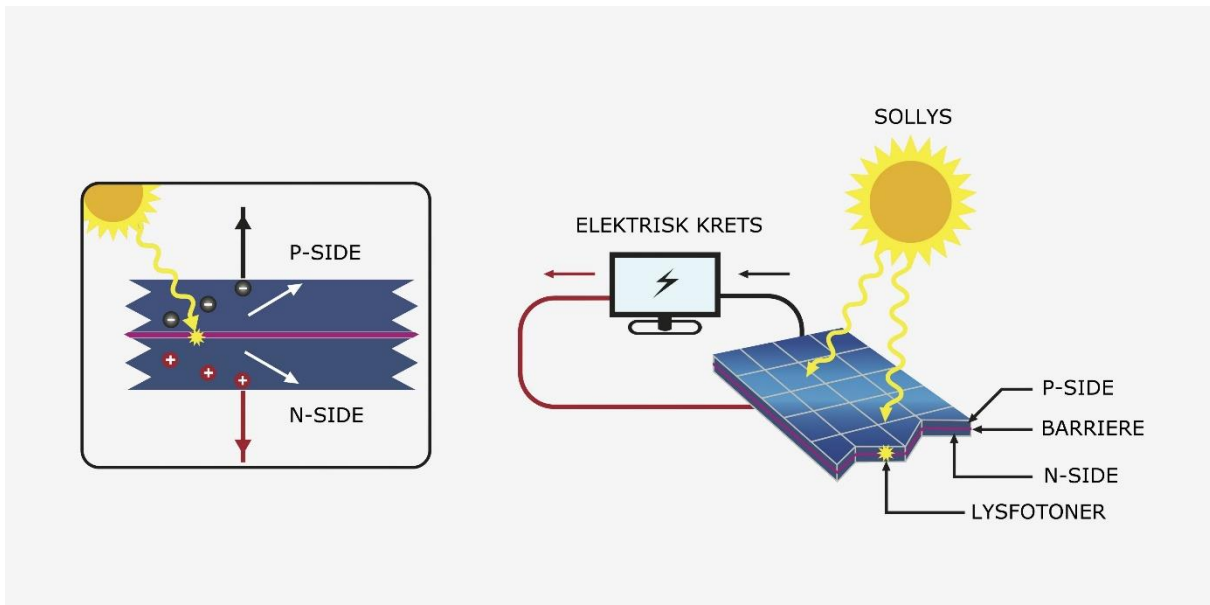
Figur 1: Silisium atom

Det ene laget blir dopet med bor, dette gjør at det oppstår en mangel på elektroner i dette laget. Det blir dermed en positiv doping som betyr at det finnes ledige elektronplasser i dette laget. Det andre laget blir tilsatt fosfor, dette gjør at det blir et overskudd av elektroner, noe som er definert som negativ doping. Dette gjør at man har en side med for mange elektroner og en med for få. Derfor vil elektronene som er på n-siden flytte seg til p-siden.

Når elektronene flytter seg, vil dette skape et positivt felt over n-siden og negativt felt over p-siden. Når de løse elektronene tar plassene sine på p-siden, vil det etter hvert oppstå et isolerende lag mellom den n- og p-dopete siden.

BACHELOROPPGAVE

Denne barrieren gjør at ikke flere elektroner flytter seg mellom sidene, det vil da oppstå en balansert solcelle som blir brukt til å fange opp sollysets energi.



Figur 2: Fra sollysets energi

Når sollyset, eller kalt lysfotoner, treffer solcellen slår dette løs elektroner i barrieren i den balanserte solcellen. Når et elektron blir frigjort, blir det en ledig elektronplass i solcellen. Elektronet og den ledige plassen kan bevege seg fritt, men spenningen mellom silisiumlagene gjør at det løse elektronet som ble slått løs beveger seg mot n-siden, mens den ledige plassen beveger seg mot p-siden.

Etter at dette elektronet har kommet til n-siden, er det et elektron for mye på denne siden og en plass for mye på p-siden. Hvis panelet er koblet til en krets, vil elektronet bevege seg gjennom kretsen og tilbake på p-siden til den ledige plassen. Grunnen til at elektronet går gjennom kretsen i stedet for å bevege seg tilbake mellom lagene er spenningsforskjellen mellom lagene. Når elektronene beveger seg gjennom kretsen, skapes strøm. (Mjønerud 2019)

2.1.2 Monokrystallinsk og multikrystallinsk

Det finnes flere forskjellige teknologier, hvor det er hovedsakelig to aktuelle når det kommer til solcelleanlegg på hus og bygninger: Monokrystallinske og multikrystallinske.



Figur 3: Monokrystallinsk og multikrystallinsk

2.1.2.1 Kort sammenlikning

Hvordan sammenlignes monokrystallinske og multikrystallinske paneler på viktige aspekter?

Tabell 1: Forskjell mellom monokrystallinske og multikrystallinsk

	Monokrystallinske	Multikrystallinske
Farge	Sort	Blå
Kost	Dyrere	Billigere
Effektivitet	Mer effektiv	Mindre effektiv

2.1.2.2 Monokrystallinske solceller

Monokrystallinske solceller er som standard svarte eller grå med en ensartet overflate. De er skåret av en rund silisiumblokk og har derfor som standard runde hjørner. Men ofte blir cellene skåret til i kvadrater, for å få mindre avstand mellom cellene i panelet og dermed oppnå en tettere pakking i den ferdige modulen. En tettere pakking gir en høyere virkningsgrad.

2.1.2.3 Multikrystallinske solceller

Multikrystallinske solceller består av store silisiumkrystaller som dannes ved støpning i en form. De forskjellige krystallretningene i cellen gir solcellen en «levende» overflate som gir et blålig fargespill.

2.1.2.3.1 Oppbygning og ytelse

BACHELOROPPGAVE

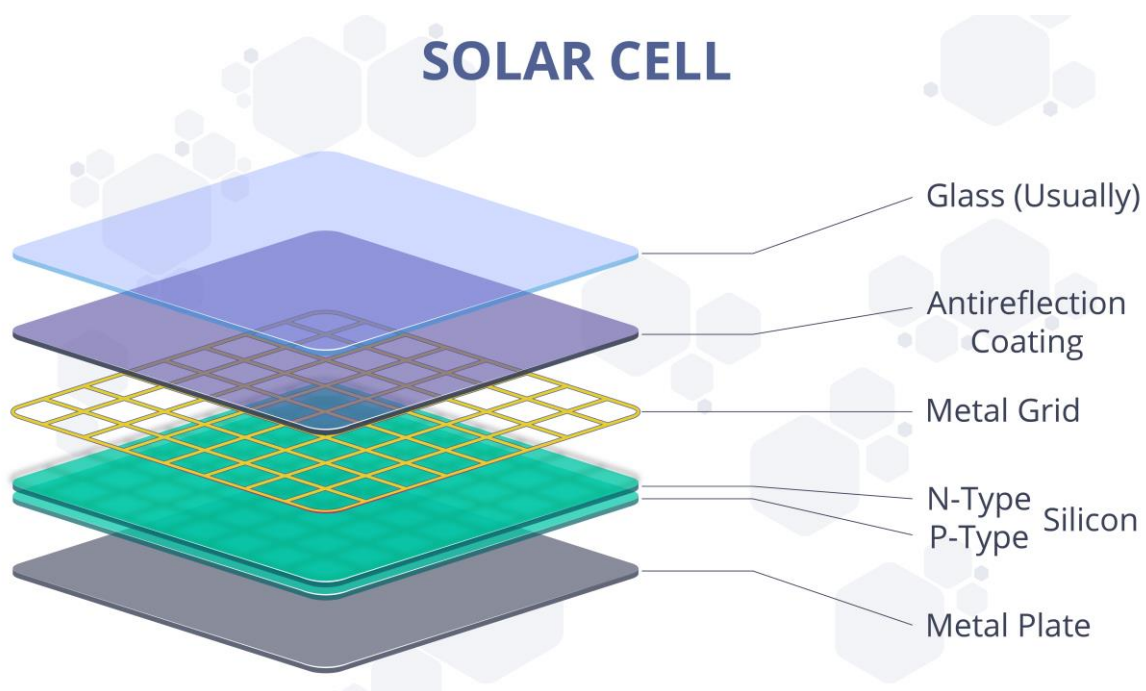
De fleste standardpaneler leveres med fast ramme, men kan også leveres rammeløse. Rammeløse moduler er spesielt velegnede til bygningsintegrasjon hvor solpanelet for eksempel kan inngå som erstatning for glass.

I standardpanel blir de enkelte cellene plassert på et metallgitter som fungerer som kontaktnett. Cellene blir montert mellom to lag glass eller mellom et lag glass og et lag plast(folie) eller metallplate. Ofte er de montert på en hvit bakgrunn som reflekterer det lyset som faller inn mellom cellene, dette er med på å holde modulens temperatur så lav som mulig, noe som gir den høyeste effekten.

Monokrystallinske celler er de mest effektive, men også de dyreste.

Modulvirkningsgraden er imidlertid avhengig av hvor tett cellene er pakket.

Multikrystallinske solceller har ofte en litt lavere virkningsgrad, men pakkingen i modulen er ofte tettere, slik at det veier opp for cellenes lavere virkningsgrad. (Webforumet 2020)



Figur 4: Oppbygging av solcelle.

2.1.3 Effekttoleranse - sortering av solceller og panel

Effekttoleranse er beskrevet i prosent og forteller hvor mye et panel kan produsere over og under sin nominelle effekt, Wp. For eksempel vil en effekttoleranse på -5% / + 5% på et 100 watt panel bety at panelet kan produsere 95 W til 105 W under normale forhold. Noen leverandører oppgir 0% i negativ effekttoleranse, dette betyr at panelet alltid skal produsere effekt som er lik eller større enn dets nominelle effekt.

For å finne ut og sortere panelene under produksjonen av solcellepanelene blir det utført en blitztest. Her blir hvert panel utsatt for et lysglimt som skal forestille sollys og måler effekten man får ut av panelet (1-30 millisekund på 1.000 W per m²). Panelene blir deretter sortert i henhold til de målte effektverdiene som varierer i området opp til 5% av den nominelle effekten.

Når man skal kjøpe solcellepanel er dette en faktor som er viktig for installasjonen. En kunde vil helst velge panelene som produserer kraft ved eller over nominell effekt. Enhver variasjon av effekttoleransen vil påvirke produksjonen av energi. Et mindre effekttoleranseområde fra leverandør lover mer nøyaktighet til solcellepanelene. (Bhattacharyya 2016)

2.1.4 Plassering

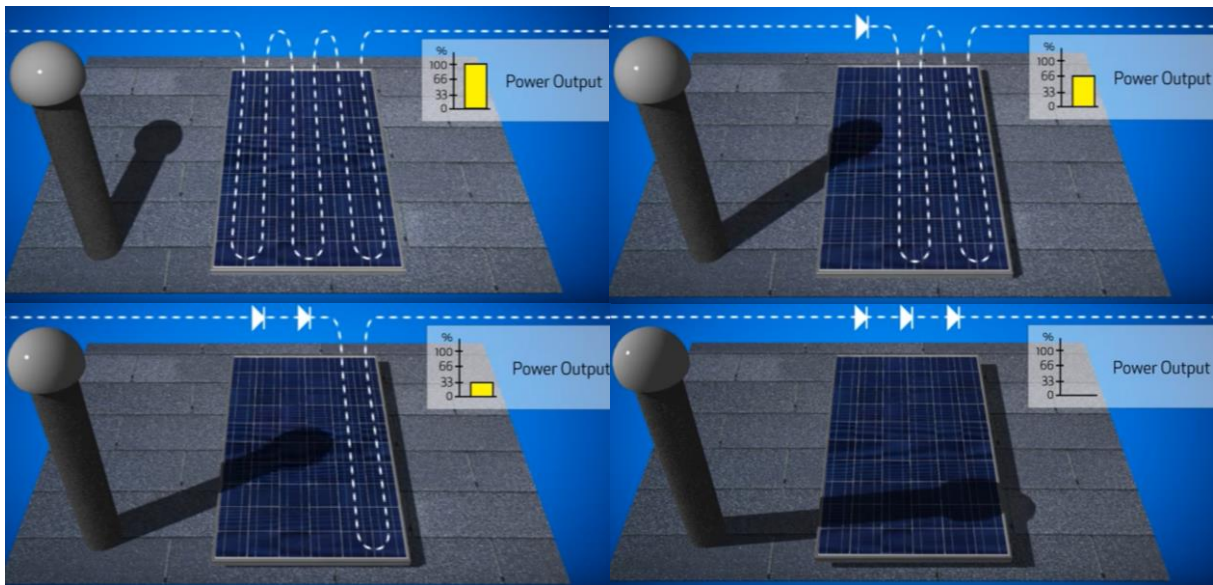
Plasseringen av solcelleanlegget har stor betydning for hvor godt anlegget utnytter solens stråler. Og her spiller spesielt plasseringen i forhold til solen og eventuelle skyggepåvirkninger en vesentlig faktor. For å få optimal ytelse fra solceller er det viktig at de plasseres slik at de blir så belyst som mulig. Den maksimale effekten fra en solcelle får man når solen treffer vinkelrett og med maksimal styrke, det vil si midt på dagen i sørlig retning.

2.1.4.1 Skygge- og smusspåvirkning av solcellepanel

Skygge og smuss er solcellepanelets verste fiende. Bare noen få prosent skygge som treffer et bestemt sted eller hvor det ligger møkk på panelet kan påvirke produksjonen av energi i stor grad. Dette er derfor noe av det som er viktigst å tenke på under prosjektering av solcelleanlegg. (Webforumet 2020)

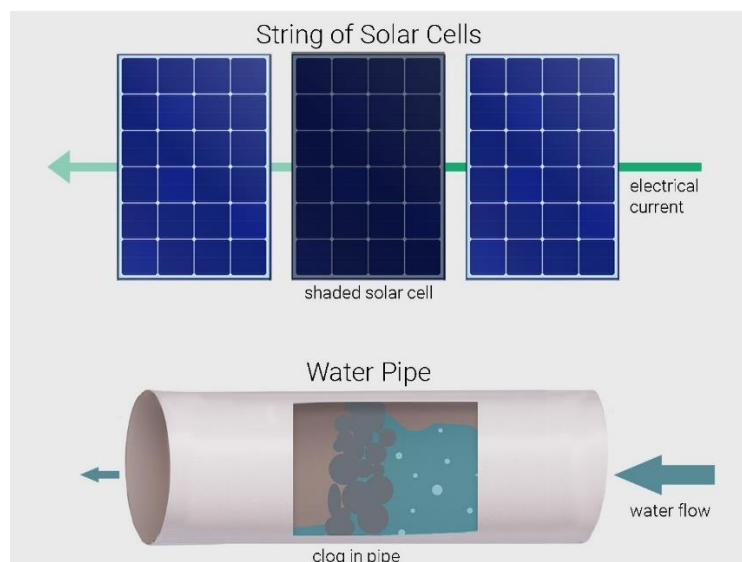
BACHELOROPPGAVE

Når det gjelder smuss, er dette noe som er vanskelig å unngå da det er fugler i området, løv kommer opp på taket og etter en stund støv og annet smuss. Dette er noe som er under utvikling, slik at ikke fuglemøkk og støv skal påvirke et solcellepanel i like stor grad som det gjør i dag.



Figur 5: Skyggepåvirkning fra en pipe på et solcellepanel

Som man kan se på figuren over, er det prøvd å vise hvordan en pipe vil påvirke produksjonen på et solcellepanel. I tillegg kan man se hvordan solcellepanelet er koblet og bygd opp.



Figur 6: Skyggepåvirkning for solcellepanel i serie

Det er ikke bare et problem for det ene solcellepanelet som blir påvirket av skygge eller smuss, men for hele stringen ettersom alle panelene er koblet i serie. Dette kan vi sammenligne med et vannrør, panelet som er påvirket av en

BACHELOROPPGAVE

skygge eller møkk, vil fungere som en propp og stoppe/reducere produksjonen for hele stringen. (Brown 2016)

Tiltak for å redusere påvirkningen av skygge eller smuss er å installere en optimizer på hvert panel. Dette vil nulle ut produksjonen til et panel hvis denne ligger under produksjonen til resten av stringen. Dette er kostbart, og lønner seg sjelden så lenge man har noen som kan utføre en kontroll og alle panelene er plassert på samme tak.

2.1.4.2 Tak

I Norge er den optimale plasseringen av solceller rett sør og med en helning på ca. 40 grader. I praksis kan solcellene imidlertid plasseres fra sørøst til sørvest og i en vinkel på mellom 10 og 60 grader uten at det reduserer ytelsen vesentlig.

2.1.4.3 Vegg

Når det gjelder solcellepanel på vegg, har vi to muligheter. Det kan enten integreres (BIPV) eller monteres utenpå fasaden (BAPV). Integrerte solcellepanel er den beste metoden hvis man tenker mest på det estetiske, men er mer kostbar enn vanlig utenpåliggende panel. Et annet moment er at utenpåliggende solcellepanel er mer effektive. Dette er fordi et utenpåliggende panel vil ha luft på baksiden av panelene og dermed mer kjøling, som gjør at panelene produserer mer energi på varme dager sammenlignet med et integrert. (Viridian Solar 2020)

Det er viktig å bemerke at det stilles andre krav til panel som skal monteres på vegg med tanke på oppbygging sammenlignet med de som kan plasseres på tak.

2.1.5 Montering

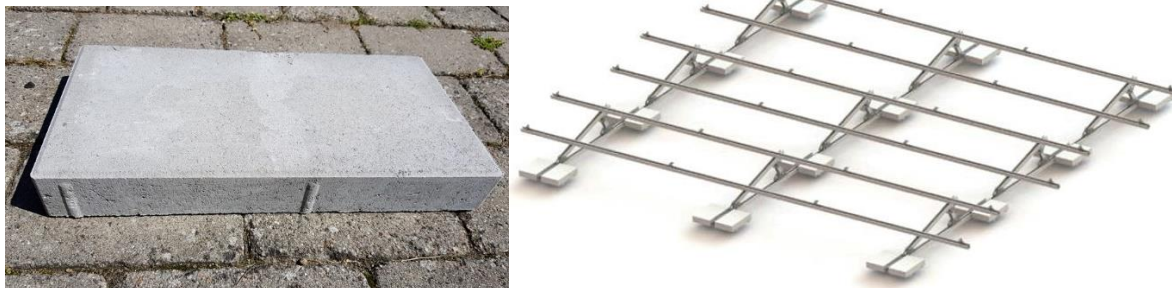
Montering av panelene er viktig enten det skal plasseres på vegg eller tak. Det er særlig viktig at vindforholdene på installasjonsstedet blir tatt hensyn til.

2.1.5.1 Tak

Systemet holdes på plass ved hjelp av ballast og trenger dermed ikke mekanisk innfesting i tak. Mengde ballast er beregnet ut fra takets friksjon og dimensjonerende vindlast for området. For å beregne dette, vil gruppen bruke programmet Van Der Valk. Dette programmet beregner hvor mange kilo med

BACHELOROPPGAVE

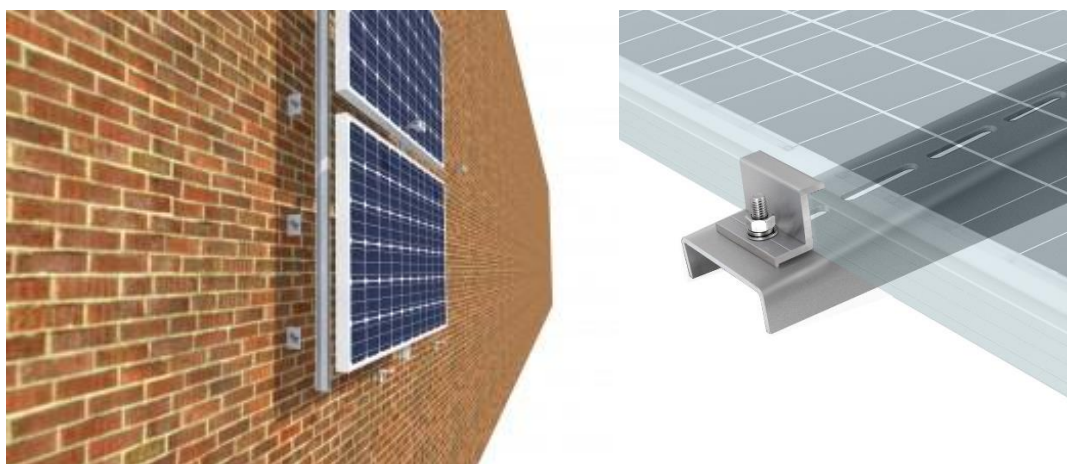
ballast man må ha ved at prosjekterende oppgir en områdekategori. Resultatet av beregningen er ballasten man må legge på festesystemet for at det skal tåle vindforholdene på installasjonsstedet.



Figur 7: Typisk ballast og plassering

2.1.5.2 Vegg

Når man skal feste solcellepanel på veggen kommer det an på hvilken type solcelleinstallasjon man har valgt, integrert eller utenpåliggende. Som nevnt tidligere er utenpåliggende et bedre valg da det vil føre til høyere produksjon på grunn av naturlig kjøling. For å feste disse må man kjøpe festebraketter og skinner for å sikre det tilstrekkelig.



Figur 8: Festealternativ for vegg

2.1.6 Kobling og kabling

Forskriftene til kabler og kontakter brukt i et solcelleanlegg er beskrevet i NEK400-7-712-52. Her står det blant annet at kablene brukt på DC-siden skal monteres slik at risikoen for jordfeil og kortslutning er redusert til et minimum ved å for eksempel benytte enleder kabel med ikke-metallisk kappe. I tillegg må det benyttes kabler som må tåle >70 grader.

BACHELOROPPGAVE

Ingen av kablene skal festet direkte på taket/bygningens overflate. Dette vil si at alt av kabler må legges i kanal for å beskytte kablene mekanisk. Til slutt er det viktig at man legger kablene korteste mulig vei fra kobling på solcellepanelet til vekselretteren.

Når det gjelder sammenkobling av panelene skal dette gjøres med MC4-kontakter. Disse kontaktene får man både for seriekobling og parallellkobling av panel. I figuren under er det bilde av en slik kontakt som består av en hann- og hunnkontakt. Disse må være samme type og av samme fabrikat i tillegg til å være CE merket.



Figur 9: MC4-kontakt for seriekobling og kabelinstallasjon

2.1.7 On-grid og off-grid

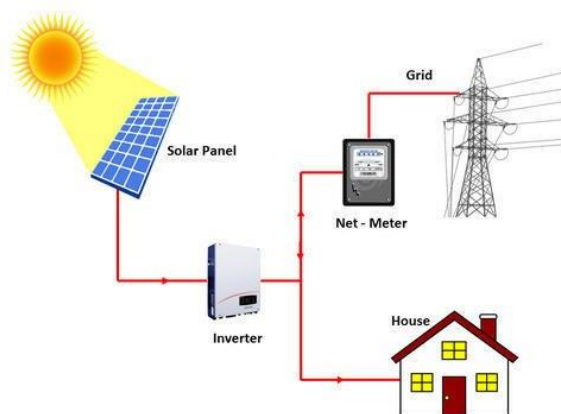
Det finnes flere måter å installere et solcelleanlegg på, disse deler man inn i on-grid og off-grid. Under skal gruppen ta for seg forskjellene på disse.

2.1.7.1 On-grid

On-grid er en installasjon hvor du kobler et solcelleanlegg til strømmettet. Da vil solcelleanlegget produsere både for bygningen det er montert på og selge ut på nettet når forbruket i bygget er lavt. Dette gjøres på plasser som har tilgang på nettforsyning. Det er også mulig hvis produksjonen er høy nok i forhold til

BACHELOROPPGAVE

forbruket til bygget, at man kan installere batterier. Dette gjør at man også kan klare seg uten å kjøpe energi en lenger periode med mindre værforholdene ikke er optimale over en lenger periode.



Figur 10: On-grid solcelleanlegg

2.1.7.2 Off-grid

Off-grid er når man ikke har nettilkobling og man lager dermed en slags øy hvor man produserer, lagrer og bruker den strømmen man trenger. I denne installasjonen monteres det som regel batteri slik at man har strøm gjennom hele døgnet. Dette er et system som er mye brukt på hytter og steder det er utfordringer å komme til med nettilkobling.



Figur 11: Off-grid solcelleanlegg

2.2 Vekselretter

Når et solcellepanel produserer energi, er det likestrøm som kommer ut av panelet. Man må derfor konvertere likestrøm (DC) til vekselstrøm (AC) for å kunne bruke det ute på anlegget. Elektronikkenheten som brukes til å konvertere likestrøm til vekselstrøm med ønsket frekvens- og spenningsutgang, kalles en vekselretter, inverter eller en omformer.



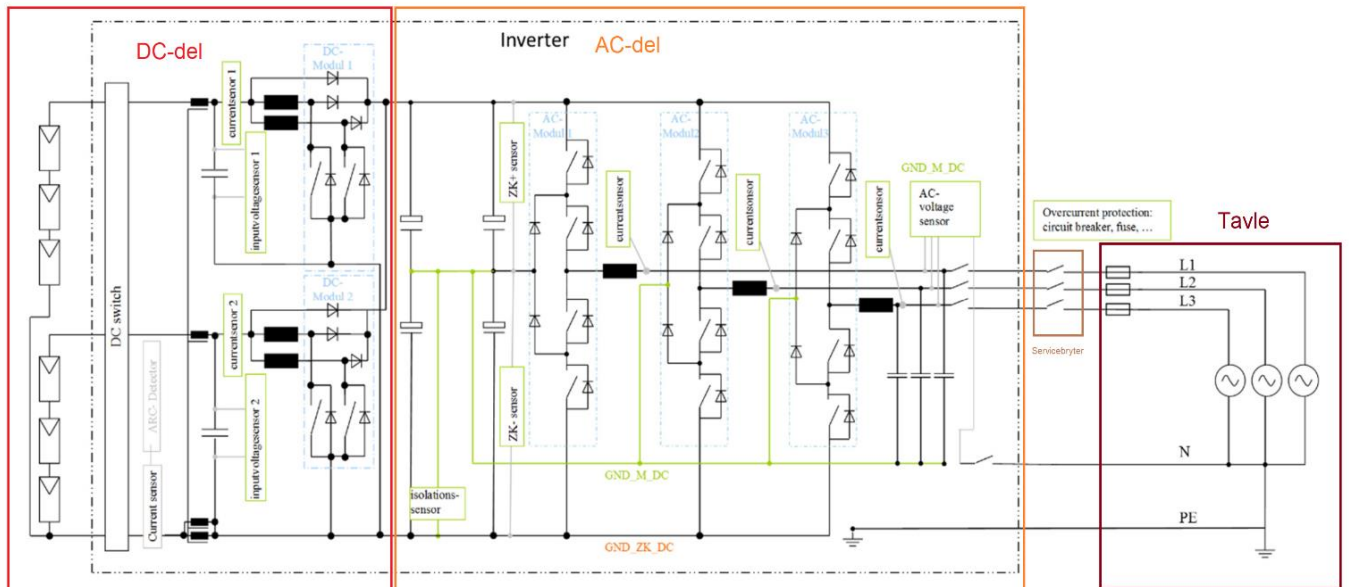
Figur 12: Forslag til vekselretter

Vekselretteren er den mest sofistikerte delen av ethvert nettbasert solsystem, og dessverre er det også den delen som mest sannsynlig vil få problemer. Dette er ikke overraskende med tanke på at vekselretterne vanligvis befinner seg utendørs i tøffe værforhold, slik som regn, fuktighet, kulde og varme, alt samtidig som de genererer tusenvis av watt i opptil 10 timer om dagen. Dette er grunnen til at det er viktig å bruke en kvalitetsomformer og montere den på et skjermet sted hvis mulig.

2.2.1 Virkemåten til en trefaseomformer

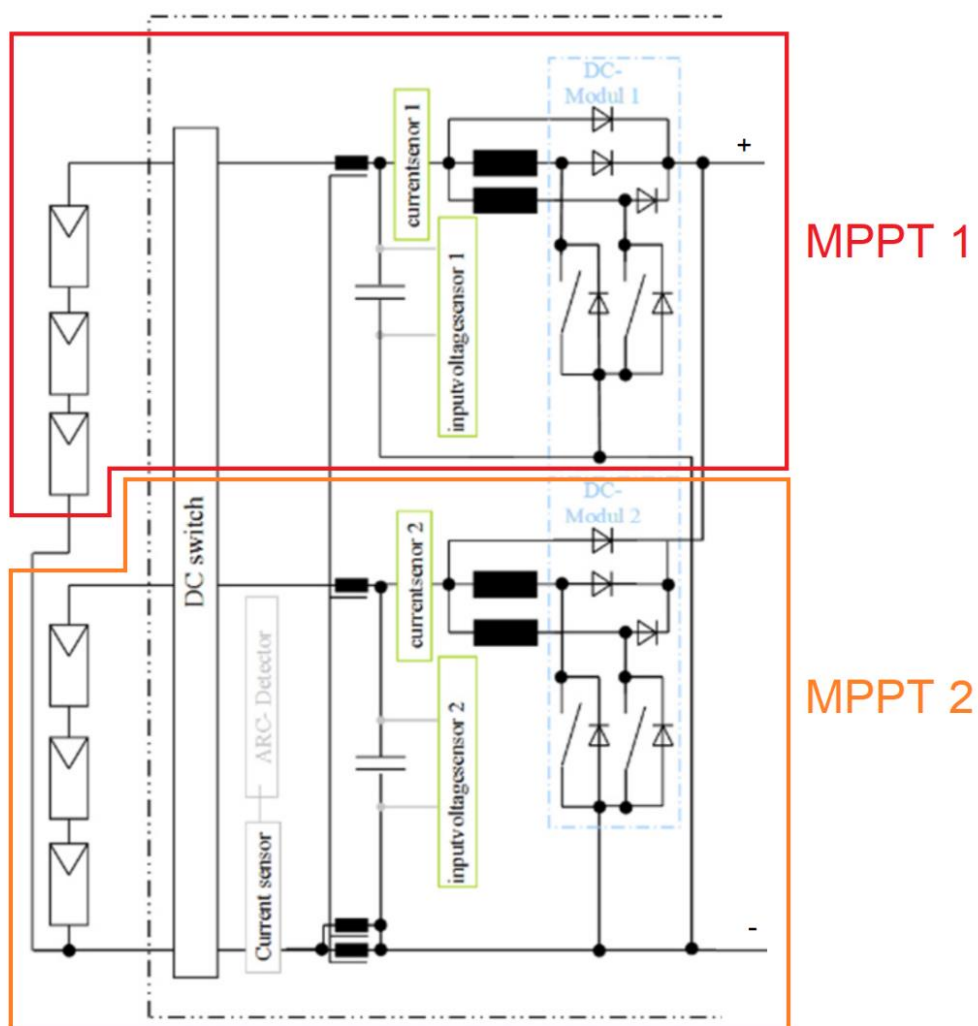
Vi skal her se litt nærmere på virkemåten til en vekselretter.

Vekselretteren er delt opp i to deler, likestrømsdel og vekselstrømsdel.



Figur 13: Oppbygging av en Fronius vekselretter

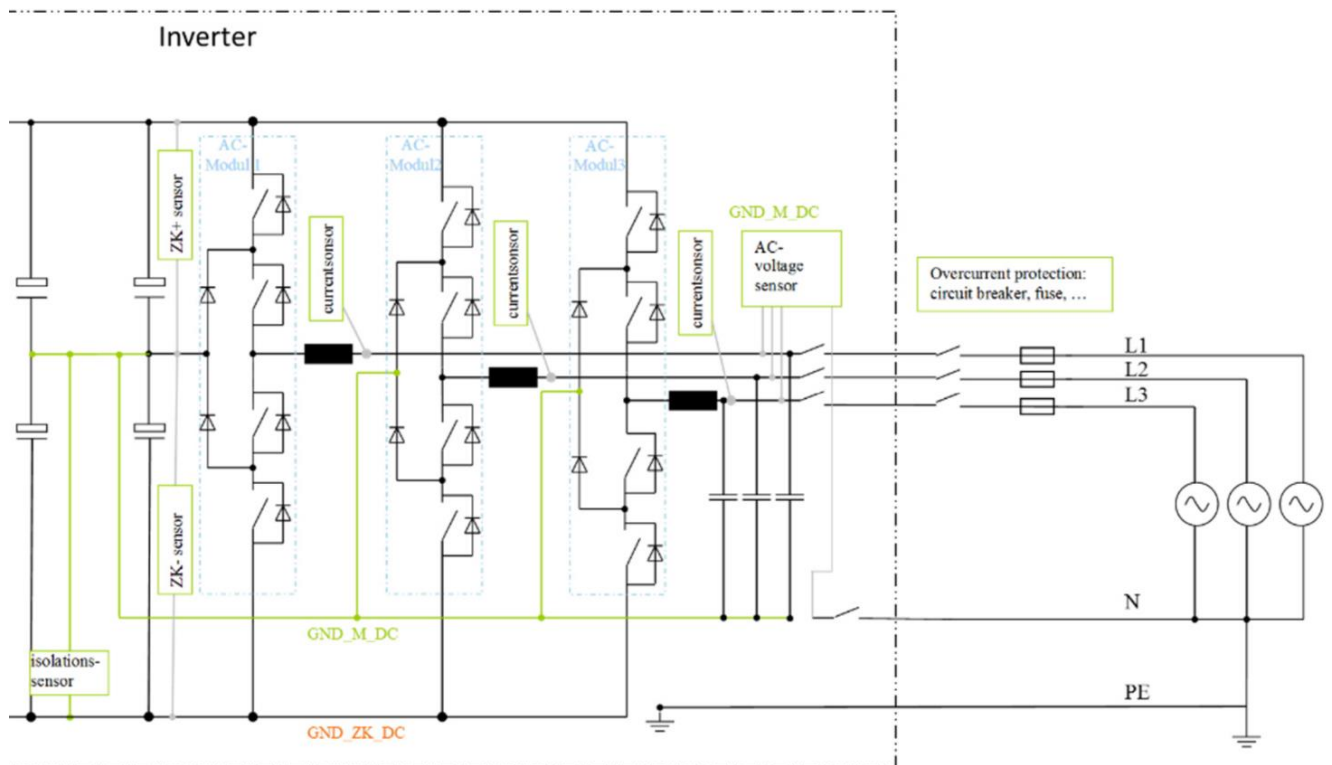
2.2.1.1 Likestrømsdel



Figur 14: Likestrømsdel

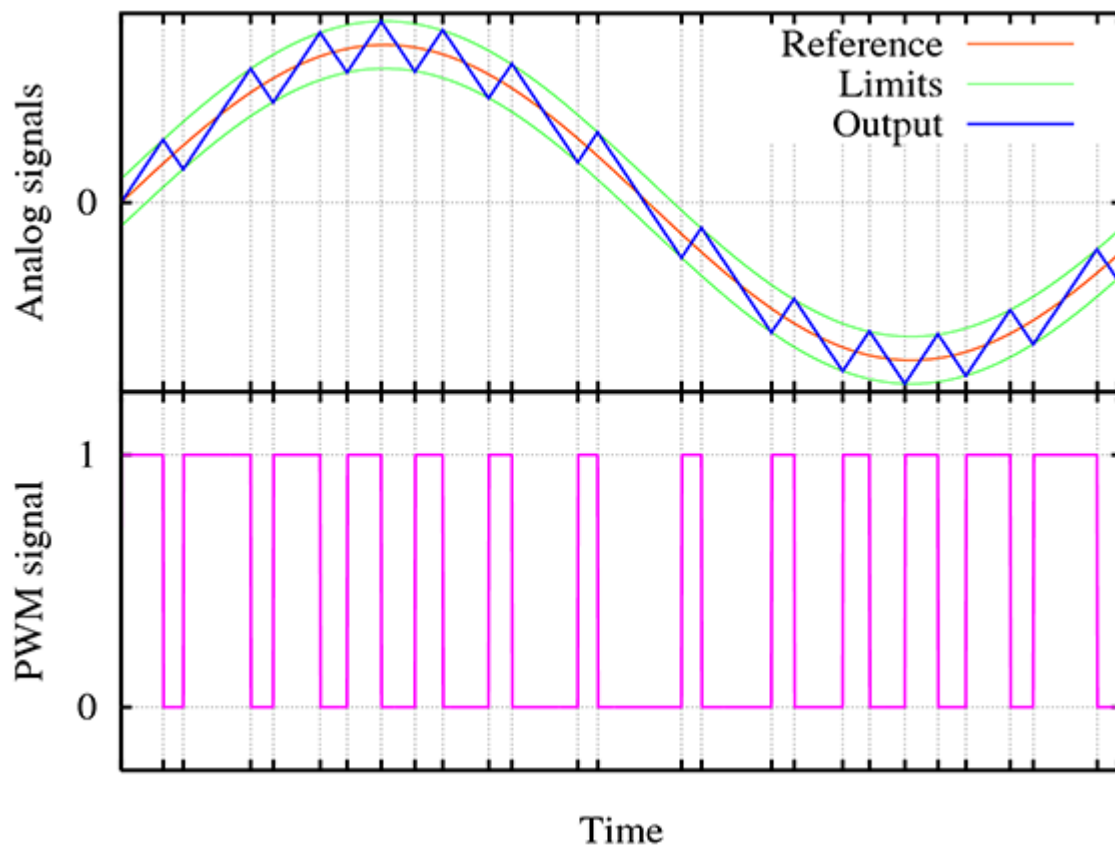
Helt til venstre vises det to strenger med solcellepanel. Disse stringene er koblet til hver sin MPPT-inngang. En innebygd DC-bryter gir mulighet til å koble fra solcellepanelene ved eventuelt vedlikehold av vekselretteren. Strøm og spenningsmåling av stringene er nødvendig for at MPPT skal fungere. Til slutt kombineres inngangene til en felles DC-streng.

2.2.1.2 Vekselstrømsdel



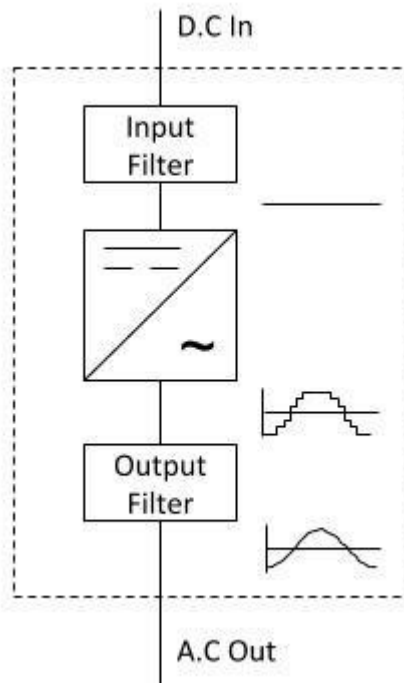
Figur 15: Vekselstrømsdel

I en trefaseomformer konverteres DC-strøm til trefase AC-strøm med en fasevinkel på 120 grader. For dette formålet må vi bruke pulse-width-modulation metode for å slå av og på likespenningen i løpet av en viss tidsperiode (for en bestemt fasevinkel), som vil skape tre faser med nær sinusformet kurve. Som koblingsenhet brukes dioder og thyristorer. Thyristoren virker som en bryter, slik at den i diagrammet er erstattet med en bryter. En thyristor skifter mellom på/av ved hjelp av en styreelektrode. Det må bestemmes en tennvinkel for hver thyristor der den skal være aktiv for en periode. Diodene blokkerer når spenningens retning revereseres.



Figur 16: Kovertering fra DC til AC (<https://aktif.net/en/Aktif-Blog/Technical-Articles/Pwm-at-Dc-Ac-Inverters>)

Når det sies at spenningen konverteres fra DC til AC, er dette en forenkling. Sinuskurven som blir skapt vil ikke være en ren sinuskurve, da den vil være bygget opp av pulset DC spenninger. Dette betyr at sinuskurven vil inneholde ripples, eller støy. For å redusere støyen benyttes ytterligere passive filter bygd opp av kondensatorer og kapasitanser.



Figur 17: Passive filter for å fjerne støy og ripples (<https://aktif.net/en/Aktif-Blog/Technical-Articles/Pwm-at-Dc-Ac-Inverters>)

Til slutt i AC delen til vekselomformerer finner man strøm- og spenningsmåling i tilknytting til en AC-bryter. Dersom nettet fra leverandøren skulle falle ut, vil vekselretteren kobles ut for å unngå øydrift.

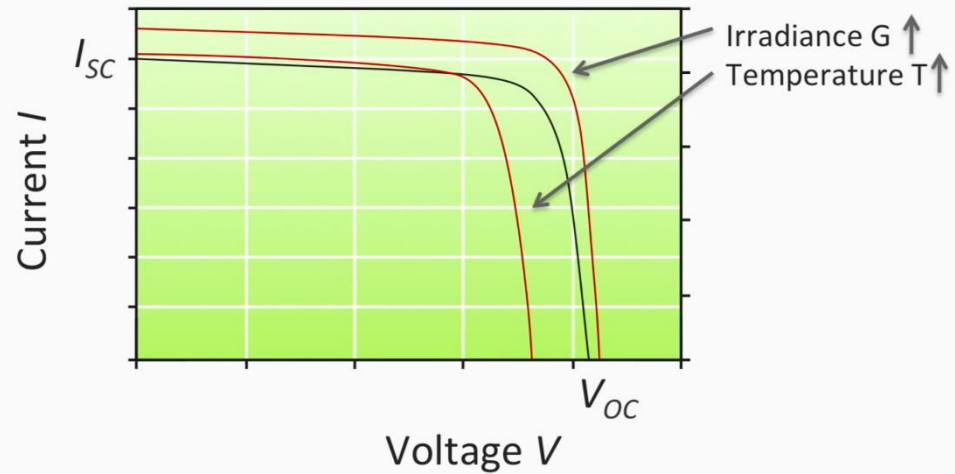
Vekselretteren er så koblet til strømnettet via vern som beskytter systemet mot for høye strømmer og spenninger.

2.2.2 MPPT

Maximum Power Point Tracking (MPPT), på norsk «maksimalt effektpunkt sporing», er en algoritme som er implementert i vekselrettere som brukes til å trekke ut maksimal tilgjengelig strøm fra solcellemodulen under visse forhold. Spenningen som solcellemodulen kan produsere maksimal effekt på kalles maximum power point (maksimalt effektpunkt). Den maksimale effekten som et panel kan produsere varierer med solstråling, omgivelsestemperatur og solcelle temperatur.

Denne IV-kurven til et solcellepanel er definert for et unikt sett med temperatur- og irradiansbetingelser. For eksempel hvis irradiansen øker, vil også IV-kurven endre seg til et høyere nivå. Generelt gir en høyere irradians en bedre IV-kurve, men en høyere temperatur vil gi en dårligere IV-kurve og omvendt.

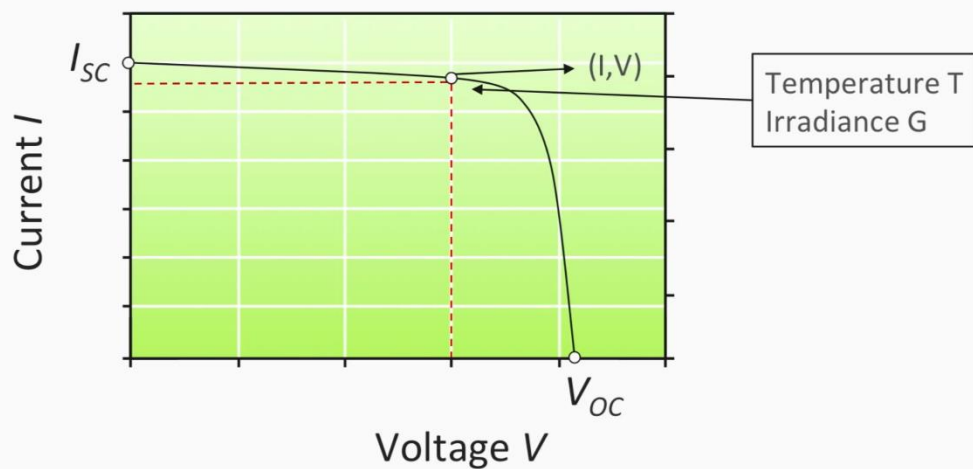
Generic I-V curve of a PV module



Figur 18: Irradians- og temperaturkurve

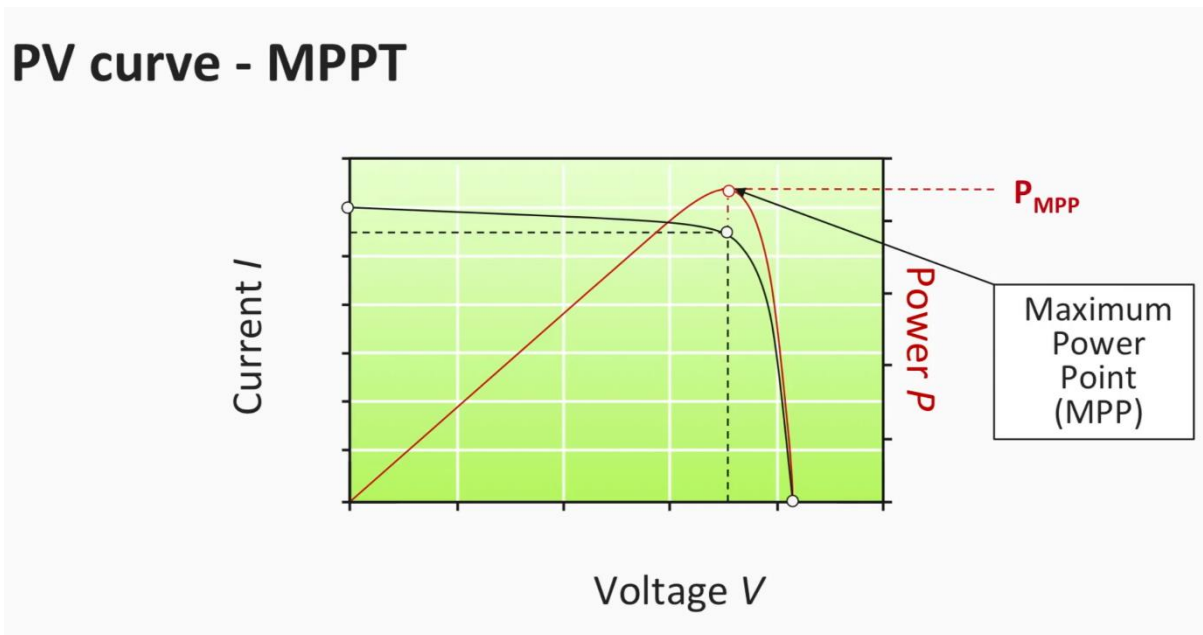
På et gitt tidspunkt fungerer solcellemodulen med en bestemt spenning og strøm. Punktet på IV-kurven der solcellemodulen opererer kalles operasjonspunktet. For en gitt irradians og temperatur, tilsvarer et driftspunkt på I-V-kurven en unik (I, V) verdi.

PV module – operating point



Figur 19: Driftspunkt for solcelle

Man vet at effekt = $V * I$. Effekt-spennings-kurven, eller PV-kurven, er som følger:



Figur 20: Maximum Power Point

Et driftspunkt på IV-kurven vil tilsvare et unikt driftspunkt på PV-kurven. P på PV-kurven til en solcellemodul, er effekten som produseres og leveres til resten av solcellesystemet, og etter hvert belastningen. Derfor er det helt klart fordelaktig at solcellemodulen fungerer med maksimal effekt som sett på figuren som toppen av PV-kurven.

Uten ekstern elektrisk manipulering, er solcellemodulens driftspunkt stort sett diktert av den elektriske belastningen som solcellemodulens ser på sin utgang. For å få maksimal effekt levert av solcellemodulens, er det derfor viktig å tvinge modulen til å operere på driftspunktet som tilsvarer den maksimale effekten, eller som det vanligvis kalles, det maksimale effektpunktet (Maximum Power Point, MPP). Dette punktet tilsvarer toppen på en PV-kurve eller "kneet" til IV-kurven. Den enkleste måten å gjøre dette på er å tvinge spenningen til PV-

BACHELOROPPGAVE

modulen til å være lik den på MPP (kalt V_{mpp}) eller regulere strømmen til riktig mengde som den ved MPP (kalt I_{mpp}), ved hjelp av vekselretteren.

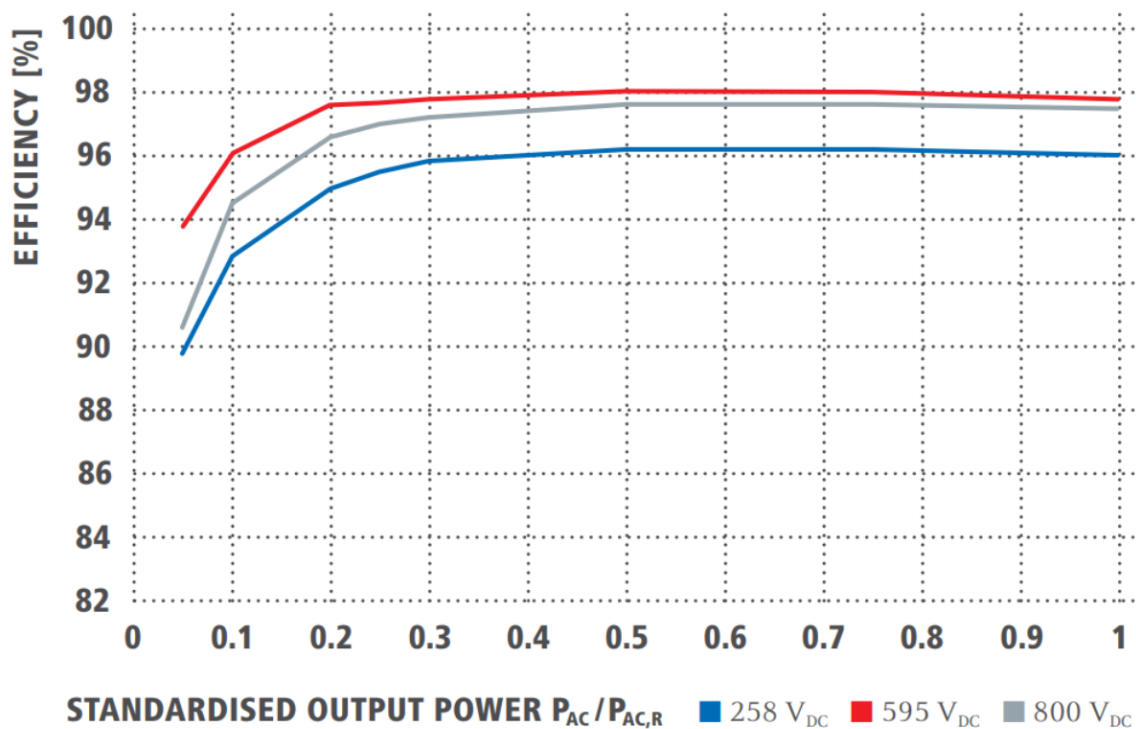
Etter å ha tvunget solcellemodulen til å fungere på MPP, kan omgivelsesforholdene, som irradians eller temperatur endre seg, noe som vil føre til at IV / PV-kurven endrer seg. Den tidligere MPP er da ikke lenger gyldig under disse forholdene. For å være på MPP til enhver tid, må man spore eventuelle endringer i IV-kurven, og finne ut ny MPP. Denne prosessen kalles maksimalt effektpunkt sporing eller MPPT, og enheten som utfører denne prosessen kalles MPP-tracker.

(MPPT inkl. illustrasjoner: ET3034TUx-7.3-Maximum power point tracking – Arno Smets, EDX)

2.2.3 Dimensjonering

Moderne vekselrettere fungerer vanligvis på et høyt og ganske konstant effektivitetsnivå, men når solcellepanelene leverer mindre enn rundt 30% av en vekselretters kapasitet, påvirkes effektiviteten som vist i illustrasjonen under.

FRONIUS SYMO 8.2-3-M EFFICIENCY CURVE



Figur 21: Effektivitet vekselretter fra Fronius

Som man kan se, når paneler leverer mer enn 30% av kapasiteten til en vekselretter, er effekten ganske konstant. Men når inngangseffekten faller under dette, og spesielt når den faller under 15%, synker effektiviteten til en vekselretter. Når en solcellematrisens effekt er overdimensjonert i forhold til vekselretteren, vil den bruke mindre tid på å arbeide med lavere effektivitet i svakt sollys, noe som forbedrer den gjennomsnittlige effektiviteten. Dette vil kompensere for elektrisitet som går tapt de få gangene effekten til solcellematrisen overstiger omformerens kapasitet. (Brakels 2016)

Enklere forklart kan det å underdimensjonere vekselretteren i forhold til solcellepanelene kan være en fordel da en vekselretter ved lav produksjon har en lavere effektivitet. Det vil si at i de månedene med svært lav produksjon, vil en rett/overdimensjonert vekselretter ha større tap.

Ved underdimensjonering av vekselretter vil den ha større effektivitet ved lav solinnstråling, men den kan kunne kutte toppene av produksjonen de solfylte dagene anlegget klarer å levere maks effekt.

2.2.4 Anleggsovervåking

Et overvåkingssystem er en viktig del av solcelleanlegget, og vil bidra til mer bevissthet rundt anlegget sin ytelse. Den tilbyr blant annet informasjon om energiforbruk og produksjon, optimalisering av energibruk og skade på systemet. Det er viktig å overvåke installasjonen - uten overvåking kan det være vanskelig å finne ut om solcellepanelene fungerer optimalt.

Overvåkingssystemet opererer gjennom solsystemets vekselrettere. Selskaper som produserer solcelleveksettere har ofte en egen proprietær programvare for overvåking. Det bør i tillegg vurderes å integrere solcelleanlegget mot eventuelle SD-anlegg.

Når vekselretteren konverterer likestrøm til vekselstrøm, samles informasjon om effektnivåer og produksjon til sky baserte overvåkingssystemer og deres tilhørende apper. Man kan få tilgang til denne informasjonen på flere måter, inkludert via mobile apper og sammenkoblede smarte hjemmeenheter. Noen overvåkingssystemer tilbyr også overvåking på stedet, og sender informasjon

BACHELOROPPGAVE

fra omformerne direkte til en overvåkingsenhet plassert i bygget.

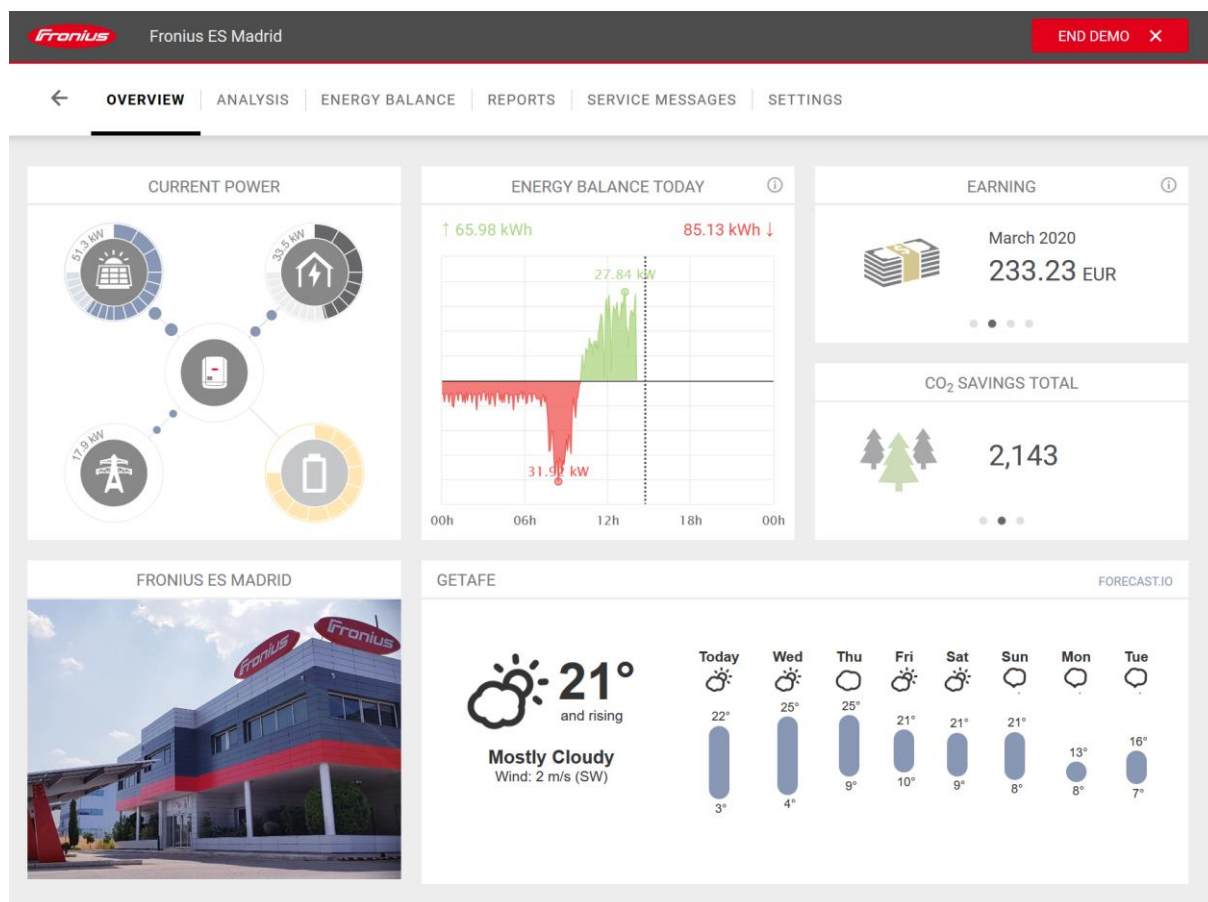
Bortsett fra å vise energiforbruk og produksjonsdata, tilbyr overvåkningssystemer mange verktøy for å hjelpe til med å forstå solenergioppsettet. Overvåkingsprogramvare kan ofte hjelpe med å oppdage problemer og feil med paneler, og kan anbefale reparasjoner av anlegget. Man kan ofte også spore historiske data fra systemet. For eksempel tilbyr overvåkningssystemer data om historisk værbasert ytelse, slik at man kan få informasjon om hvordan været har påvirket strømproduksjonen i det siste, og hva man kan forvente i fremtiden.

2.2.4.1 Overvåkningssystem - Fronius datamanager

Etter å ha undersøkt forskjellige vekselrettere, har Fronius skilt seg ut som et godt alternativ sammenlignet med andre merker. Alle de installerte vekselrettere kan kobles sammen i en kommunikasjonsloop med en Ethernetkabel. Man vil da ha en mastervekselretter og flere slavevekselrettere som kommuniserer sammen med hverandre.

Overvåkningssystemet til Fronius gjøres tilgjengelig via Fronius Datamanager, som er kommunikasjonscenteret for Fronius-omformere i alle typer applikasjoner. Fronius Datamanager overfører solcellesystemverdiene direkte til Fronius Solar.web onlineportal. Dette gir en oversikt over hvordan systemet til enhver tid fungerer.

Fronius Datamanager gjør det mulig for vekselrettere å bli koblet direkte til internett via WLAN. Videre kan optimal systemovervåking og konfigurasjon av Datamanager gjennomføres via det dedikerte nettstedet på Fronius Datamanagers integrerte webserver. De integrerte Modbus RTU SunSpec, Modbus TCP SunSpec og Fronius Solar API-grensesnitt lar Fronius-omformere sømløst kobles til tredjepartssystemer og kjøre parallelt med Fronius Solar.web. (Fronius, Fronius u.d.)



Figur 22: Skjerm bilde av overvåkning levert av Fronius

[Demo av Solar.web](#)

Med Fronius Solar.web online portal kan solcelleanlegg enkelt og praktisk overvåkes, analyseres og sammenlignes med hverandre. Portalen er veldig brukervennlig, og et omfattende utvalg av analysefunksjoner er inkludert. Det er to versjoner av Fronius Solar.web å velge mellom: Fronius Solar.web eller Fronius Solar.web Premium. Fronius Solar.web er et gratis verktøy som gir en oversikt over alle nåværende og arkivdata for ditt solcelleanlegg. For å registrere mer detaljerte systemdata over en lengre periode, inneholder Fronius Solar.web Premium flere tilleggsfunksjoner. Ved å bruke den kostnadsfrie Fronius Solar.TV onlineportal kan disse PV-systemverdiene overføres til en standard kommersiell skjerm og effektivt presentert i offentlige rom. (Fronius, Fronius.web u.d.)

2.2.5 Øydrift

Ved strømbrydd i nettet vil en on-grid-installasjon fortsette å produsere strøm og levere det inn på nettet, såkalt «Øydrift». Det er derfor et sikkerhetskrav fra brannvesen og nettleverandører at utkobling av anlegget skal skje automatisk ved strømbrydd.

Grunnen til at det må være slik, handler om sikkerheten til de som skal jobbe i strømnettet ved strømbrydd. I tillegg kan gjeninnkobling av nettet, dersom øyen har vært i drift en stund, bli mer komplisert, spesielt for automatisk gjeninnkobling. Det kan igjen føre til skader på utstyr og minske påliteligheten til nettet.

I det tilfelle hvor strømforsyningen fra hovednettet faller ut, er det vekselretteren innebygde bryter sin oppgave å skille solcelleanlegget fra nettet for å unngå «Øydrift».

Det er likevel mulig å drifte eget anlegg hvis man har utstyr som automatisk kobler fra tilkoblingen til distribusjonsnettet, men det finnes foreløpig få løsninger på dette.

2.3 Lover og forskrifter

Det er viktig at de som prosjekterer og installerer solcelleanlegg følger gjeldende normer og regler, og bruker anerkjente komponenter og riktig verktøy – dette er den beste formen for forebygging av brann.

Gjeldende forskrifter og normer pr. 01.03.2020.

- NEK 400:2018
- FEL - Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg.
- FEU - Forskrift om elektrisk utstyr.
- ASTM E2908:12(2018)
- NS 3420
- EN 62109- 1&2
- EN 1991-1-3:2003+NA:2008
- EN1991-1-4:2005+NA:2009

2.3.1 NEK 400:2018

De spesielle kravene i NEK400-7-712 gjelder for den elektriske installasjonen av solcellesystemer som er ment å forsyne hele eller deler av en installasjon.

Hensikten med kravene i NEK400-7-712 er å ta hensyn til konstruksjonssikkerhet som skyldes de spesielle egenskapene til solcelleinstallasjoner. DC-systemer, og spesielt solcellematriser, innehar faremomenter i tillegg til de som finnes for konvensjonelle AC-installasjoner, inkludert evnen til å produsere og tåle elektriske lysbuer med strømmer som ikke er større enn normale driftsstrømmer.

Normen beskriver blant annet følgende temaer:

- Krav til merking av at anlegget er forsynt fra solceller, og merking av at tilgjengelige spenningsførende deler på DC-siden kan være spenningsførende også etter frakobling.
- Krav til plassering av solcelleomformerer. Solcelleomformerer skal så langt det er mulig, plasseres utvendig for å forhindre DC-kabler inn i vegger/bygget.
- Krav til frakoblingsutstyr og automatisk utkobling ved bortfall av AC-spenning (nettspenning).

I tillegg beskriver normen punkter med hensyn på brann sikkerhet for solcelleinstallasjoner. Disse er utarbeidet i samarbeid med brannvesenet og omhandler:

- Avstengingsbryter for DC-kabling som føres inn i bygget.
- Avstand mellom solcellemoduler over brannskiller som stikker opp over tak.
- Solcellemodulers avstand til dører og vinduer som skal benyttes til rømning.
- Sikkerhetsmerking av solcelleinstallasjoner i bygg.
- Avstander for tilkomst og slokkeinnsats.

2.3.2 FEL – Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

Forskriftens formål er å oppnå forsvarlig elsikkerhet ved prosjektering, utførelse, endringer og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg og ved bruk av elektrisk utstyr tilkoblet slike anlegg. Forskriftene gjelder for prosjektering, utførelse, endring og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg, herunder

BACHELOROPPGAVE

lavspenningsanlegg for hoved-, reserve- og nødstrømsforsyning. Forskriften gjelder også for bruk av elektrisk utstyr, inkludert høyspenningsutstyr, tilkoblet lavspenningsanlegg. (Nelfo - FEL 2020)

2.3.3 FEU – Forskrift om elektrisk utstyr

FEU stiller krav til produsenter av utstyr som skal omsette elektriske produkter i Norge. Produsenten er pålagt å kunne fremlegge dokumentasjon og samsvarserklæring for sine produkter.

Forskriften gjelder for elektrisk utstyr som produseres, importeres, markedsføres eller brukes i Norge. Utstyr som produseres i Norge eller importeres fra land utenfor EØS er også omfattet av forskriften.

FEU gir en viss frihet med tanke på valg av tekniske løsninger, men de funksjonelle kravene til sikkerhet skal oppfylles. Det er den som produserer og/eller markedsfører samt installerer som er ansvarlig for at utstyret oppfyller kravene i henhold til FEU. Utstyr skal merkes i henhold til FEU, CE-merke. (Nelfo - FEU 2020)

2.3.4 Andre

ASTM E2908:12(2018)

- Standard Guide for Fire Prevention for Photovoltaic Panels, Modules, and Systems.

NS 3420

- Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner

EN 62109- 1&2

- Safety of power converters for use in photovoltaic power systems

EN 1991-1-3:2003+NA:2008

- Laster på konstruksjoner : Allmenne laster - Snølaster

EN 1991-1-4:2005+NA:2009.

- Laster på konstruksjoner: Allmenne laster - Vindlaster

2.4 Standarder

Solcellepaneler:

Vekselretter:

IEC 62103, EN 50178

2.5 Programvare

For å utføre prosjekteringen, må gruppen benytte seg av flere programvarer. Gruppen har, etter anbefaling og ved hjelp av flere kilder, kommet frem til at følgende programvare er nødvendig for å gjennomføre oppgaven: PVsyst, Van Der Valk Solar Systems, Revit og Solibri.

2.5.1 PVsyst

PVsyst er en simuleringsprogramvare for å studere, prosjektere og analysere data til komplette PV system.

Programmet er designet for å behandle blant annet on-grid, off-grid og DC-grid solcellesystem. Programvaren inkluderer omfattende databaser av meteo, og solcellesystemkomponenter, i tillegg til generelle sol-energi verktøy.

Programmet er tilpasset behovene for arkitekter, ingeniører og forskere. Det er også veldig nyttig for opplæring i studiesammenheng. (PVsyst 2020)

Hensikten med programmet er å utføre et nøyaktig design av et solcellesystem. Et designet system kan simuleres i forskjellige varianter, og resultater fra simuleringen samles i en rapport som gir prosjekteringsinformasjon om utsyr, materiell, årsproduksjon, tapsfaktorer m.m.

Årsproduksjonen til systemet vil kun være en god indikasjon på forventet produksjon. Det er dette resultatet som blir lagt til grunn for videre energiberegninger i bygg.

2.5.2 Van Der Valk Solar Systems

Van Der Valk Solar Systems har utviklet et program som heter VanDerValkPlanner. I denne programvaren kan man beregne ballast til solceller som skal plasseres på taket. Her legger man inn informasjon om lokasjon og bygning for anlegget, og kan deretter fjerne og legge til flere solcellepanel for at kravene skal opprettholdes. Til slutt vil man få ut en rapport som beskriver antall

BACHELOROPPGAVE

ballastfliser og hvor tunge disse må være for at anlegget skal tåle værforholdene.

2.5.3 Revit

Revit er programvare for BIM og brukes av alt fra arkitekter til ulike ingeniører. I nye prosjekt blir det mer og mer aktuelt med 3D tegninger av alt fra bygning, innredning, rør, ventilasjon, himling og elektro. Her kan man under prosjekteringen gå inn å se om det blir kollisjoner og ulike utfordringer som kan oppstå før man begynner arbeidet.

2.5.4 Solibri

Solibri er et verktøy for å få en samlet modell av alle aktører som deltar i et prosjekt. Her kan alle legge inn sine tegninger og man kan derfor uavhengig av hvilken BIM-programvare man har benyttet sjekke for blant annet kollisjoner. Man får ikke gjort noe med modellen i Solibri, men det er et nyttig verktøy for å gi en god oversikt over bygget.

2.6 Bærekraft

Ettersom solenergi er en fornybar energikilde, er bærekraft et veldig viktig fokus for både produsent, prosjekterende og kunde.

2.6.1 Livsløpsanalyse

Her er livsløpet til et solcellepanel og det miljømessige regnskapet, fra produksjon til endt levetid, undersøkt.

2.6.1.1 Under produksjon

Solceller inneholder silisium. Silisium er det nest mest vanlige grunnstoffet i jordskorpen og er ikke helse- og miljøfarlig.

Solceller av silisium er energikrevende å fremstille, og mange leverandører påstår at det normalt tar mindre enn to år før solcellene har produsert like mye energi som de trengte i produksjonen, avhengig av anleggsytelse og produksjonssted av solceller.

En annen faktor å tenke på, er klimagassutslipp. Hvor lang tid tar det før solcellepanelene har spart like mye CO₂ som det tilførte ved å produsere de?

Det er per i dag ikke noen standardisert metode for beregning av CO₂-utslipp fra produksjon av solcellepaneler. Dette er et mye debattert tema for tiden, og det er mye arbeid på gang med å standardisere utregningene, slik at man kan få på plass en EPD (Environmental Product Declaration) for solcellepaneler slik at det ikke er opp til produsentene selv å definere sine utslipp.

2.6.1.2 I drift

Solceller slipper ikke ut CO₂ i løpet av driftsårene. Et solcelleanlegg produserer gjerne strøm i minst 30 år, og har en garantitid på minst 25 år. Etter at CO₂en fra produksjonen er "betalt tilbake" vil man da ha helt fornybar energi.

Det kan forekomme indirekte utslipp knyttet til vedlikehold/transport/montering dersom anlegget tar skade og må repareres/byttes ut. Det er i så måte en fordel å gå for et litt dyrere høykvalitets panel som kan tåle mer påkjenning.

Vekselrettere har en lavere levetid enn solcellepanelene, og man må regne å bytte ut denne komponenten 1-2 ganger i løpet av panelenes levetid. Her vil det blant annet oppstå noe utslipp i forbindelse med utskifting og resirkulering av avfall.

2.6.1.3 Ved endt levetid

Solcellepanel er 100% resirkulerbare. Flere av de største solcelleprodusenter er medlemmer av organisasjoner som PV Cycle, som jobber for å resirkulere solcellepaneler.

Det vil si at når et solcelleanlegg har nådd sin levetid, kan man enkelt levere hele anlegget til et godkjent avfallshåndteringsprogram for resirkulering.

2.6.2 Miljøvennlige produsenter

Det finnes flere sertifiseringer som gir incentiver til å være miljøbevist i alle ledd, en av disse sertifiseringsprogrammene er Cradle to Cradle Certified™.

Cradle to Cradle certification er et globalt anerkjent mål på sikrere, mer bærekraftige produkter laget for sirkulær økonomi.

For å motta sertifisering vurderes produkter for miljømessig og sosial ytelse på tvers av fem kritiske bærekraftskategorier: materiell helse, gjenbruk av

BACHELOROPPGAVE

materiale, fornybar energi og karbonstyring, forvaltning av vann og sosial rettferdighet. (C2C u.d.)

Sunpower er det første solcelleselskapet som har fått denne annerkjennelsen for sitt arbeid for å oppnå en miljøvennlig profil. (Sunpower u.d.)

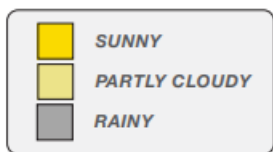
De siste årene har det dukket opp stadig flere grundige vurderinger av solcelleproduksjonens miljømessige og sosiale sider.

Solar Scorecard fra Silicon Valley Toxics Coalition gir selskapene poeng etter hvordan de gjør det på ulike områder av det som kan kalles «samfunnsansvar». Resirkulering, lokal forurensing, klimautslipp, bruk av konfliktmineraler og forholdene for arbeiderne er noe av det som blir vurdert og ratet.

Det er en ressurs for forbrukere, institusjonelle kjøpere, investorer, installatører og alle som ønsker å kjøpe solcellemoduler fra ansvarlige produsenter.

Vurderingen avslører hvordan selskaper presterer etter SVTCs standarder for bærekraft og sosial rettferdighet for å sikre at solcelleprodusentene beskytter arbeidere, lokalsamfunn og miljø. (Teknisk Ukeblad 2016)

2018-19 SOLAR SCORECARD



Company	Maximum Score	15	15	15	15	10*	10	10	10	100	
2018-19 Leaders	Jinko	15	15	13	15	12	10	10	10	100	
	Trina	15	14	13	15	12	10	10	10	99	
	SunPower	15	15	13	13	11	10	7	10	94	
	JA Solar	14	11	13	15	9	10	10	10	92	
	Hanwha Q CELLS	10	13	13	15	12	10	7	10	90	
	CS Wismar	10	13	15	10	9	10	9	8	84	
	LG	12	11	13	15	12	10	10	1	84	
	WINAICO	8	13	13	15	8	10	7	10	84	
	Silfab	13	7	13	15	10	10	9	0	77	
	AUO	11	13	13	15	8	10	6	0	76	
Above Average	Boviet Solar	8	9	11	10	8	1	9	10	66	
	Talesun	10	5	13	13	12	2	7	0	62	
	First Solar	10	8	9	5	6	7	0	10	55	
	Astronergy	8	5	13	5	12	2	8	0	53	
	GCLSI	11	3	15	8	6	1	5	0	49	
	SolarWorld	2	5	12	4	9	2	7	0	41	
Below Average	Aleo	5	0	0	0	0	0	0	0	5	
	Avancis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	BYD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Calyxo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	China Sunergy-Csun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ET Solar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gintech	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Hanergy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Hareon Solar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Hyundai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kyocera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Longi Solar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Mitsubishi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Motech	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Panasonic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Renesola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Risen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Solar Frontier	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Suntech	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Yingli	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

*Solar companies can earn up to 2 extra credit points in the Energy Use & Greenhouse Gas Emission Section

Figur 23: Oversikt over produsenter og miljø (Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC) 2019)

3 METODE

3.1 Kunnskapsutvikling

3.1.1 Nelfo kurs

For å skaffe hos kunnskap til solcelleanlegg, forespurte gruppen NTNU om vi kunne ta et nettkurs som Nelfo tilbød om innføring i solcellekraft. Dette kurset skulle fortelle litt om historien til solceller, definisjoner, uttrykk, forskjellen på on- og off-grid, plusskunde og normkrav.

Gruppen synes det var en fin innføring og en god start når man har lite kunnskap om solcelleanlegg fra tidligere, men skulle ønske at kurset var større og inneholdt mer enn hva det gjorde.

3.1.2 Ekskursjon Klar Energy – Hareid Group

Under oppstarten av bacheloroppgaven valgte gruppen å dra på besøk til Klar Energy som arbeider med prosjektering av solcelleanlegg og holder til på Hareid. Gruppen ønsket tidlig å få se et anlegg i praksis for å høre om anlegget og hvordan det er bygd opp. På taket har de et anlegg som kan produsere 281,8 kWp, hvor panelene er plassert øst-vest på grunn av værforhold. Vi fikk i tillegg se hvordan solcellene er koblet til nettet med vekselrettere og hvordan overvåkingen av anlegg fungerer med en PowerDog.

Gruppen ble fortalt om generell prosjektering av solcelleanlegg, og da spesielt gjort oppmerksom med problemstillingen til vind. Vind er særlig viktig fordi det vil være den kraften panelene blir mest utsatt for. Grunnen til dette er at panelene ikke skal skrues ned i taket på grunn av fare for lekkasje, i stedet blir dette holdt nede med vekter ofte i form av fliser eller sandsekker. Vekten på disse elementene må derfor beregnes spesielt i forhold til vind. Et annet moment er også orienteringen av panelene. Legges disse mot sør, som er den mest optimale retningen, ville man produsert mer, men panelene ville vært mer utsatt for vær og vind, samt at du får plass til færre panel.

Gruppen fikk en veldig god innføring i solcelleanlegg under besøket og hvordan dette er bygd opp.



Figur 24: Solcelleanlegget på Klar Energy i Hareid



Figur 25: Rommet med vekselrettere Klar Energy i Hareid

Figur 26: Platinum vekselretter

3.2 Data

I rapporten er det benyttet data fra tegninger etter samspillsfase levert av Norconsult, disse tegningene ligger vedlagt. Her har gruppen motatt en sammensatt modell av hele bygget som en solibri fil. I tillegg har vi motatt .ifc som gruppen har importert til Revit 2020 for å tegne inn installasjonen. Ved hjelp av disse filene er dimensjonene til bygget målt opp for at beregningene skal være så riktige som mulig.

Tabell 2: Byggets dimensjoner

Byggets dimensjoner		
Tak		
Lengde	50m	

BACHELOROPPGAVE

<i>Bredde</i>	<i>9,5m</i>	
Areal	457m ²	
Hindringer	12m ²	
Areal til sikkerhetssoner	185m ²	
Tilgjengelig areal	260m ²	
Vegg		
<i>Høyde</i>	<i>7m</i>	
<i>Bredde</i>	<i>15,7m</i>	
Areal	110m ²	
Hindringer	0m ²	
Tilgjengelig areal	110m ²	

I tillegg til tegninger har vi motatt en rapport (SiT Ålesund Kap 16.8 ZEB) fra oppdragsgiver med kriterier for at bygget skal oppnå ZEB-0 kravene. Denne rapporten ligger i sin helhet som til oppgaven.

Til slutt har gruppen hentet ut opplysninger om solforhold ved hjelp av en automatisk generert rapport gjennom Suncurves hvor man får oppgitt horisontlinjen sett fra bygget.

Usikkerheten i de tilsendte rapporter og tegninger vektlegges ikke, da dette er utarbeidet og kvalitetssjekket av arkitekter, Norconsult, SiT og Multiconsult. Når det gjelder rapporten fra Suncurves og Van der Valk, kan det være noe mer usikkerhet da disse er automatisk generert og ikke kvalitetssjekket.

3.3 Størrelse på anlegget

For å finne størrelsen på solcelleanlegget, må vi først finne forbruket til bygget. Dette gjøres ved å starte med forbruket fra det tekniske utstyret i bygget og sette en konstant for kWh/m². Vi går ut ifra faktorer vi har fått oversendt fra oppdragsgiver for å oppnå ZEB og får som vist i tabell under.

BACHELOROPPGAVE

Energibudsjett			
Energipost		Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		13886 kWh	6,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		2523 kWh	1,1 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		53247 kWh	23,3 kWh/m ²
3a Vifter		12058 kWh	5,3 kWh/m ²
3b Pumper		884 kWh	0,4 kWh/m ²
4 Belysning		20145 kWh	8,8 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		30987 kWh	13,6 kWh/m ²
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		133730 kWh	58,5 kWh/m ²

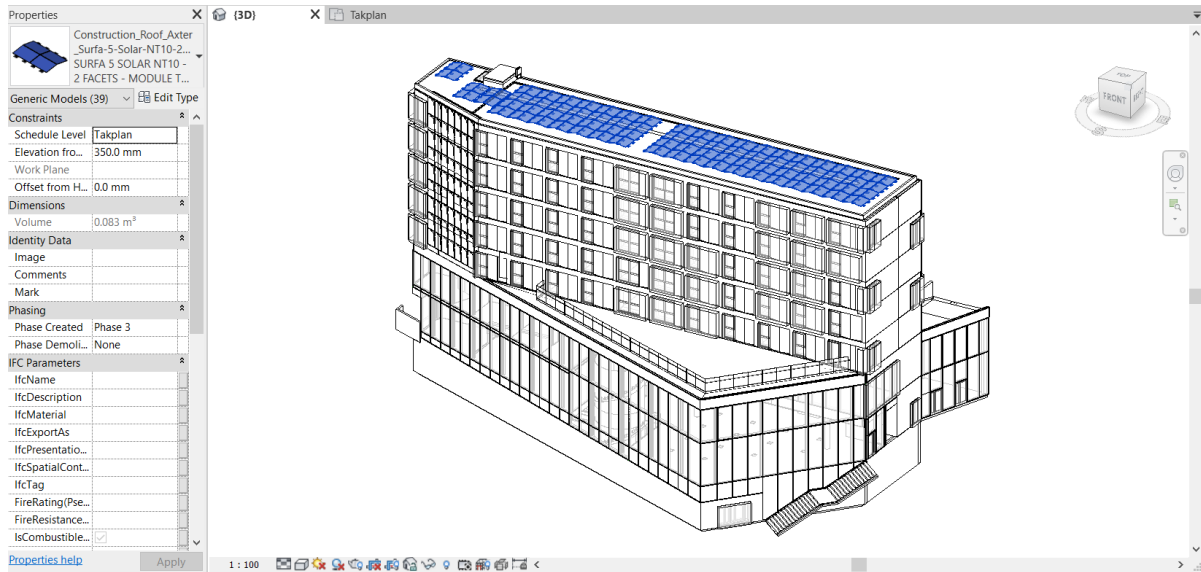
Figur 27: Energibudsjett, hentet fra dokument 10214237 SiT Ålesund Kap 16.8 ZEB

I ZEB rapporten blir det beskrevet en løsning som innebærer en varmepumpe i tillegg til solcelleanlegg. Med denne beregningen viser de at energisystemet oppfyller kravene for ZEB ved å installere et solcelleanlegg med produksjon over 50 500 kWh/år. Gruppen velger derfor å gå ut ifra at dette vil være minimumsproduksjonen for anlegget. Når det gjelder maksimumsproduksjon er ikke tilgjengelig tak- og fasadeareal stort nok for å kunne drifte hele bygget kun på solcellepanel. Maksimumsproduksjonen blir derfor så mye det er mulig å produsere på tilgjengelig areal.

Etter gruppens beregninger, kom man frem til en lavere produksjon for solcelleanlegg kun på tak enn hva leverandøren til Multiconsult oppgir er mulig. For å øke produksjonen er man derfor i tillegg nødt til å bruke ledig veggareal som er orientert sør-vest til solcellepanel for å oppnå ZEB-0 kravet. Dette fører til at kombinert tak og vegg vil gi en produksjon på opptil 51000 kWh/år, noe som oppfyller kravene til å bli ZEB.

Ut ifra tegninger som gruppen har fått fra oppdragsgiver, har vi funnet tilgjengelig tak- og fasadeareal. Her har gruppen funnet ut hvor mange panel det er plass til med tanke på hindringer, skygge og krav.

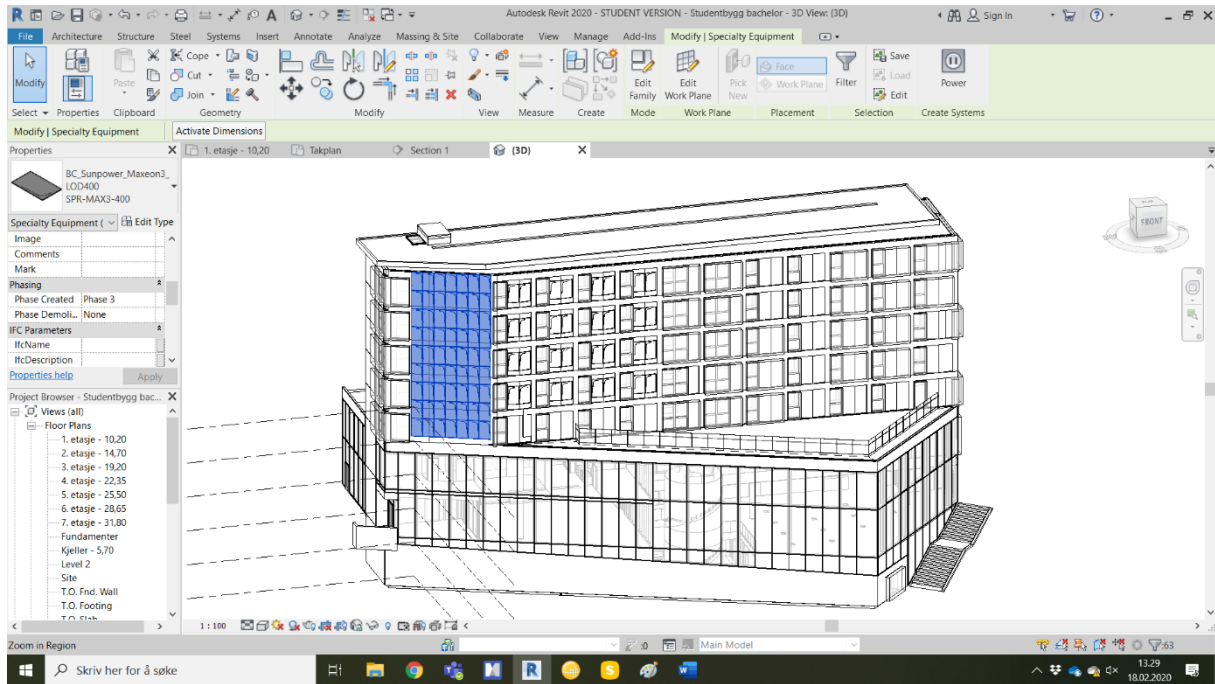
BACHELOROPPGAVE



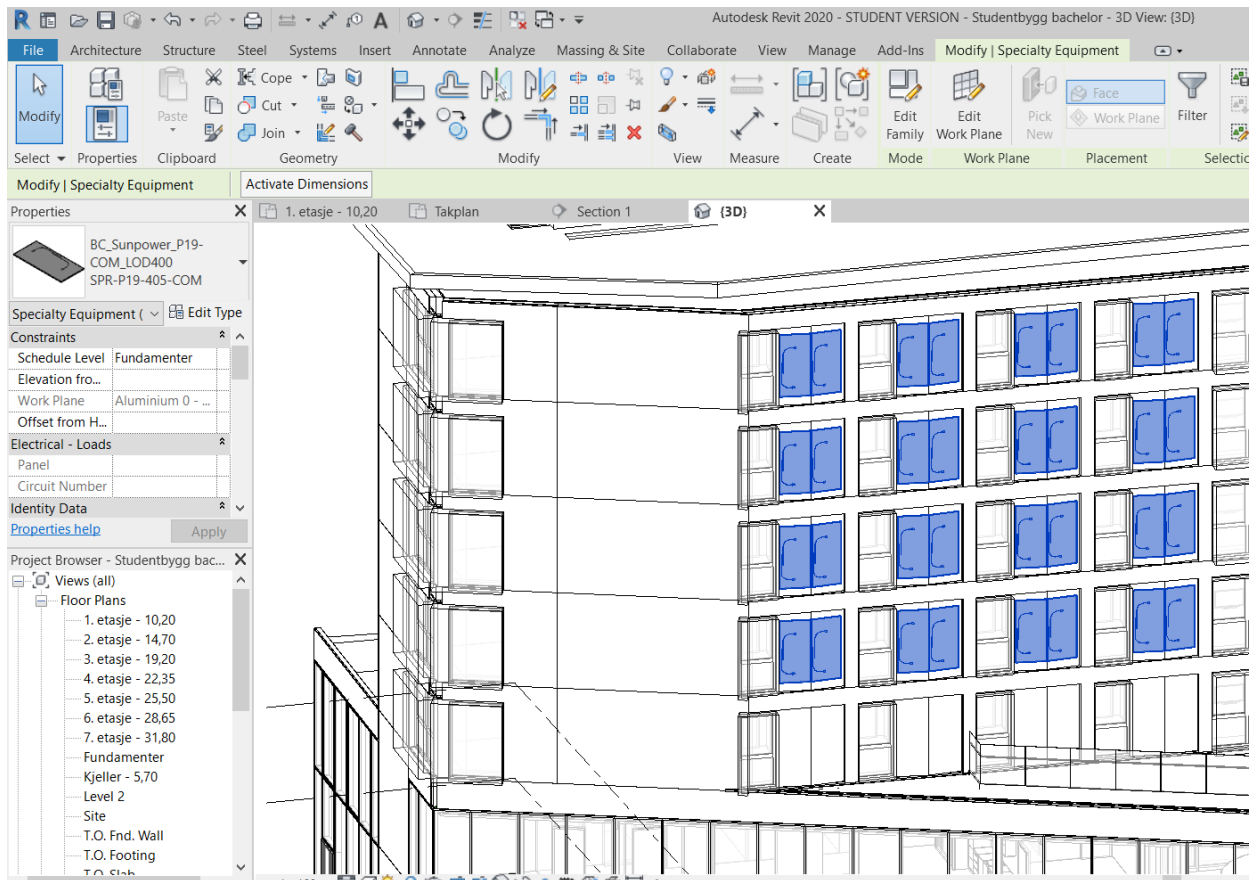
Figur 28: Skjerm bilde av tilgjengelig takareal for plassering av solcellepanel

På det aktuelle studentbygget er det et flatt tak som man kan se på figuren over. Dette er godt egnet til solcellepanel, og det er bestemt at alt tilgjengelig takareal skal utnyttes til solcellepanel. Taket har flere skyggeobjekt som man må ta hensyn til under prosjektering og plassering av panel. For det første har vi toppen på heissjakten, den har en høyde over taket på cirka 80 cm som vil skape et skyggeområde øst for sjakten. For det andre har vi et takvindu som er vest for heissjakt. En tredje hindring, er noen luftepiper med ukjent høyde. Til slutt er det tegnet inn ventilasjonsrør med høyde cirka 40 cm midt på bygget i retning nord. Alt dette må tas hensyn til under plassering og beregning av antall panel. Panelene vil plasseres med retning øst-vest da dette gir best plassutnytting, lavere vindlast og jevnere produksjon gjennom dagen.

Gruppen har tatt høyde for at plasseringen av panelene må justeres under montering for å unngå hindringene som er beskrevet. Dette fordi det enda er uklart om høyden på lufterventilene og om det kan plasseres under panelet. Til slutt har vi tatt hensyn til NEK400-7-712 med tanke på krav ved eventuell brann og andre normer som har med solcelleanlegg å gjøre.



Figur 29: Alt. 1. Tilgjengelig veggareal.



Figur 30: Alt. 2. Tilgjengelig veggareal

BACHELOROPPGAVE

Under dette prosjektet er det to vegger som egner seg da disse er mot sør som er vist i figurene over. Alternativene som er vist er enten på veggen ved siden av hybelvinduene, eller på den ledige veggen som ligger 22 grader mot vest sett fra sør. En kombinasjon av disse er ikke aktuelt på grunn av dyr investeringskostnad for solcellepanel per kWh produsert på vegg.

3.4 Programvare

3.4.1 Van Der Valk Solar Systems

Under følger en fremgangsmetode for å få ut et resultat i form av en rapport fra Van Der Valk Planner.

3.4.1.1 Opplysninger om anlegget

For å få opplysninger om bygget solcelleanlegget skal plasseres, skriver man inn adresse i programmet og dermed få størrelse tak og hvor mye det er plass til. Hvis ikke bygget er oppført enda, må man lage dette selv ved å tegne inn formen på taket med dimensjoner LxBxH.

Et viktig moment i Van Der Valk, er at det må velges en terrengkategori for området. Denne klassen bestemmes av området rundt installasjonen. Faktorer som påvirker hvilken klasse det befinner seg i, er om det er eksponert for åpent hav, mye vegetasjon i nærheten, med mer. Terrengkategoriene er delt opp som følgende:

Terrengkategori		Z ₀ m	Z _{min} m
0	Kyststrøk som er eksponert for åpent hav	0,003	1
I	Innsjøer eller flatt og horisontalt område med lite vegetasjon og uten hindringer	0,01	1
II	Område med lav vegetasjon som gress og spredte hindringer (trær, bygninger) med avstand minst 20 ganger deres høyde	0,05	2
III	Område med vegetasjon eller bygninger eller med spredte hindringer med avstand minst 20 ganger deres høyde (landsbyer, forstadstereng, permanent skog)	0,3	5
IV	Område der minst 15 % av overflaten er dekket av bygninger, og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m	1,0	10
MERKNAD Terrengkategoriene er illustrert i A.1.			

Figur 31: Terrengkategori hentet fra Norsk Standard

BACHELOROPPGAVE

Ved hjelp av denne tabellen, finner gruppen klasse I som den som forklarer området rundt campus Ålesund best. Etter dette velger man hvilket panel man ønsker, leverandør størrelse og så videre. Til slutt velges det om det er flatt eller skrått tak, taktype og om panelene skal ligge sør eller øst-vest.

3.4.1.2 Kalkulering

Etter at alle opplysninger ligger inne, kan man begynne å få ut antall panel. Her kan man fjerne panel der det vil være hindringer eller noe på taket som vil legge skygge over panelene. I tillegg må du legge inn ønsket kantlinje rundt panelene, denne blir regnet ut ved hjelp av programmet, men kan korrigeres hvis man ønsker mindre kantlinje. Hvis man korrigerer denne er det viktig å beskrive hvorfor og beregne at det faktisk er mulig.

3.4.2 PVsyst

Her følger en beskrivelse av fremgangsmetoden for prosjektering av Grid-connected solcelleanlegg i PVsyst.

3.4.2.1 Sitefile

Når man starter med et prosjekt, er man nødt til å definere installasjonsstedet. Lengde og breddegrad samt høyde over havet brukes til å kalkulere solens posisjon hver time gjennom året.

BACHELOROPPGAVE

Geographical site parameters

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Project location

[Show map](#)

Location

Site name:

Country: Region:

[Get from coordinates](#)

Geographical Coordinates

[Sun paths](#)

Latitude: [°] (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: [°] (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: M above sea level

Time zone: Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h 35m

Meteo data Import

Meteornorm 7.2

NASA-SSE

PVGIS TMY

NREL / NSRDB TMY

[Import](#)

Tabular I/O (Excel)

[Import](#)

Figur 32: Skjermbilde fra PVsyst - Prosjektdata

3.4.2.2 Meteo

Meteorologisk data er nødvendig for utregning av årsproduksjonen til et solcelleanlegg. Det er startpunktet for evalueringen av et prosjekt, og er hovedårsaken til usikkerhet tilknyttet effektproduksjon.

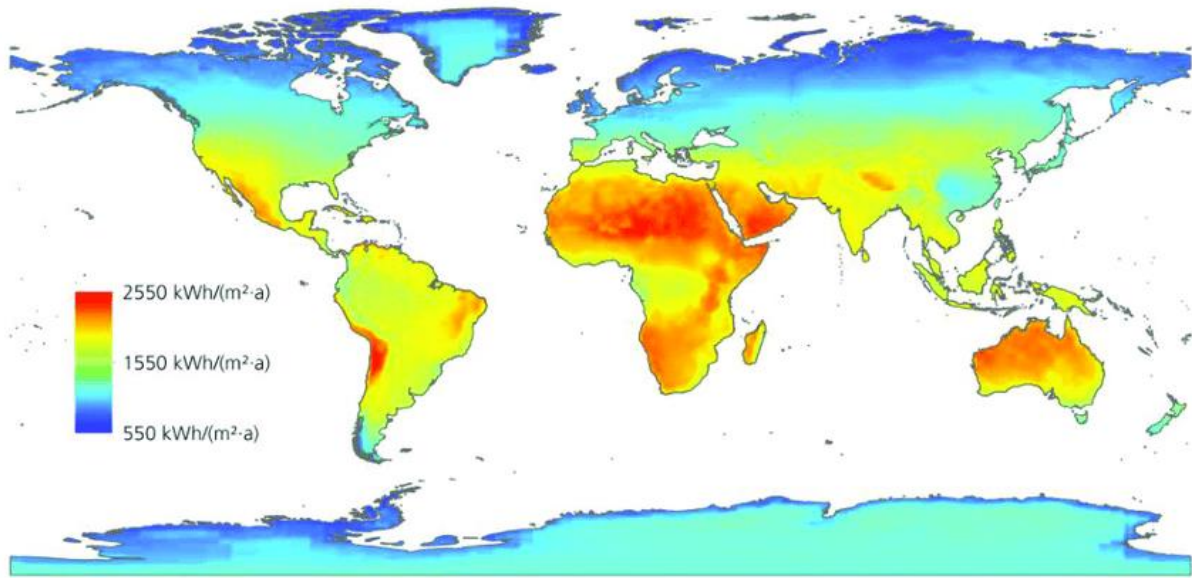
Meteorologisk data inneholder informasjon om været på det aktuelle stedet, hentet fra satellittdata over en gitt tidsperiode. Informasjonen består blant annet av strålingsinformasjon (irradians) fra solen og temperatur. Solens stråling regnes som effekt per arealenhet (watt per kvadratmeter, W/m^2) mottatt fra solen i form av elektromagnetisk stråling.

Man måler forskjellige typer radians, og når det kommer til solcelleanlegg er det disse to som er aktuelle:

Global Horizontal Irradiation (GHI) er den totale irradians fra solen på en horisontal flate på jorden. Det er summen av direkte irradians etter at det er gjort rede for solens zenith vinkel z og Diffuse Horizontal Irradiance.

Diffuse Horizontal Irradiance (DHI) er strålingen på jordens overflate fra lys spredt av atmosfæren. Den er målt på en horisontal flate med stråling som kommer fra alle retninger i himmelen, unntatt omløpende stråling (stråling som kommer fra solskiven). (Wikipedia)

Disse strålingene varierer naturligvis med lokasjonen. Ved ekvator er strålingen mye kraftigere enn ved langt nord. I Oslo-området er GHI på ca. 905 kWh/m², mens i Ålesunds-området er den på ca. 740 kWh/m², en forskjell på 22%.



Figur 33: Gjennomsnittlig årlig Global Horizontal Radiation (basert på NASA SSE datasett).

Den meteorologiske dataen kan komme fra flere forskjellige kilder. PVsyst har innebygd 2 forskjellige databaser, Meteonorm 7.2 og NASA-SSE.

Meteonorm 7.2

- Databasen inneholder mer enn 8 000 værstasjoner, 5 geostasjonære satellitter og en globalt kalibrert aerosolklimatologi.

NASA-SSE

- Arkiv med over 200 statellittedede meteorologi- og solenergiparametre. Gjennomsnitt fra 1983-2005.

I tillegg kan man importere data fra andre kilder.

Man må være påpasselig med hvilken database som skal legges til grunn for beregningene. De aller fleste seriøse aktører bruker Meteonorm 7.2.

BACHELOROPPGAVE

NASA-SSE er fine for cirka verdier, men unøyaktigheten er ikke til å stole på i profesjonell sammenheng.

PVsyst skiller så mellom to typer meteorologisk data:

Månedlig meteo data brukes til å skape timedata.

Månedlig meteofil inneholder:

- plassnavn, land og verdensregion
- geografiske koordinater: Latitude, longitude, altitude og tidssone
- månedlig Global Horizontal Irradiation (GHI eller GlobHor)
- månedlig gjennomsnitt omgivelsestemperatur

Filen kan også inneholde valgfri data:

- månedlig Diffuse Horizontal Irradiation (DiffHor)
- månedlig gjennomsnittlig vind hastighet

Site Nørvasundet (Norway)						
Data source	Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=26%					
	Horizontal global irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke Turbidity	Relative Humidity
	kWh/m ² .mth	kWh/m ² .mth	°C	m/s	[-]	%
January	3.9	3.1	3.7	6.20	2.558	75.0
February	15.6	11.4	2.9	5.50	3.415	76.7
March	47.3	31.6	3.8	5.10	2.715	67.7
April	90.6	48.7	6.7	4.60	3.083	70.6
May	134.9	72.7	9.6	4.39	3.012	69.9
June	136.2	72.7	11.9	4.39	2.791	74.3
July	127.6	80.6	14.6	4.00	2.866	75.3
August	95.7	59.9	14.6	3.89	2.866	78.9
September	55.0	36.3	12.2	4.89	2.715	76.1
October	24.6	15.4	8.9	4.80	2.558	74.7
November	6.4	4.8	6.0	5.50	2.637	74.0
December	2.0	1.7	4.0	5.59	2.000	74.8
Year	739.8	438.9	8.2	4.9	2.768	74.0
	<input type="button" value="Paste"/>	<input type="button" value="Paste"/>	<input type="button" value="Paste"/>	<input type="button" value="Paste"/>		
Horizontal global irradiation year-to-year variability 6.3%						

Figur 34: Skjerm bilde fra PVsyst – Månedlig meteo data

Time for time meteo data brukes til simuleringen av systemet.

Time for time meteo data inneholder timebaserte verdier av:

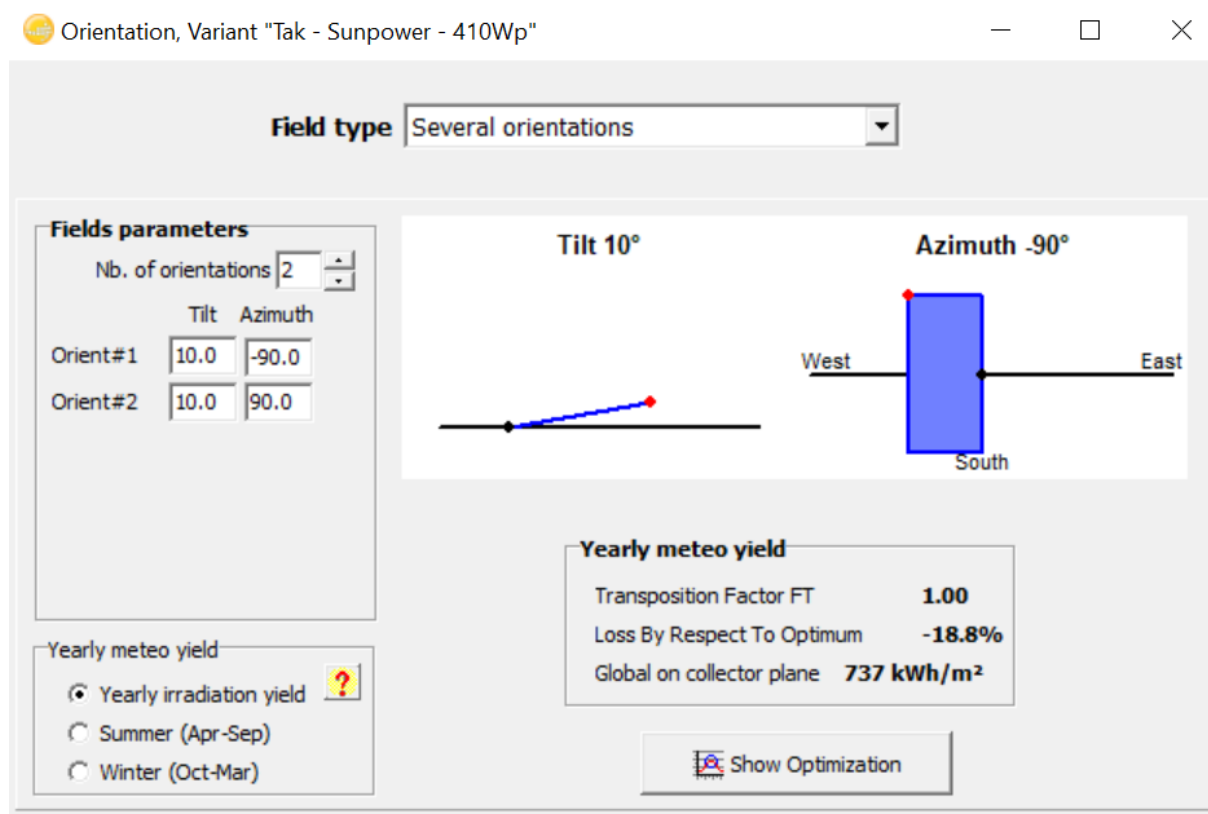
- global Horizontal Irradiation (GlobnHor eller GHI)
- diffuse Horizontal Irradiation (DiffHor)

BACHELOROPPGAVE

- omgivelsestemperaturer
- vindhastighet om tilgjengelig

3.4.2.3 Orientation

Orienteringen til panelene spiller naturligvis en viktig rolle. I programmet kan man legge inn de forskjellige orienteringene til panelene, og få en oversikt over optimal tilt og plan vinkel.



Figur 35: Skjerm bilde fra PVsyst – Orientering

3.4.2.4 System

Anleggets størrelse må deretter defineres. Her har man mulighet til å opprette flere delmatriser, og velge hvilke panel og vekselrettere man ønsker å bruke i systemet, og hvilken orientering disse skal ha.

PVsyst har kataloger over de fleste produsentene av både solcellepanel og vekselrettere.

Man har mulighet til å designe solcellematriser ved å velge hvor mange paneler som skal kobles i serie og parallell. PVsyst regner da automatisk ut spenning og

BACHELOROPPGAVE

strøm på den aktuelle matrisen, og sjekker den opp mot valgt inverter.

Overstiger strømmen eller spenningen i matrisen får man en beskjed om dette og videre simulering lar seg ikke gjennomføre.

The screenshot displays the 'Grid system definition, Variant "Tak - Sunpower MAX3-400Wp Øst-Vest"' window. It is divided into several sections:

- Global System configuration:** Shows 2 sub-arrays and a 'Simplified Schema' button.
- Global system summary:**

Nb. of modules	152	Nominal PV Power	60.8 kWp
Module area	269 m ²	Maximum PV Power	43.8 kWdc
Nb. of inverters	2	Nominal AC Power	40.0 kWac
- Sub-array #1 configuration:**
 - Name: Sub-array #1, Order: 1
 - Tilt: 10°, Azimuth: -90°
 - Presizing Help: No sizing selected, Enter planned power: 29.5 kWp, or available area(modules): 131 m²
- Select the PV module:**
 - Module: SunPower, 400 Wp 55V Si-mono SPR-MAX3-400-COM
 - Approx. needed modules: 74
 - Sizing voltages: Vmpp (60°C) 55.3 V, Voc (-10°C) 83.7 V
- Select the inverter:**
 - Model: Fronius International, 20 kW, 200 - 800 V, 50/60Hz, Symo 20.0-3-M
 - Operating Voltage: 200-800 V, Inverter power used: 20.0 kWac
 - Warning: inverter with 2 Unbalanced MPPT
- Design the array:**
 - Number of modules and strings: Mod. in series 10, Nbre strings 8
 - Operating conditions: Vmpp (60°C) 553 V, Vmpp (20°C) 652 V, Voc (-10°C) 837 V
 - Plane irradiance: 1000 W/m²
 - Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 29.2 kW
 - Array nom. Power (STC): 32.0 kWp

Figur 36: Skjermbilde fra PVsystem – valg av inverter og solcellepanel

3.4.2.5 Detailed losses

Man kan definere opp til 13 forskjellige detaljerte tapsfaktorer i programmet i forhold til solcelleanleggets oppbygging. Tapsfaktorene påvirker den totale effektproduksjonen.

I dette tilfellet skal det tas hensyn til 4 faktorer.

3.4.2.5.1.1 Thermal loss factor:

Standard testforhold er spesifisert for en celle til 25 °C, men modulene arbeider gjerne under en mye høyere temperatur.

Den termiske oppførselen til feltet – som sterkt påvirker de elektriske ytelsene – bestemmes av en energibalanse mellom omgivelsestemperatur og cellens oppvarming på grunn av solstrålingen.

I mangel på pålitelige målte data, foreslår PVsyst standardverdier uten vindavhengighet (dvs. forutsatt en gjennomsnittlig vindhastighet):

- For frittstående system (fri luft sirkulasjon rundt hele panelet)
- For semi-integrerte system (med luftekanal bak panelet)
- For fullt integrerte system (med isolasjon på bakside)

3.4.2.5.1.2 Array ohmic wiring loss

Den ohmske motstanden i ledningene mellom solcellepanelene skaper et effekttap.

3.4.2.5.1.3 AC ohmic loss from inverter to injection point

Den ohmske motstanden i kablen fra vekselretter til injeksjonspunkt (tilkoblingspunktet i f.eks hovedtavle) representerer også et effekttap.

3.4.2.5.1.4 Module quality losses

Modulenes kvalitetstap er en parameter som skal uttrykke egen tillit til den virkelige modulens ytelsen, med hensyn til produsentens spesifikasjoner.

Det er velkjent at de fleste av PV-modulseriene ikke samsvarer med produsentens nominelle spesifikasjoner. Modulers virkelige oppførsel med hensyn til spesifikasjonene er en av de større usikkerhetene i PV-systemets ytelsesevaluering.

3.4.2.5.1.5 Soiling loss

Soiling loss (forurensningstap) er tap på grunn av akkumulering av skitt og snø på panelets overflate. Denne innvirkningen på systemets ytelse er en usikkerhet som sterkt avhenger av systemets miljø, regnforhold, etc.

Dette tapet er selvfølgelig sterkt avhengig av nedbøren. Derfor tillater PVsyst definisjonen av tilsmussingstapfaktorer i månedlige verdier. Under simuleringen blir forurensningstapet regnet som et irradiansetap.

BACHELOROPPGAVE

Snø er ikke en del av meteodataene i PVsyst, og effekten av den er svært vanskelig å forutse. Under veldig usikre forhold kan man ta hensyn til det ved å definere delvis eller fullstendig smussdemping i løpet av noen måneder.

For å definere riktige verdier bruker man for Norge følgende standard:

SN/TS 3031:2016 Bygningers energiytelse – Beregning av energibehov og energiforsyning

Tabell P.1 – Veiledende verdier for soiling-faktoren for solmoduler som har helning i området 0-15 grader, gir aktuelle verdier for forskjellige byer i Norge.

Tabell P.1 – Veiledende verdier for soiling-faktoren, ϕ_{soil} ,
for solmoduler som har helning i området 0–15 ° (ref. horisontal flate)

Sted	Måned											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Stavanger	15	15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15
Oslo	60	75	60	2	2	2	2	2	2	2	15	45
Trondheim	60	75	45	8	2	2	2	2	2	2	15	53
Tromsø	75	75	75	75	2	2	2	2	2	30	45	60
Bergen	15	30	15	2	2	2	2	2	2	2	2	23
Kristiansand	45	75	45	2	2	2	2	2	2	2	2	38
Lillehammer	75	75	75	30	2	2	2	2	2	2	30	75
Drammen	75	75	60	8	2	2	2	2	2	2	15	53
Skien	75	75	60	8	2	2	2	2	2	2	15	53
Tønsberg	45	75	60	2	2	2	2	2	2	2	8	38
Fredrikstad	38	75	60	2	2	2	2	2	2	2	2	23
Ålesund	15	30	15	2	2	2	2	2	2	2	2	8

Figur 37: Soiling-faktor for solmoduler med helning 0-15 °

3.4.2.6 Horizon

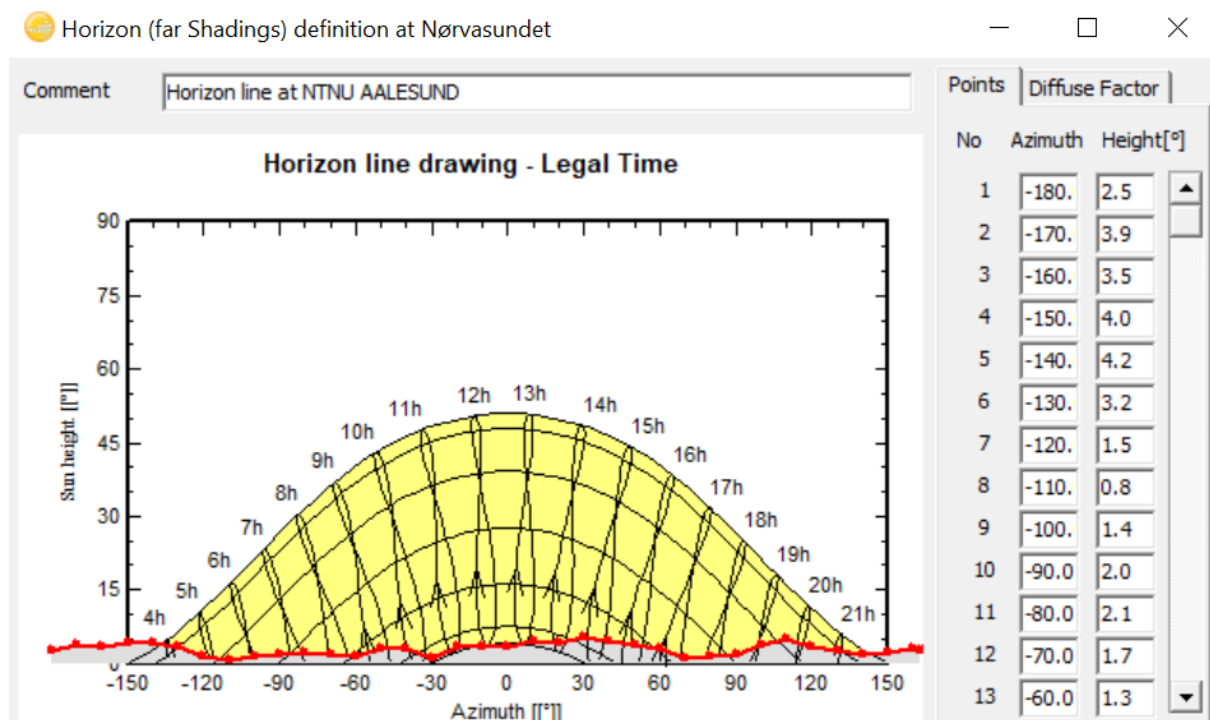
Horisonten til "distant skygger" delen er den enkleste måten å definere skygger i PVsyst. Men dette er bare egnet til å behandle skygger av objekter tilstrekkelig langt unna, da vi kan anse at de virker på PV-feltet på en global måte: på et gitt øyeblikk er eller er solen ikke synlig på feltet. Vanligvis bør avstanden til disse skyggeleggerne være større enn for eksempel ti ganger solcelfeltstørrelsen.

BACHELOROPPGAVE

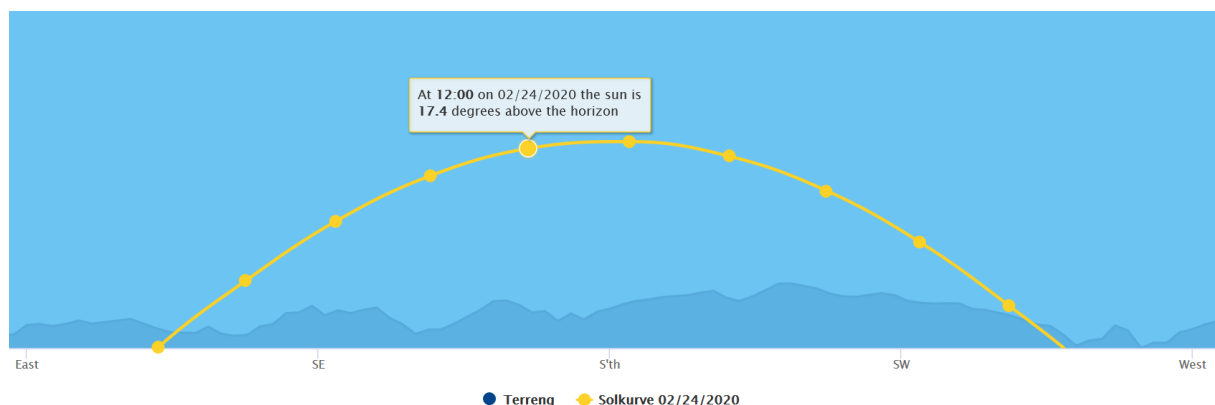
PV anlegg studentbygg:

Ved hjelp av Suncurves.com kan man få generert en solrapport. Fra denne rapporten får man hentet ut data om fjelltoppene som kan komme i konflikt med solens bane. Disse datapunktene kan så manuelt plottes inn for å definere en horisont profil.

Alternativ til manuell plotting, er den innebygde muligheten til å importere data fra PVGIS Horizon fra nettet.



Figur 38: Skjerm bilde fra PVsyst – Horisont sett fra taket



Figur 39: Skjerm bilde fra Suncurves - Solbane og horisont (Suncurves 2020)

BACHELOROPPGAVE

3.4.2.7 Simulation

Når alle parametere er akseptable, og ingen feilmeldinger er til stede, gir programmet tilgang til timesimulering.

Simuleringsdatoer er basert på Meteo-fildatoer, og kan begrenses til en begrenset periode.

Simuleringsprosessen involverer flere titalls variabler, som er lagret i månedlige verdier i resultatfilen, og vil være tilgjengelige som månedlige tabeller og grafer. Man kan enkelt simulere forskjellige scenarioer med forskjellige typer panel, vekselretter, skygge etc. i samme prosjekt. Hver simulering kan lagres som en variant av anlegget. Man kan derfor enkelt sammenlikne forskjellige varianter for å vurdere differansen i systemproduksjon o.l.

3.4.2.8 Report

Resultatene fra beregningene blir presentert i en rapport som inneholder en enkel oversikt over PV systemet.

Rapporten er bygd opp slik:

- Plassering av anlegget – Inkludert aktuell meteodatabase
- Simulerings parametere – B.la. skygge, orienteringer og horisont
- PV matrise karakteristikk – Panel-spesifikasjoner, antall delmatriser med antall paneler i serier og parallell, total nominell effekt (STC), vekselretter-spesifikasjoner
- PV matrise tapsfaktorer – Detaljerte tap
- Horisont definisjon – Informasjon om b.la solbane og fjerntliggende fjell
- Hovedresultat – Produsert energi per måned/år
- Tapsdiagram – Oversikt over forskjellige tap i systemet

3.4.3 Revit

Gruppen fikk tilsendt en .ifc fil som man kan åpne i Revit. Da vi skulle begynne å tegne inn solcelleanlegget på tegningen, måtte vi først finne modulene som var nødvendig. Dette må lastes ned fra et BIM bibliotek som man finner på internettet. Siden Sunpower sine ikke lot seg bruke på taket på grunn av vinkelen panelet skulle ha, måtte gruppen finne en modul som ligner og man kunne justere vinkelen på. I tillegg til dette ble det tegnet inn solceller på veggen

BACHELOROPPGAVE

og kabelbro for å føre frem kablene til solcellepanelene. For å tegne inn kabelbro, brukte gruppen «cable-tray» som allerede ligger inne i Revit.

3.5 Økonomi

Når man snakker om økonomien i et prosjekt med solcellepanel, er det ofte snakk om en nedbetalingstid. Dette er tiden det vil ta for å produsere energi for mer enn investeringskostnadene. Denne tiden avhenger av hvor god utnyttelse det er av panelene, og i tillegg hvor dyrt det er å installere et solcelleanlegg. Gruppen har estimert en pris på to tilfeller, et for solcellepanel kun på tak med estimert nedbetalingstid og et annet for tak og fasade. Det er viktig å bemerke at ved å kun installere på tak vil man ikke nå målet om ZEB. Gruppen har prøvd å være så nøyaktig og grundig som mulig ved å beskrive alt fra festemateriell til det mer essensielle som selve solcellepanelet. I tillegg har vi estimert en monteringskostnad.

For å finne ut hvor mye man tjener i året på å installere solcellepanel, må man først og fremst finne strømprisen i årene fremover. Strømprisen består av kraftpris og nettleie, NVE oppgir en total økning på cirka 4% i strømpris i årene som kommer i tillegg til inflasjon. Gruppen har beregnet med en 4% økning, og valgt å se bort ifra inflasjon. Gruppen har funnet dagens strømpris på kr 1,004 per kWh. Dette er da ganget med produksjonen for anlegget. Resultatet av dette forteller noe om hvor mye man måtte betalt for og brukt samme mengde energi fra nettet. Etter å ha beregnet for 20 år fremover, så vil man se hvor mange år det vil ta for at solcelleanlegget er nedbetalt.

Budsjettet kan man se i vedlegg 5.

3.6 Bærekraft – Hvordan beregne CO2-utslipp

Siden solcelleanlegget produserer ren energi som blir utnyttet direkte i bygget, vil hver kilowatt produsert, være en kilowatt spart fra det norske strømmettet. Det er dessverre veldig mange, og sprikende, måter å regne CO2-utslipp fra kraft kjøpt fra strømmettet på. Det er også slik, at mange velger den beregningsmetoden som passer de best.

En av de mest brukte sertifiseringsordningene for miljø- og energivennlige bygg i Norge er Breeam, og i Breeam regnskapet for CO2-utslipp er det definert at man

BACHELOROPPGAVE

skal benytte den europeiske strømmiksen når man regner på CO₂-utslipp fra elektrisk energibehov i bygget.

Norsk standard for klimagassberegninger NS3720:2018 sier at man skal benytte både norsk og europeisk miks til å lage forskjellige scenarier. For beregning av klimagassutslipp så sier standarden at man må regne klimagassutslipp både for scenario 1 (norsk miks) og scenario 2 (EU28 + NO).

Tabell A.1 – GHG-faktorer (CO₂-ekvivalenter) for ulike produksjonsteknologier samt faktorer for de to ulike scenariene for produksjonsmiksen i elektrisitetsforsyningen til EU28, Island og Norge

Produksjonsteknologi	CO ₂ -faktor (g/kWh)	Kilde
Vannkraft	2-20	Turconi, R., Boldrin, A. and Astrup, T. (2013), Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations, <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 28 (2013) 555-565.
Vindkraft	3-41	
Kullkraft	660-1300	
Naturgass	380-1000	
PV – solenergi	13-190	
Biotermisk	8,5-130	
Kjernerkeft	3-35	EPD® Electricity from Vattenfall Nordic Nuclear Power Plants https://www.environdec.com/Detail/?Epd=11982
Varmekraft fra naturgass med CCS	~100	Modahl, I.S., Askham, C., Lyng, K.-A. and Brekke, A.: Weighting of environmental trade-offs in CCS - An LCA case study of electricity from a fossil gas power plant with post-combustion CO ₂ capture, transport and storage, <i>Int. J. Life Cycle Assessment</i> , Springer-Verlag, 27, March 2012, Volume 17, Issue 7 (2012), side 932-943 (http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s11367-012-0421-z)
Varmekraft i Norge	450	SSB og http://www.uni-obuda.hu/users/grollerg/LCA/hazidolgozathoz/lca-electricity%20generation%20technologies.pdf
Varmekraft i EU	800	Eurostat og http://www.uni-obuda.hu/users/grollerg/LCA/hazidolgozathoz/lca-electricity%20generation%20technologies.pdf
Scenario 1 – NO,	18*	Beregnet på bakgrunn av norsk produksjon i dag og antatt innslag av vann-, vind- og varmekraft som andel av total energiproduksjon i 2050. Basert på middelverdier i Turconi et al. (2013) og tabell C.2.
Scenario 2 – EU28+NO	136*	Beregnet på bakgrunn av Eurostat og EUs Roadmap2050 og http://www.uni-obuda.hu/users/grollerg/LCA/hazidolgozathoz/lca-electricity%20generation%20technologies.pdf
* Gjennomsnitt for perioden 2015 til 2075.		

Figur 40: Tabell A.1 GHG.faktorer CO₂

Tabellen viser at karbonintensiteten i det norske strømmettet ligger på 18g/kWh, og 136g/kWh for det europeiske nettet. Det er disse tallene som blir lagt til grunn for karbonbalansen til solcelleanlegget.

Man må så se på utslippene som er knyttet til produksjonen av solcellepanel. Det er en energikrevende prosess som skaper en del CO₂.

Denne CO₂-faktoren er oppgitt til å være rundt 400-500kg CO₂/kWp på generelt grunnlag, av Otovo, en av Norges ledende forhandlere av solcellepanel. For å være på den konservative siden velges 500kg CO₂/kWp. (Ved valg av norskproduserte panel vil faktoren være lavere). Når man nå har en CO₂-faktor for produksjon, og en faktor for spart CO₂ kan man lage et regnskap med scenario 1 (norsk miks) og scenario 2 (EU28 + NO).

4 RESULTATER

4.1 Prosjektering av anlegget

Ofte er det ønskelig å vite hvor mye strøm et solcelleanlegg kan produsere på ditt bygg, særlig om bygget er stort eller litt komplisert. Det vil være mange spørsmål man må besvare under prosjektering. Gruppen velger å legge vekt på følgende spørsmål.

- Hvor stor plass tar det?
- Hvor stor installert effekt?
- Hvor stor blir strømproduksjonen fra solcelleanlegget?
- Hvor mange solcellemoduler, vekselrettere mm?
- Hvordan ser den elektriske installasjonen ut (el skjema)?

Med denne prosjekteringen kan vi optimalisere anlegget ved å sammenligne forskjellige komponenter, forskjellige scenarioer osv.

En forprosjektering er viktig for å kunne få beregnet riktig pris på større solcelleanlegg og gi støtte og trygghet til investeringen.

4.1.1 Installasjonsbeskrivelse av anlegget

Den ene delen av anlegget blir plassert på tak i øst/vest orientering i trekantformasjon. Øst-vest orientering gir en jevnere produksjon gjennom dagen, og minimerer vindlast. Det er også den mest arealeffektive installasjonsmetoden.

BACHELOROPPGAVE

Den andre delen av anlegget blir plassert på vegg som skråner mot nord-vest som er beskrevet som alternativ 1 under [3.3 Størrelse på anlegget](#). Grunnen til at gruppen velger å ikke gå videre med paneler ved siden av vinduene er mest med tanke på vanskeligere montasje, og gruppen mener det blir finere å plassere på ledig vegg. Veggen som er valgt har ingen hindringer og heller ingen skygge som kan treffe da det er to etasjer under.

På taket blir vekselretterne montert på stativ festet til heissjakt. Heissjakten har en høyde på ca. 80cm over takflate, den er dermed ikke høy nok til å feste vekselretterne direkte på sjakten. Dette løses ved at det monteres et festesystem i metall til heissjakten med høyde ca. 120cm. Det vil gi en avstand takflate – underkant vekselretter på ca. 40 cm, noe som er godt innenfor med tanke på snø.

AC- og kommunikasjonkabler fra vekselretterne føres inn i bygning ved heissjakt til takhimling i 7.etg. Kablene føres så i himling til sjakt ved underfordeling i 7.etg. Deretter føres kablene ned til teknisk rom i kjeller via sjakten. I teknisk rom blir kablene ført inn i ledig del av eksisterende tavle. Her monteres AC-sikringer og jordfeilvern type B. Kursene kobles så til samleskinne for mating av strøm til bygget.

Det monteres DC-fracoblingsbrytere på alle solcelle-delmatrisekabler for å kunne vedlikeholde vekselrettere uten risiko for elektriske farer. Med riktig skilting og illustrasjoner så kan AC vern i el-tavlen benyttes som bryter for solcelleanlegget (NEK 712.537.2). Skiltingen er spesielt viktig med tanke på at det kan være kritisk å gjøre anlegget spenningsløst, for eksempel under en brann.

Alle metalliske støttekonstruksjoner for solcellemoduler samt kabelkanaler og broer skal utjevnes. Ledertverrsnitt for utjevningsledere skal være $\geq 4\text{mm}^2$. (NEK 712.542.103)

4.1.2 Valg av paneltype og leverandør

Når det skal velges paneltype er der flere forhold man bør se på:

Kvalitet: Kvaliteten til panelet må være robuste nok for norske kystforhold.

Effektivitet: Panelene bør ha en høy grad av effektivitet for å utnytte tilgjengelig areal best mulig

Garanti: Lang produkt- og ytelsesgaranti.

Bærekraft: Produktet må komme fra en produsent med fokus på miljø og arbeidsforhold.

Etter mye leting ble det valgt ut to produsenter for nærmere undersøkning: SOLARWATT og SUNPOWER

4.1.2.1 Solarwatt

Tabell 3: Solarwatt Vision 60m (305-320 Wp)

Produsent	SOLARWATT
Type	Glass-glassmodul
Modell	Vision 60m (305-320 Wp)
Produktgaranti	30 år
Ytelsesgaranti	30 år (87% av nominell effekt)

Panelet er et glass-glass panel med aluminiumramme, noe som betyr at det er bygd opp av et lag glass på over og underside av cellene. Dette gir et robust og stivt panel som beskytter cellene mot alle værpåkjenninger og mekanisk stress det kan bli utsatt for. Glass-glassmoduler gir et utmerket forhold mellom pris og ytelse. Avkastningen per investert krone er mer enn dobbelt så høy som konvensjonelle moduler.

Ved å benytte seg av høykvalitets panel kan nedbetalingstiden av anlegget minke med tanke på mindre vedlikehold og eventuelle utskiftninger. Det er viktig og ta i betraktning at dersom et panel tar skade, kan det påvirke en hel string med paneler, og dermed senke strømproduksjonen på den aktuelle stringen betraktelig.

Solarwatt har i tillegg til 30 års produktgaranti, en 5 års FullCoverage forsikring inkludert uten ekstra kostnader. Denne forsikringen dekker nesten alle risikoer og gjelder også dersom panelet ikke skulle produsere strøm, eller mindre enn forventet, i tilfelle skade.

Ytelsesgarantien garanterer at panelet skal levere 87% av nominell effekt etter 30 år (degradering på 0,43% pr år).

Glass-glass panel er både mer bestandig og mer resirkulerbar enn plastikkfolie, så det tar glass-glass panelet to år å "tilbakebetale" energien det tok å produsere. Glass-glass panel har også 30 års garanti mot vanligvis 20 for glass-folie panel – en forlengelse på 50% og dermed mer miljøvennlig.

Produktet blir produsert Dresden i Tyskland. Selskapet hevder de kontinuerlig jobber med å forbedre miljøprofilen, og har blant annet gjort energiltak i fabrikken som har redusert CO2 utslipp med 11% siden 2016. I tillegg til energiltak har de også fokus på å øke resirkulering, hvor de foreløpig resirkulerer 52% av alt søppel, en økning på 18% fra forrige år. I tillegg til miljøtiltak direkte tilknyttet fabrikken, har de også etablert ladestasjoner for elbiler til sine ansatte i sine parkeringsområder.

4.1.2.1.1 Merkedata

Panelet er bygd opp av 60 høy-effekt monokrystallinske celler og har følgende verdier:

General data	
L x W x H / Weight	1,680 x 990 x 40 mm / appr. 22,8 kg
Max. system voltage	1.000 V
Electrical data (STC)	
Nominal power P_{max}	305 Wp
Nominal voltage V_{MP}	32,1 V
Nominal current I_{MP}	9,60 A

BACHELOROPPGAVE

Open circuit voltage V_{oc}	40,0 V
Short circuit current I_{sc}	10,09 A
Module efficiency	18,5 %

Tabell 4: Solarwatt data om panelet

4.1.2.2 Sunpower

Produsent	SUNPOWER
Type	Glass-metallmodul
Modell	MAXEON 3 400 Wp
Produktgaranti	25 år
Ytelsesgaranti	25 år (92% av nominell effekt)

Tabell 5: Sunpower MAXEON 3 | 400 Wp

Panelet er et glass-metall-panel med aluminiumramme, noe som betyr at det er bygd opp av et lag glass på oversiden og et lag metall på undersiden av cellen. I likhet med glass-glass panel, gir dette en stor styrke til panelet i forhold til glass-folie panel, og dermed de samme fordelene som et høykvalitets glass-glass panel.

Forventet brukbar levetid på panelet er 40 år, med en garanti på 25 år.

Ytelsesgarantien garanterer at panelet skal levere 92% av nominell effekt etter 25 år. Det gir en degradering på 0,32% pr år.

Med en effekt på 400 W pr modul vil disse panelene gi en høyere effekt per kvadratmeter.

Panelene blir satt sammen i Mexico og Frankrike. For å kontinuerlig jobbe med å være en miljøvennlig aktør, gjør Sunpower forskjellige tiltak. Dette har blant annet ført til at de er den første og eneste produsenten som viser innholdet i et panel gjennom en såkalt "Declare label". I et ledd i Sunpowers "Global Takeback and Recycling Program Policy", ble i januar 2019 et Sunpowers

BACHELOROPPGAVE

produksjonsanlegg i Mexico re-sertifisert av NSF Sustainability som en "Zero Waste to Landfill" anlegg, som den eneste solcellepanelprodusenten til å oppnå dette. Denne sertifiseringen betyr at anlegget fører 1% eller mindre av avfallet til søppeldeponier.

For Sunpowers del har de samlet alle miljørelevante sertifikater, uttalelser og retningslinjer [Her](#).

4.1.2.2.1 Merkedata

Panelet er bygd opp av 104 høy-effekt monokrystallinske celler og har følgende verdier:

General data	
L x W x H / Weight	1,690 x 1046 x 40 mm / appr. 19kg
Max. system voltage	1.000 V
Electrical data (STC)	
Nominal power P_{max}	400 Wp
Nominal voltage V_{MP}	65,8 V
Nominal current I_{MP}	6,08 A
Opcen circuit voltage V_{OC}	75,6 V
Short circuit current I_{sc}	6,58 A
Module efficiency	22,6 %

Tabell 6: Sunpower data om panelet

4.1.2.3 Sammenlikning av panelene

En sammenlikning mellom SOLARWATT og SUNPOWER

BACHELOROPPGAVE

Produsent	SOLARWATT	SUNPOWER
Effekt P_{\max} [W] (STC)	305	400 (+ ~24%)
Effektivitet [%]	18,5	22,6
Produktgaranti [År]	30	25
Ytelsesgaranti [År / % av nominell effekt]	30 / 87	25 / 92
L x B x H [mm]	1,680 x 990 x 40	1,690 x 1046 x 40
Vekt [kg]	22,8	19
Pris [kr/w] (ca.)	7,8	10
Miljøprofil	GOD	GOD

Tabell 7: Sammenligning av Solarwatt og Sunpower

Med denne informasjonen tatt i betraktning velger gruppen å bruke Sunpower Maxeon 3 400W panel i installasjonen.

4.1.3 Valg av vekselretter

Når man skal velge vekselretter er det flere faktorer som er vesentlig å tenke på. For det første er det viktig å tenke på kvalitet og pålitelighet da dette vil ha mye å si for levetiden på vekselretteren. For det andre er det viktig å tenke på hvilke funksjoner som for eksempel overvåkning, og andre innebygde egenskaper vekselretteren har, så ikke denne begrenser resten av anlegget. Til slutt vil pris, garanti og service være vesentlig.

Etter en del undersøking falt valget på vekselrettere produsert av Fronius.

4.1.3.1 Dimensjonering av vekselretter

Som nevnt er det viktig at vekselretteren er dimensjonert rett i forhold til effekten på solcellematrisen den skal kobles til.

Den høyeste DC effekten anlegget leverer i løpet av året er vesentlig lavere enn STC testparametere tilsier (85,4 kWp) når vinkel, innstråling og temperatur tas i betraktning, derfor er 63,4kW AC tilstrekkelig. Det er ofte økonomisk fordelaktig å tillate noe mer tap de få timene i året anlegget produserer opp mot dette.

BACHELOROPPGAVE

Under er det gjort noen sammenlikninger mellom forskjellig vekselrettere for anlegg på tak med tanke på effekt og antall.

Dimensjonering av vekselretter i forhold til solcelleanlegg					
Resultater hentet fra PVsyst simulering					
Solcelleanlegg tak 60,8kWp	Tap ved forskjellige vekselrettere				
Max. PV Power: <u>43,8 kWdc</u>					
<i>Installert effekt vekselrettere</i>	<i>32,8 kW</i>	<i>40 kW</i>	<i>40 kW</i>	<i>50 kW</i>	<i>60 kW</i>
<i>Antall x størrelse</i>	<i>(4x8.2)</i>	<i>(4x10)</i>	<i>(2x20)</i>	<i>(4x12.5)</i>	<i>(4x15)</i>
Inverter Loss during operation	-2,45	-3,13	-2,30	-3,06	-3,07
Inverter Loss over nominal inv. power	-1,11	-0,22	-0,28	0,00	0,00
Inverter Loss total	-3,56	-3,35	-2,58	-3,06	-3,07

Tabell 8: Dimensjonering av vekselretter

Tapene til vekselretteren er delt opp i «Inverter Loss during operation», som beskriver tapene knyttet til omforming av strømmen, og «Inverter loss over nominal inv. Power» som er knyttet til tap de få dagene der solcellepanelene produserer mer kraft enn vekselretteren klarer å omforme.

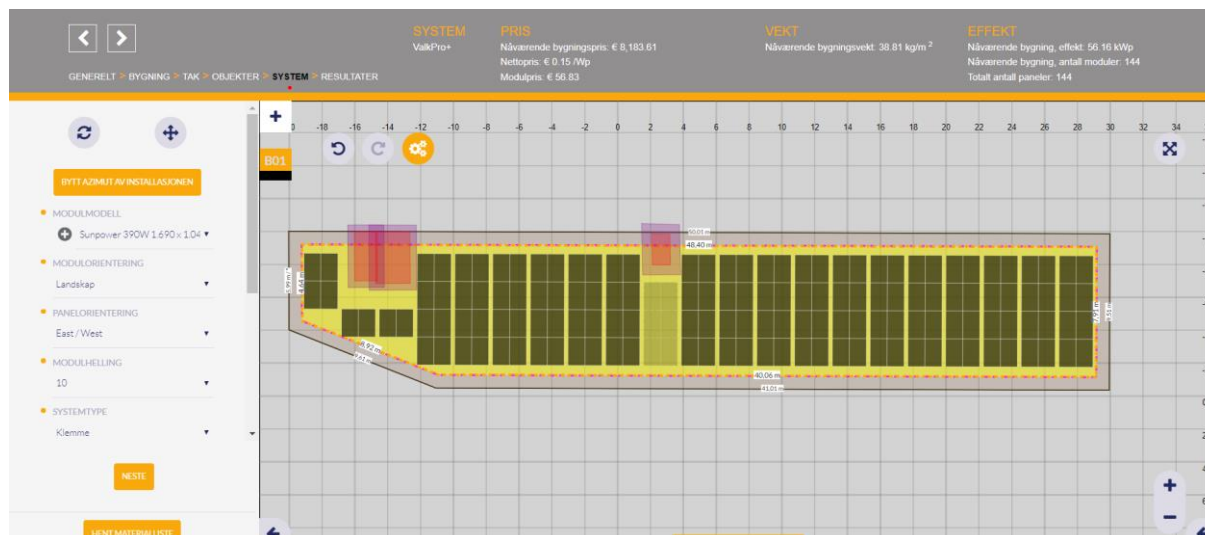
Ved å kjøre simuleringer med forskjellige vekselrettere, ser man at tapet blir lavest om man velger å bruke 2 stykk 20kW vekselrettere på tak, samt 1 stykk 20kW for panelene montert på vegg.

BACHELOROPPGAVE

4.1.4 Van Der Valk

4.1.4.1 Grafisk fremstilling av installasjon

Etter alle opplysninger om bygget og installasjonen er lagt inn i simuleringsverktøyet, vil man få et forslag til plassering av installasjonen.



Figur 41: Skjerm bilde fra Van Der Valk - under utarbeidelse av rapport

Som man kan se på figuren over, har programmet plassert flest mulig antall panel med tanke på en kantsone som man oppgir i tillegg til orienteringen øst/vest. På figuren over er det viktig å bemerke at det er plass til 8 panel til i tillegg til det som er plassert. Dette er beregnet og kvalitetssjekket med leverandør. Dette er noe gruppen ser på som en svakhet ved programvaren, men det er også viktig å tenke at det aldri blir helt etter plan og tegning, da det må justeres under monteringen. Hvis programmet legger inn for mange panel eller man har krav med tanke på brann, må man da fjerne de panelene som ikke kan være der for å utføre installasjonen i henhold til forskriftene.

På figuren kan man også se noen røde felt, dette er som nevnt tidligere hindringer som er på taket man må ta hensyn til. I dette prosjektet er heissjakt, takvindu og ventilasjonsrør tegnet inn som hindringer. Her bestemmer man en sone rundt hindringen man ser på som et problem med tanke på skygge.

I tillegg kan man legge merke til at programmet hele tiden regner ut et estimat for hvor mange panel du har plassert i figuren, vekt per m², pris per modul og totalpris.

4.1.4.2 Rapport

Under er det tatt utdrag fra det viktigste i rapporten som er utarbeidet av Van Der Valk. Rapporten fra prosjektet ligger i sin helhet under vedlegg 4.

Stedsinformasjon | Prosjektoversikt



► Stedsinformasjon

Prosjekt	: Studentbolig
Prosjektlokalisering	: Fogd Greves veg, Ålesund, Norway
Terrengkategori	: I
Høye inntilliggende	: Nr
Vindsone	: 29 m/s
Høyde over havet	: 34 m
Topp vindtrykk	: 1.195,52 N/m ²

► Prosjektoversikt

Bygning	Antall paneler	Effekt [kWp]	Systemtype	Monteringssystemets vekt [kg]	Ant. HELE ballastfliser*	Ant. HALVE ballastfliser**	Ballastens vekt [kg]
Building 1	144	56,16		1.217	757	37	6.980
Building 1 - Area 1 - Default Subarea 1	144	56,16	ValkPro+	1.217	757	37	6.980
Totalprosjekt	144	56,16		1.217	757	37	6.98

Figur 42: Utdrag fra rapport PVsyst - Stedsinformasjon og prosjektoversikt

Her ser man informasjon om prosjektet, i tillegg til vekt på både monteringsystemet og ballastene. Man kan også se hvilken vindsone dette er testet for, denne er bestemt ut ifra hvilken terrengkategori gruppen bestemte tidligere.

Ballastberegninger |

Building 1 - Area 1 - Default Subarea 1

1.1.1

Prosjektrapport
ValkPVplanner **► Vektinformasjon**

Panelenes vekt	:	2.736,00 kg
Monteringssystemets vekt	:	1.216,25 kg
Ballastens vekt	:	6.979,50 kg
Totalvekt	:	10.931,75 kg

► Systemdimensjon

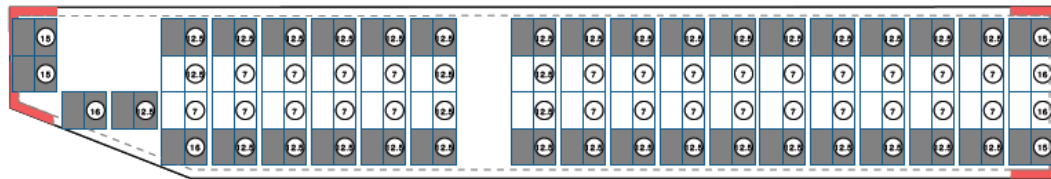
Delområdedimensjon	:	368,74 m ²
Systemdimensjon	:	281,69 m ²




► Takbelastninger

Takbelastning basert på delområdedimensjon	:	29,65 kg/m ² (290,83 N/m ²)
Takbelastning basert på systemdimensjon	:	38,81 kg/m ² (380,71 N/m ²)
Punktbelastning maks. (maks. ballastpunkter)	:	50 kPa (0,050 N/mm ²)
Punktbelastning min. (min. ballastpunkter)	:	28 kPa (0,028 N/mm ²)

Figur 43: Utdrag fra rapport PVsyst - Ballastberegninger

Ut ifra denne informasjonen kan man gjøre beregninger for hvor mye taket må tåle for at solcelleanlegget skal kunne installeres på taket. Her kan man da se totalvekten av panel, monteringsystemet og ballast.



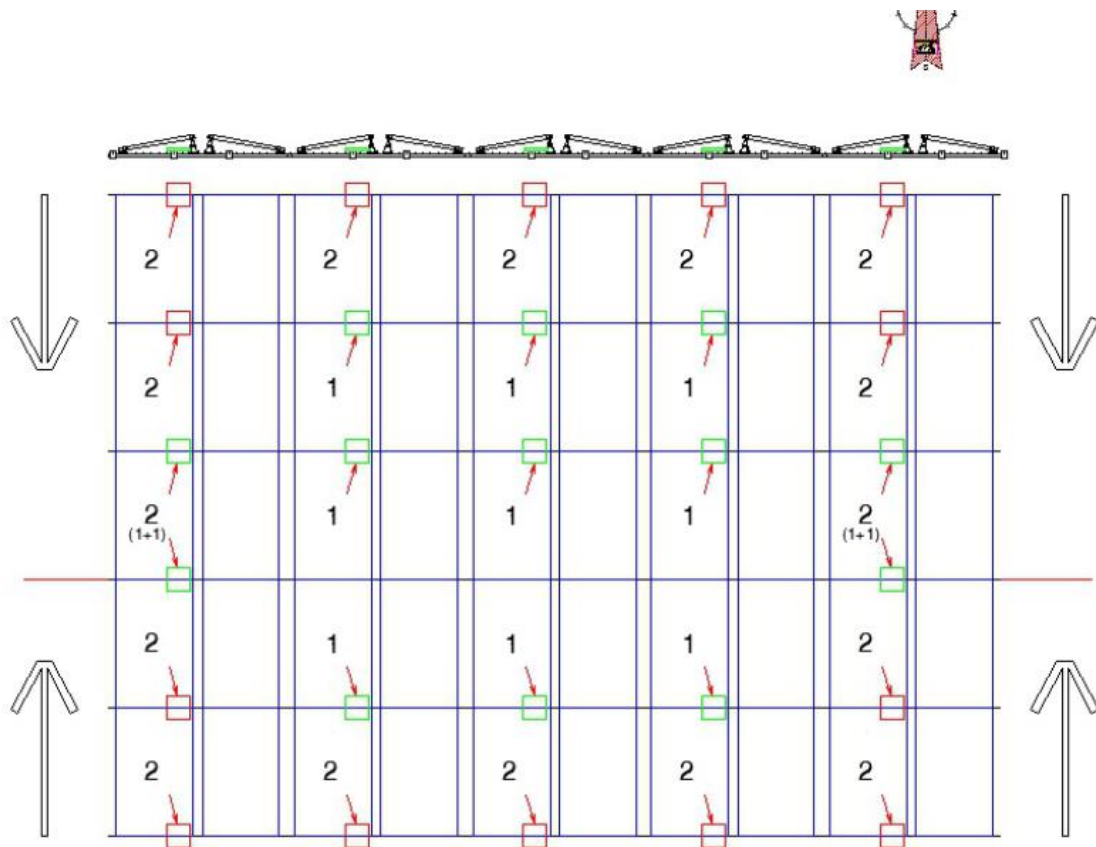
	<p>Paneler med massebærere Talletrepresenterer HELE ballastfiser.</p> 
	<p>Paneler med sideplater og massebærere Talletrepresenterer HELE ballastfiser.</p> 
	<p>Paneler med sideplater Talletrepresenterer HALVE ballastfiser. Bruk kun HALVE fortau fiser.</p> 
<p>1 Ballastflis = 30 x 30 x 4,5 cm 9 kg 0,5 Ballastflis = 30 x 15 x 4,5 4,5 kg</p>	

--- Kantsone beregnet: 1,20 m

█ Kantsone justert: 0,80 m

Figur 44: Utdrag fra rapport PVsyst – tegning og plassering av monteringsystemet

Hvis man ser litt nærmere på teningen av bygget, vil man se en stiplet linje som går rundt hele bygget. Denne forteller hvilken avstand til kant som er beregnet av simuleringverktøyet. Gruppen har risikovurdert og tatt en beslutning om å justere denne ned for å få plass til flere panel og dermed høyere produksjon. Grunnen til at gruppen mener dette kan gjøres uten problem er en kant som er bygd opp rundt hele taket som vil gjøre at vinden ikke vil ta så mye under panelene.



Plasering av ballast:

- Arbeid alltid fra systemets sider innover til sentrum, når du plasserer ballast (se piler)
- I midten av systemet (øst til vest) er det alltid en posisjon uten ballast (se **red** linje).
- På denne raden kan ballasten spres over de forskjellige stillingene (hvis mulig)

Figur 45: Utdrag fra rapport PVsyst - Plasering av ballast og arbeidsmetode sett ovenfra

Her kan vi se en oversikt og arbeidstegning for rekkefølge man skal legge ballastene og hvor mange ballaster som skal ligge de forskjellige stedene. I tillegg til de utdragene gruppen har tatt ut fra rapporten, blir blant annet forskrifter, om vindtunneltestingen av produktene og garantier beskrevet i rapporten.

4.1.5 Montering og oppbygning av solcellematrisene

På taket blir panelene blir montert i en øst-vest retning parallelt med taket for å få utnyttet takarealet maksimalt. Vinklingen på panelene blir 10 grader etter anbefaling fra Norconsult. Byggets langside er orientert direkte mot øst, noe som gir en asimut vinkel på 0 grader.

Med det valgte panelet er det plass til 152 moduler på taket.

BACHELOROPPGAVE

På veggen blir panelene montert loddrett. Siden denne veggen skrånar i forhold til veggen på langsiden, vil panelene ha en asimut vinkel på ca. 22 grader.

Her vil det være plass til 7 panel i bredden, og 9 panel i høyden, totalt 63 panel.

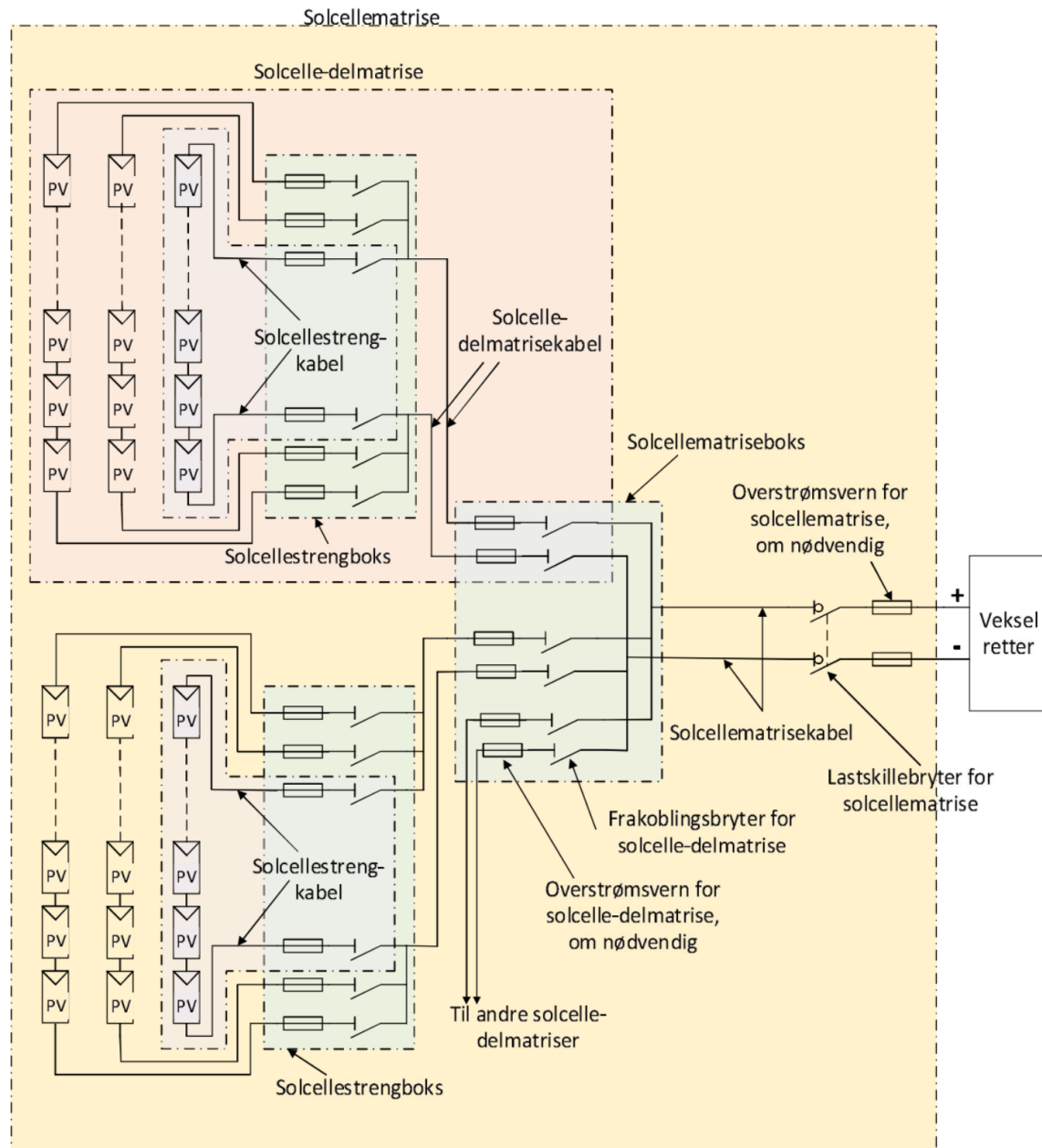
4.1.5.1 Array Design

Etter at tilgjengelig areal er blitt fastsatt, og orienteringer bestemt, kan man begynne å planlegge oppbyggingen av systemet.

Det første man bør tenke på er at det ikke skal kobles til forskjellige orienteringer i samme solcelle-delmatrise.

Grunnen til dette er at forskjellige orienterte paneler vil ha forskjellig innstråling av lys, annen temperatur og dermed levere en forskjellig effekt. Dette medfører en annen I/V-kurve, og dermed en «mismatch loss», siden MPPT vil måle verdier som ikke vil gi optimal MPP.

Solcellemoduler kobles i serie til strenger, og strengene kobles i parallell til delmatriser og matriser.



Figur 712A-4 – Solcellematrise med flere parallelle solcelle-delmatriser

Figur 46: NEK400:2018 – Eksempel på installasjon

Ved seriekobling øker man spenningen og ved parallellkobling øker man strømmen.

Det er vekselretteren som er dimensjonerende for både strøm og spenning på solcellematrisen, og derfor hvor mange solcellepanel som skal kobles i serie, og hvor mange strenger som skal kobles i parallell. I produktdatabladet er det oppgitt et minimum og et maksimum MPP spenning som matrisespenningen må ligge mellom. I tillegg er det oppgitt en maksimal inngangsstrøm.

BACHELOROPPGAVE

Vekselretteren som skal brukes i dette solcellesystemet er en Fronius Symo 20kW. Den har et spenningsområde på 200-1000 V og maksimal strøminngang på 51 A. Med denne informasjonen, samt solcellemodulens tekniske egenskaper, kan man begynne å regne ut hvor mange moduler det er som skal kobles i serie og i parallell.

I simuleringsprogrammet PVsyst får man automatisk opp et anbefalt design basert på type panel og vekselretter. Under er en oversikt over solcelle- delmatrisene og solcellematrisene.

Tabell 9: Kobling av solcellemoduler og vekselretterne på tak

TAK									
Array #	1	1	1	1		2	2	2	2
Sub-array #	1	2	3	4		5	6	7	8
Vekselretter #	1	1	1	1		2	2	2	2
Moduler i serie	10	10	10	10		9	9	9	9
Antall stringer i parr.	2	2	2	2		2	2	2	2
Antall moduler	20	20	20	20		18	18	18	18
Modul #	V.01-20	V.21-40	V.41-60	V.61-80		Ø.01-18	Ø.19-36	Ø.37-54	Ø.55-72
Vmpp (60°C) [V]	553	557	557	557		557	557	55	557
Vmpp (20°C) [V]	662	656	656	656		656	656	656	656
Vmpp (-10°C) [V]	850	850	850	850		850	850	850	850
Imp (STC) [A]	11,53	11,53	11,53	11,53		11,53	11,53	11,53	11,53
Isc (STC) [A]	12,03	12,03	12,03	12,03		12,03	12,03	12,03	12,03
Array nom.P [W]	8000	8000	8000	8000		7380	7380	7380	7380

Tabell 10: Kobling av solcellemoduler og vekselretterne på veg

VEGG				
Sub-array #	1	1	1	1
Array #	9	10	11	12
Vekselretter #	5	5	5	5
Mod. In series	9	9	9	9
Nbre strings	2	2	2	1
Nb. Modules	18	18	18	9
Modul #	A.01-18	B.01-18	C.01-18	D.01-18
Vmpp (60°C) [V]	557	557	557	557
Vmpp (20°C) [V]	656	656	656	656
Vmpp (-10°C) [V]	850	850	850	850
Imp (STC) [A]	11,51	11,51	11,51	5,76
Isc (STC) [A]	12,03	12,03	12,03	6,01
Arrany nom.P [W]	7380	7380	7380	3690

4.1.6 Resultater fra PVsyst beregninger

4.1.6.1 Utdrag rapport

Her følger et utdrag av de viktigste elementene i rapporten som blir utarbeidet av PVsyst. Dette gjelder for beregninger av anlegget plassert på taket. Komplette rapport ligger som vedlegg.

4.1.6.1.1 Solcelleanleggets karakteristikk

Den første delen av rapporten viser en oversikt over anlegget. Her finner man informasjon om geografisk plassering og hvilken meteorologisk database som er

BACHELOROPPGAVE

benyttet, oppbyggingen av systemet i forhold til matriser og orienteringer samt installert materiell med tekniske karakteristikk.

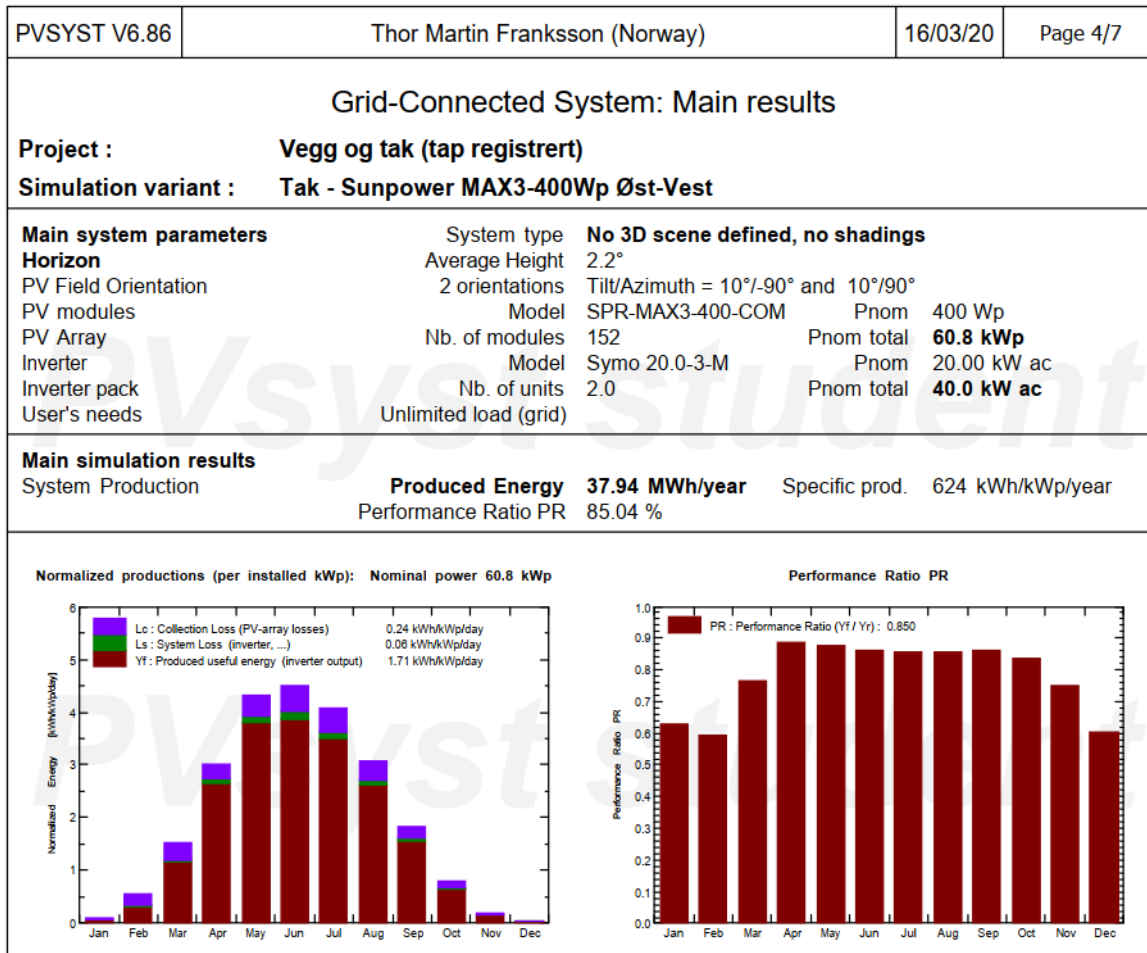
PVSYST V6.86	Thor Martin Franksson (Norway)		16/03/20	Page 1/7
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project : Vegg og tak (tap registrert)				
Geographical Site		Nørvasundet	Country	Norway
Situation		Latitude 62.47° N	Longitude	6.23° E
Time defined as		Legal Time Time zone UT+1	Altitude	9 m
		Albedo 0.20		
Meteo data:		Nørvasundet	Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=26% - Synthetic	
Simulation variant : Tak - Sunpower MAX3-400Wp Øst-Vest				
		Simulation date	16/03/20 11h07	
Simulation parameters		System type	No 3D scene defined, no shadings	
2 orientations		tilts/azimuths	10°/-90° and 10°/90°	
Models used		Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
Horizon		Average Height	2.2°	
Near Shadings		No Shadings		
User's needs :		Unlimited load (grid)		
PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)				
PV module		Si-mono Model	SPR-MAX3-400-COM	
Custom parameters definition		Manufacturer	SunPower	
Sub-array "Sub-array #1"		Orientation	#1	Tilt/Azimuth 10°/-90°
Number of PV modules		In series	10 modules	In parallel 8 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	80	Unit Nom. Power 400 Wp
Array global power		Nominal (STC)	32.0 kWp	At operating cond. 29.19 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	579 V	I mpp 50 A
Sub-array "Sub-array #2"		Orientation	#2	Tilt/Azimuth 10°/90°
Number of PV modules		In series	9 modules	In parallel 8 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	72	Unit Nom. Power 400 Wp
Array global power		Nominal (STC)	28.80 kWp	At operating cond. 26.27 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	521 V	I mpp 50 A
Total Arrays global power		Nominal (STC)	61 kWp	Total 152 modules
		Module area	269 m²	Cell area 242 m²
Inverter		Model	Symo 20.0-3-M	
Custom parameters definition		Manufacturer	Fronius International	
Characteristics		Operating Voltage	200-800 V	Unit Nom. Power 20.0 kWac
Sub-array "Sub-array #1"		Nb. of inverters	1 * MPPT 0.57	Total Power 20 kWac
				Pnom ratio 1.60
Sub-array "Sub-array #2"		Nb. of inverters	1 * MPPT 0.57	Total Power 20 kWac
				Pnom ratio 1.44
Total		Nb. of inverters	2	Total Power 40 kWac

Figur 47: Utdrag fra rapport - Karakteristikk

4.1.6.1.2 Produksjonsresultat

BACHELOROPPGAVE

Produksjonsresultatet viser informasjon rundt effektproduksjonen til anlegget. Her presenteres blant annet hvor mye energi anlegget er forventet å produsere i løpet av et år, spesifikk produksjon og en graf som viser normalisert produksjon i løpet av året.

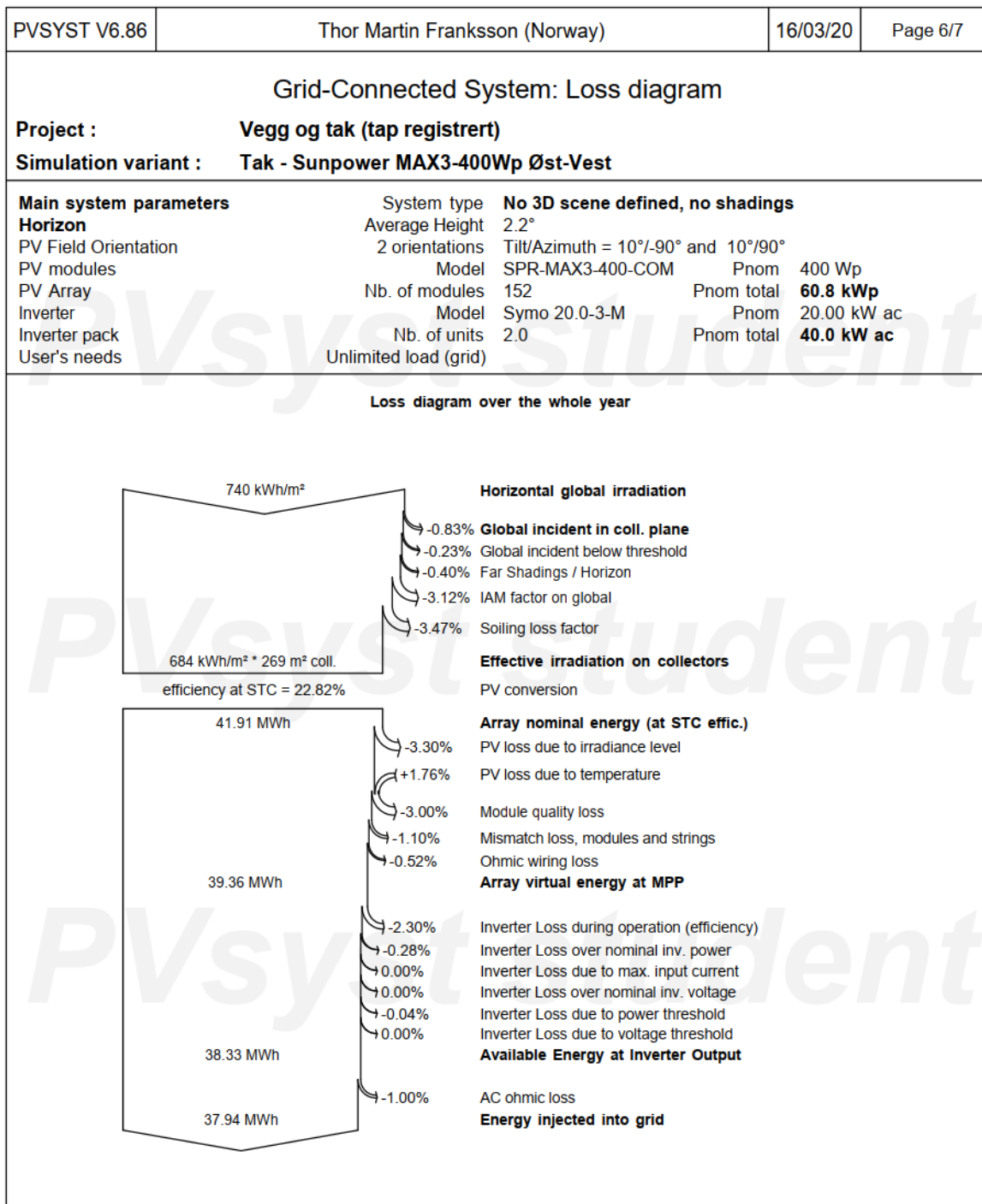


Figur 48: Utklipp fra rapport - Produksjonsresultat

4.1.6.1.3 Tapsdiagram

Tapsdiagrammet bryter energistrømmen ned i et diagram. Diagrammet tar først for seg energien til solstrålene, og trekker fra tap som har med innstråling å gjøre.

Deretter tar diagrammet for seg tap som er knyttet til materialet. Disse tapene er hovedsakelig avhengig av kvaliteten på utstyret.



Figur 49: Utklipp fra rapport - tapsdiagram

4.1.6.2 Resultat fra beregningen

For å sammenfatte resultatene fra rapporten blir verdiene presentert i en tabell.

Tabell 11: Forventet årsproduksjon solcelleanlegg

Forventet årsproduksjon solcelleanlegg	
Årsproduksjon tak	37,94MWh
Årsproduksjon vegg	13,3MWh
Samlet produksjon	<u>51,24MWh</u>

4.1.7 Dimensjonering av kabler, vern og brytere

Kabler og sikringer må dimensjoneres i henhold til krav i NEK 400:2018

712.431.4.104 – Beskyttelse av solcelle AC-forsyningskabel

Ved fastsettelse av merkestrømmen for overbelastningsvernet til AC-forsyningskabel, skal det tas hensyn til dimensjonerende strøm for solcelleomformerens. I databladet til Fronius Symo 20KW ser vi at vekselretterens nominelle utgangsstrøm $I_{ac\ nom} = 28,9$.

Overbelastningssikringen må følgelig ha en utløsestrøm høyere enn 28,9A.

Nærmeste normerte sikringsstørrelse er da 32A.

NEK 712.530.4.101 krever at det også skal monteres et strømstyrt jordfeilvern type B.

Forlegningsmetode til kabel må bestemmes:

Tabell 12: Data for kabelberegning

NEK 400-5-52			
Tabell	Beskrivelse	Informasjon	Verdi
52A-2	Installasjonsmetode	Flerlederkabler på en stige	Nr. 34, E.
52B-10	Strømføringsevne	Tre belastede ledere - 6mm ²	$I_z = 43\text{ A}$
52B-14	Omgivelsestemperaturfaktor	30 °C	1.00

BACHELOROPPGAVE

52B-20	Gruppereduksjonsfaktor	6 parallelle kabler på stige, 2 broer	0,76
		2 parallelle ved 6mm ²	0,80

Når strømføringsvevnen til kabelen er funnet, multipliseres denne med de aktuelle reduksjonsfaktorene:

$$I_{zk} = I_z * K_t * K_n = 43 * 1 * 0,76 = 34,4 \text{ A}$$

Tabell 13: Dimensjonerende strøm

Dimensjonerende størrelser		
Vekselretter $I_{ac \text{ nom}}$	I_b	28,9 A
PFXP 5G6mm ²	I_{zk}	34,4 A
PLSM-OV	I_n	32 A

Kabler må dimensjoneres etter følgende krav:

$$NEK 433.1 : I_b \leq I_n \leq I_z \rightarrow \text{Vekselretter} \leq \text{Sikring} \leq \text{Kabel}$$

$$28,9 \leq 32 \leq 34,4 \rightarrow \text{Ok!}$$

Beregningene viser at en 6mm² er tilstrekkelig for å møte kravene med tanke på strømføringssevne.

4.1.7.1 Spenningsfall i forbrukerens installasjoner

I forhold til installasjonens nominelle spenning bør spenningsfallet mellom leveringspunktet og belastningspunkter i anlegget ikke være høyere enn verdiene i Tabell 52F-1.

Tabell 14: Krav til spenningsfall

Tab.52F-1	Type installasjon	Belysning [%]	Annet bruk [%]
	Lavspenningsinstallasjoner direkte tilknyttet et offentlig forsyningssystem	3	5

Tabell 15: Spenningsfall i kabel

Spenningsfallberegning					
Tak					
I _{bSTC} = 14,4 A	Loss fraction at STC		Loss diagram PVsyst report		I løpet av 25 år
Kabel - 2x66m:	%	V	%		
PFXP 5G6 mm ²	3,04	12,2	-0,95	- 340 kWh/år	8500 kWh
PFXP 5G10 mm ²	1,81	7,2	-0,57	- 200 kWh/år	5000 kWh
<i>Differanse</i>	<i>1,23</i>	<i>5</i>	<i>-0,38</i>	<i>- 140 kWh/år</i>	3500 kWh

% Spenningsfall beregnet av Febdok

Beregningene viser at en kabel på 6mm² vil ha et spenningsfall på 3,04% ved maks belastning (I_{ac nom}). Det vil være 0,4% over de anbefalte minsteverdiene i NEK 400. Dette spenningsfallet vil være aktuelt for de få dagene med maks produksjon, noe som vil si at det normalt vil ligge under dette nivået.

Den samlede differansen mellom en 6mm² og en 10mm² kabel i løpet av 25 år er et tap på 3500 kWh. Økonomisk sett er det ikke lønnsomt å gå opp i størrelse for å minske effekttapet i kablene da prisforskjellen blir langt større enn kostnadene knyttet til 3500 kWh tap i løpet av 25 år.

Det blir derfor valgt å bruke PFXP 5G6mm² som stigeledning fra hovedfordeling til vekselomformere.

4.1.7.2 Overspenningsbeskyttelse

NEK 712.534.4.4

Overspenningsvern skal finnes både på AC- og DC-siden av anlegget. Overspenningsvern for DC skal inngå i vekselretteren, eventuelt være i separat kapsling i tilknytning til vekselretterne og være tilpasset DC.

I vekselretteren (Fronius Symo) er det en dedikert DIN-skinne til overspenningsbeskyttelse inne i kapslingen, noe som eliminerer behovet for ekstra kobling og kapsling.

Overspenningsvernet må være tilpasset til DC og ha mulighet for å gi fjernsignal dersom vernet har slått ut. Ved å koble signalkontakten på vernet direkte til

BACHELOROPPGAVE

vekselretteren med signalkabel vil man få informasjon om status via overvåkingsprogrammet.

4.2 Økonomi

Man sier ofte at levetiden på et gjennomsnittlig panel ligger på 25-30 år, og man burde derfor ha en nedbetalingstid på mellom 10-20 år for at det skal være lønnsomt. I vårt tilfelle er det 25 år produktgaranti på Sunpower sitt panel og 30 år på Solarwatt. Selv om det skiller 5 år i garantitid, går gruppen ut ifra at levetiden vil være den samme. Levetiden kan variere enormt og noen anlegg kan vare i 30 år, mens andre kan holde i 50 år før man må gjøre noe.

Gruppen startet først med å finne pris på installasjonskostnad for tak i tillegg til tak kombinert med vegg.

Vi har satt opp to alternative installasjoner, alternativ 1 vil ikke føre til ZEB, og er derfor ikke aktuell i utgangspunktet. Grunnen til at gruppen har inkludert dette i rapporten er for å sammenligne av installasjon tak sammenlignet med tak og fasade.

For å se komplett budsjett, se vedlegg 5.

4.2.1 Alternativ 1 – Tak

I tabellen som er vist under, kan man se et utdrag av beregningene for nedbetalingstid. Man ser her at Sunpower har en dyrere investering, men også en høyere produksjon. Dette gjør at selv om det skiller cirka kr 100 000 i investering, vil en installasjon med Sunpower være mer lønnsom. Dette ser man enkelt på tilbakebetalingstiden, som er på 17,8 år for Sunpower sammenlignet med 19,9 år for Solarwatt. I tillegg ser vi at avstanden bare øker etter det er inntjent.

Grunnen til at det er høyere produksjon skyldes mye at selve panelet er like stort som det fra solarwatt, men det har en høyere effekt og dermed høyere produksjon per m².

BACHELOROPPGAVE

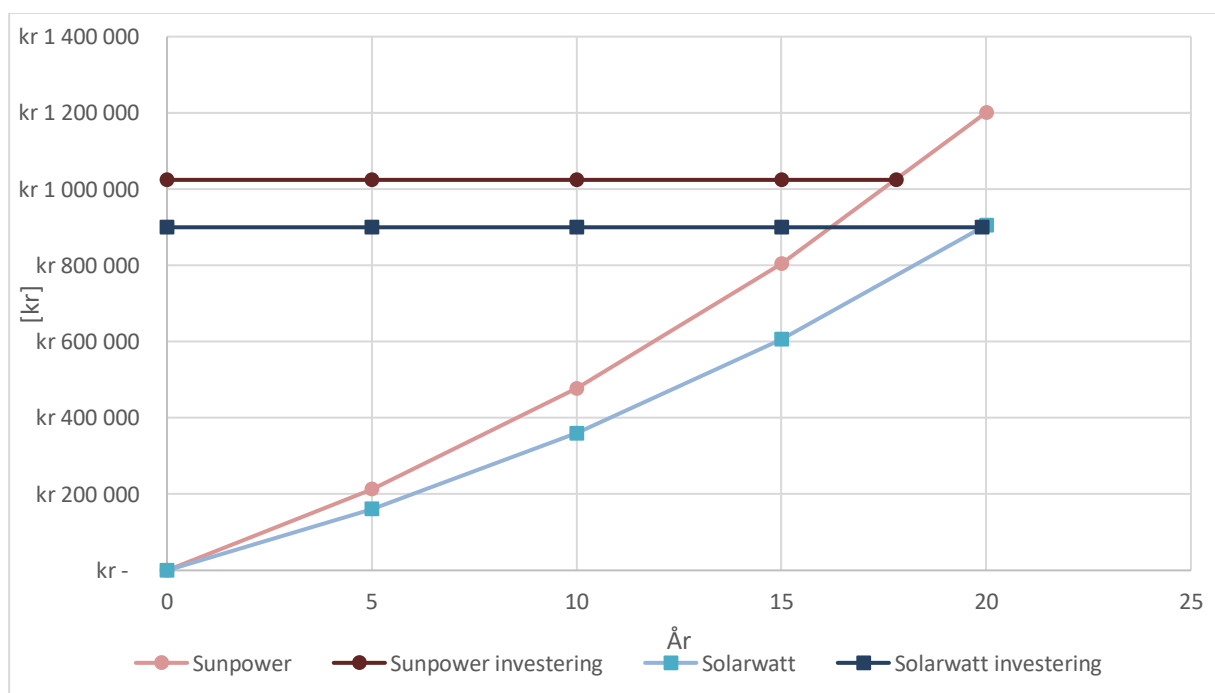
El.nr	TAK	Utstyr	Info	Antall/lengde	Pris per stk		Pris Solarwatt	Pris Sunpower
	Solcellepanel	Sunpower 400W		144	kr 3 000			kr 432 000
	Inverter v/sunpower 400w	Fronius symo 20.0-3-m	4 string pr inverter	2	kr 32 000			kr 64 000
	Solcellepanel	Vision 60M		144	kr 2 375	kr 342 000		
	Inverter v/solarwatt 305w	Fronius symo 17.5.0-3-m	4 string pr inverter	2	kr 29 000	kr 58 000		
	Styring			1	kr 10 000	kr 10 000	kr 10 000	
	DC-Bryter	SUNTREE DC bryter		4	kr 400	kr 1 600	kr 1 600	
	DC-ledninger	Sort og rød	Tak	350	kr 12	kr 4 200	kr 4 200	
	MC4-kontakt			320	kr 25	kr 8 000	kr 8 000	
	Festemateriell inkl. ballast		Info fra VanDerValk		kr 90 000	kr 90 000	kr 90 000	
	AC-Kabel fra inverter til kj.	PFXP 5G4 [4 stk]	66 m/per inverter	264	kr 87	kr 22 968	kr 22 968	
1664163	Sikring	PLSM-OV25/4 1609649		4	kr 1 250	kr 5 000	kr 5 000	
	Jordfeilbryter type B	FRCDM-25/4/003-G/B		4	kr 3 000	kr 12 000	kr 12 000	
	Servicebryter AC foran inverter?			4	kr 500	kr 2 000	kr 2 000	
	Vedlikehold (bytte inverter)			4	kr 29 000		kr 116 000	
	Vedlikehold (bytte inverter)			4	kr 27 000	kr 108 000		
	Overspenningsvern DC	DG M YPV SCI 1000 FM		4	kr 1 000	4000	4000	
	Overspenningsvern AC	iRPD		1	kr 2 500	2500	2500	
					MATERIELL TAK	kr 670 268	kr 774 268	
	Arbeid panel		0,6t/panel (144stk)	86,4	kr 750,00	kr 64 800	kr 64 800	
	Arbeid trekking kabler			16	kr 750,00	kr 12 000	kr 12 000	
	Arbeid kobling i tavle			10	kr 750,00	kr 7 500	kr 7 500	
	Transport og kran			1	kr 50 000,00	kr 50 000	kr 50 000	
	Arbeid ved vedlikehold			1	kr 15 000,00	kr 15 000	kr 15 000	
					ARBEID TAK	kr 149 300	kr 149 300	
					TOTAL TAK	kr 819 568	kr 923 568	

Figur 50: Investeringskostnad tak

BACHELOROPPGAVE

Inntjening TAK med estimert (4% økning/år) strømpris fra NVE		Solarwatt		Sunpower	
Effektprod. [kWh/år]		28200		37400	
År	Strømpris	Besparelse per år		Besparelse per år	
1	1,044 kr	29 441	kr	39 046	kr
2	1,090 kr	30 735	kr	40 762	kr
3	1,138 kr	32 089	kr	42 557	kr
4	1,188 kr	33 499	kr	44 427	kr
5	1,240 kr	34 968	kr	46 376	kr
6	1,295 kr	36 519	kr	48 433	kr
7	1,352 kr	38 126	kr	50 565	kr
8	1,411 kr	39 790	kr	52 771	kr
9	1,473 kr	41 539	kr	55 090	kr
10	1,538 kr	43 372	kr	57 521	kr
11	1,606 kr	45 289	kr	60 064	kr
12	1,676 kr	47 263	kr	62 682	kr
13	1,743 kr	49 153	kr	65 188	kr
14	1,812 kr	51 098	kr	67 769	kr
15	1,885 kr	53 157	kr	70 499	kr
16	1,960 kr	55 272	kr	73 304	kr
17	2,039 kr	57 500	kr	76 259	kr
18	2,120 kr	59 784	kr	79 288	kr
19	2,205 kr	62 181	kr	82 467	kr
20	2,294 kr	64 691	kr	85 796	kr
Etter år		0 kr	-	kr	-
		5 kr	160 732	kr	213 169
		10 kr	360 077	kr	477 549
		15 kr	606 038	kr	803 752
		20 kr	905 465	kr	1 200 865
Investering		kr	819 568	kr	923 568
Lånekostnad (2,5% per år)		kr	80 424	kr	100 714
Total		kr	899 992	kr	1 024 282
Nedbetalingstid [år]		19,9		17,8	

Figur 51: Nedbetalingstid for installasjon på tak



Figur 52: Sammenligning av Solarwatt og Sunpower med nedbetalingstid for tak

BACHELOROPPGAVE

4.2.2 Alternativ 2 – Tak og fasade

Her har gruppen i tillegg til alternativ 1, lagt inn investering og produksjon fra panel plassert på fasade. Sammenlignet med alternativ 1, ser vi at nedbetalingstiden ligger på 1,5-2 år mer. Dette kan ha noe å gjøre med at investeringen for installasjon på fasaden er dyrere enn det du får igjen fordi det er dårligere produksjon på fasade sammenlignet med tak. Dette gjør at vi får en lenger nedbetalingstid, men ligger fortsatt innenfor det som er anbefalt på 10-20 år på Sunpower. Solarwatt har noe lenger nedbetalingstid på 21,9 år.

El.nr	VEGG								
	Beskrivelse	Utstyr	Info	Antall/lengde	Pris per stk			Pris Solarwatt	Pris Sunpower
	Solcellepanel	Sunpower 400W		63	kr	3 000			kr 189 000
	Solcellepanel	Vision 60M		63	kr	2 375		kr 149 625	
	Inverter v/solarwatt 305w	Fronius symo 15-3-m	4 string pr inverter	1	kr	27 000		kr 27 000	
	Inverter v/sunpower 400w	Fronius symo 20.0-3-m	4 string pr inverter	1	kr	29 000			kr 29 000
	Styring			1	kr	10 000		kr 10 000	kr 10 000
	DC-Bryter	SUNTREE DC bryter		2	kr	400		kr 800	kr 800
	DC-ledninger	Sort og rød	Tak	150	kr	12		kr 1 800	kr 1 800
	MC4-kontakt			130	kr	25		kr 3 250	kr 3 250
	Festemateriell								
	AC-Kabel fra inverter til kj.	PFXP 5G4 [2 stk]		66	132	kr 87		kr 11 484	kr 11 484
1609649	AC-Kabel fra inverter til 7.etg	PFXP 5G4 [2 stk]		20	40	kr 87			
1664163	AC-Kabel fra ford.7.etg til kj.	PFSP 4G50/16 AL	Tas med i tak						
	Sikring	PLSM-OV25/4 1609649		2	kr	1 250		kr 2 500	kr 2 500
	Jordfeilbryter type B	FRCDM-25/4/003-G/B		2	kr	3 000		kr 6 000	kr 6 000
	Servicebryter AC foran inverter?			2	kr	500		kr 1 000	kr 1 000
	Vedlikehold (bytte inverter)			4	kr	29 000			kr 116 000
	Vedlikehold (bytte inverter)			4	kr	27 000		kr 108 000	
	Overspenningsvern DC	DG M YPV SCI 1000 FM		2	kr	1 000		2000	2000
								MATERIELL VEGG	kr 323 459 kr 372 834
	Arbeid panel		0,8t/panel (63 stk)	50,4		750		kr 37 800	kr 37 800
	Arbeid trekking kabler			8		750		kr 6 000	kr 6 000
	Arbeid kobling i tavle			5		750		kr 3 750	kr 3 750
	Transport og kran			1		25000		kr 25 000	kr 25 000
	Arbeid ved vedlikehold			1		15000		kr 15 000	kr 15 000
								ARBEID VEGG	kr 87 550 kr 87 550
								Pris Solarwatt	Pris Sunpower
								kr 411 009	kr 460 384
								TOTAL VEGG	
								Pris Solarwatt	Pris Sunpower
								kr 1 230 577	kr 1 383 952
								TOTAL VEGG+TAK	

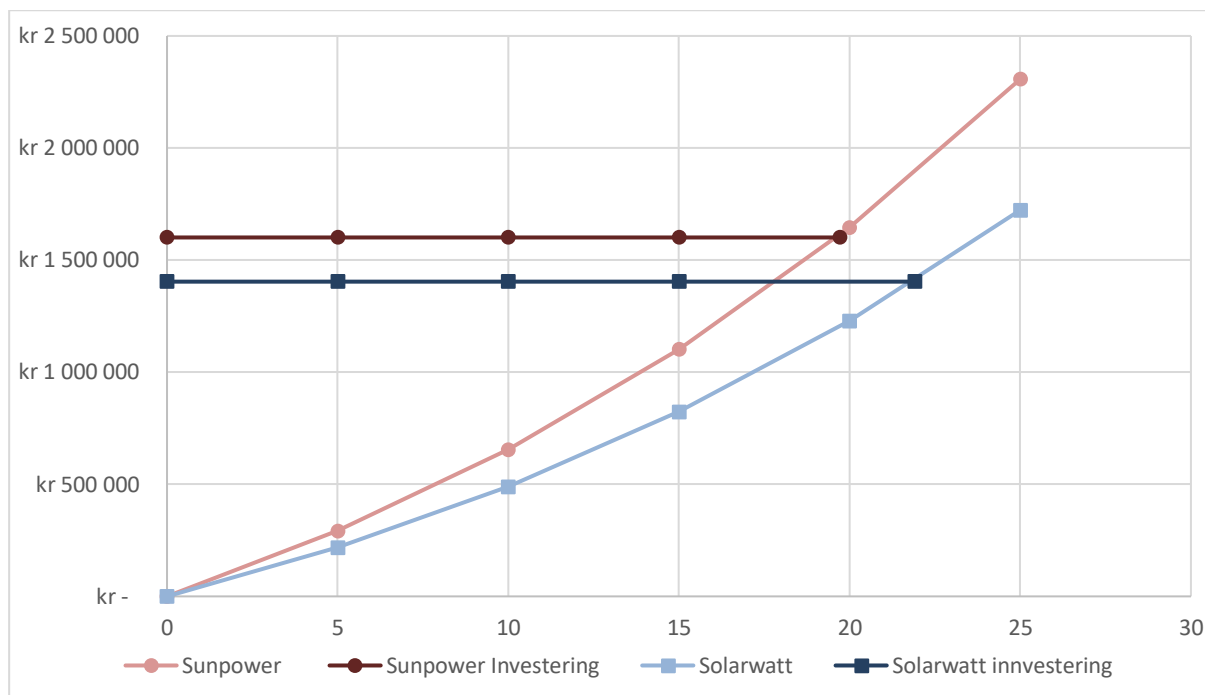
Figur 53: Investeringskostnad vegg

BACHELOROPPGAVE

Inntjening TAK+VEGG med estimert (4% økning/år) strømpris fra NVE		Solarwatt		Sunpower	
Effektprod. [kWh/år]		38270		51240	
År	Strømpris	Besparelse per år		Besparelse per år	
1	1,044	kr	39 954	kr	53 495
2	1,090	kr	41 710	kr	55 846
3	1,138	kr	43 547	kr	58 306
4	1,188	kr	45 461	kr	60 868
5	1,240	kr	47 455	kr	63 538
6	1,295	kr	49 560	kr	66 356
7	1,352	kr	51 741	kr	69 276
8	1,411	kr	53 999	kr	72 300
9	1,473	kr	56 372	kr	75 477
10	1,538	kr	58 859	kr	78 807
11	1,606	kr	61 462	kr	82 291
12	1,676	kr	64 141	kr	85 878
13	1,743	kr	66 705	kr	89 311
14	1,812	kr	69 345	kr	92 847
15	1,885	kr	72 139	kr	96 587
16	1,960	kr	75 009	kr	100 430
17	2,039	kr	78 033	kr	104 478
18	2,120	kr	81 132	kr	108 629
19	2,205	kr	84 385	kr	112 984
20	2,294	kr	87 791	kr	117 545
21	2,386	kr	91 312	kr	122 259
22	2,481	kr	94 948	kr	127 126
23	2,580	kr	98 737	kr	132 199
24	2,684	kr	102 717	kr	137 528
25	2,791	kr	106 812	kr	143 011
	Etter år				
		0	kr	-	kr
		5	kr	218 128	kr
		10	kr	488 658	kr
		15	kr	822 449	kr
		20	kr	1 228 800	kr
		25	kr	1 723 325	kr
	Investering	kr	1 230 577	kr	1 383 952
	Lånekostnad (2,5% per år)	kr	173 409	kr	217 186
	Total	kr	1 403 986	kr	1 601 138
	Nedbetalingstid [år]		21,9		19,7

Figur 54: Nedbetalingstid for installasjon på tak og fasade

BACHELOROPPGAVE



Figur 55: Sammenligning av Solarwatt og Sunpower med nedbetalingstid for tak og fasade

4.2.3 Tiltak for bedre nedbetalingstid

Nedbetalingstiden er, som nevnt tidligere, ønskelig at skal være så lav som mulig. Under prosjekteringen måtte gruppen gjøre noen tiltak for å senke denne da den var noe høy. For å senke nedbetalingstiden er det flere ting man kan revurdere. For det første kan man se på produksjonen, klarer man å øke dette uten at ekstra investering blir stor, vil nedbetalingstiden gå ned. En annen mulighet er å vurdere investeringskostnadene. Her er det mye man kan senke kostnadene på. Man kan se over alle poster, og om det er noe som kan fjernes, om man trenger så mange som er satt opp, koordinere arbeidet med andre fag slik at man kan spare leiekostnader av nødvendig utstyr. I gruppens tilfelle fant vi ut at vekselretterne som var benyttet i tidlig fase var mange og små. Her viste det seg at ved å benytte større og færre vekselretterne, gikk pris per vekselretter opp, men pris for vekselretterne i anlegget gikk ned cirka kr 80.000. I tillegg ble driftstapet mindre totalt for vekselretterne.

4.3 Bærekraft – Beregning av CO2

Man ønsker å se i hvilken grad solcelleanlegget er bærekraftig, og hvilken effekt det har på klimagassutslipp. Legger man faktorene som er beskrevet tidligere i oppgaven til grunn for solcelleanlegget, kan man undersøke CO2-regnskapet

slik:

Tabell 16: CO2-beregninger

CO2-beregninger	
Scenario 1 (norsk miks)	
<u>Spart CO2</u>	
Produsert energi x CO2-faktor x Periode	
Produsert energi	51,24MWh
CO2-faktor	18g/kWh
Periode	25 År
Sum spart CO2	23,058kg
Tilsvarende en kjøredistanse med bilsbil på ca. 153.000km (nesten. 4 ganger rundt jorden). V/ Utslipp: 150gCO2/km Drivstoffbruk: 0,65l/mil (Kalkulator u.d.)	
<u>Produsert CO2 under produksjon</u>	
CO2-faktor x Installert effekt	
CO2-faktor	500kgCO2/kWp*
Installert effekt	86kWp
Sum produsert CO2	43.000kg
Sum CO2	
(sum spart – sum forbrukt)	
=	-19.942kg CO2**
Scenario 2 (EU28 + NO)	
<u>Spart CO2</u>	
Produsert energi x CO2-faktor x Periode	
Produsert energi	51,24MWh
CO2-faktor	136g/kWh
Periode	25 År
Sum spart CO2	174.216kg
Tilsvarende en kjøredistanse med bilsbil på ca. 1.150.000km (ca. 28,7 ganger rundt jorden). V/ Utslipp: 150gCO2/km Drivstoffbruk: 0,65l/mil (Kalkulator u.d.)	

BACHELOROPPGAVE

<u>Produsert CO2 under produksjon</u>	
CO2-faktor x Installert effekt	
CO2-faktor	500kgCO2/kWp*
Installert effekt	87kWp
Sum produsert CO2	43.000kg
Sum CO2 (sum spart – sum forbrukt)	
= 131.216kg CO2**	

*CO2 faktoren ved produksjon av panelene som er oppgitt av Otovo er kun brukt som en tilnærming, da Sunpower ikke oppgir konkrete utslippstall for sin produksjon.

**Ikke medregnet installasjon og vedlikehold

Det er ikke medregnet CO2 utslipp knyttet til installasjon og vedlikehold av anlegget, da slike utslipp vil variere kraftig fra anlegg til anlegg, og tilnærmede data ikke er tilgjengelige.

Scenario 1 (norsk miks) viser at solcelleanlegget vil ha en negativ innvirkning på CO2-utslipp. Det vil ta over 46 år før anlegget går i null og sparer miljøet for CO2!

Scenario 2 (EU28 +NO) viser at solcelleanlegget sparer miljøet for store mengder klimagassutslipp, og har "betalt tilbake" skapt CO2 allerede etter 6 år.

Det skiller altså 40 år mellom disse scenarioene.

På grunn av at Breeam benytter den Europeiske energimiksen i sine beregninger, er det nok mange firma som mener de kan rettferdiggjøre og benytte den europeiske energimiksen i sine utregninger. Dette får, som utregningene viser, CO2-regnskapet for et solcelleanlegg til å se veldig bra ut.

Samtidig ser vi av Statnetts oversikt over kraftbalanse for 2019 at Norge netto eksporterte 15,7TWh i 2019 – altså produserte mer elektrisk energi enn det som ble brukt. Dette er bakgrunnen for at debatten om hvilke utslippstall man skal bruke for CO2-utslipp pr kWh spriker, og er nettopp en debatt, ikke et enkelt «korrekt svar».

For å undersøke resultatet fra beregningene litt nærmere, kan man betrakte import/eksport av strøm i Norge, hvor man på Statnett sine sider kan lese følgende:

BACHELOROPPGAVE

«Det vannkraftbaserte norske kraftsystemet er svært fleksibelt, ettersom produsentene har mulighet til å spare vann til de periodene de får best betalt for det. Prisene på elektrisitet varierer med etterspørselen over døgnet, med lav pris om natten og i helgene, og høyere pris på dagtid. Ved å stoppe vannkraftverkene om natten og heller bruke vannet i høyprisperiodene på dagen optimaliseres bruken av vannressursene. Når vannkraftverkene stoppes importerer vi kraft til å dekke forbruket i Norge. Denne kraften kommer hovedsakelig fra termiske kraftverk og vindkraftverk på kontinentet». (Statnett 2020)

Dette vil bety at den største delen av kraften på strømmettet på dagen, er ren norsk kraft, og det er naturligvis på dagen at solcelleanleggene produserer strøm. Følgelig vil det sannsynligvis bli mer korrekt å legge den norske energimiksen til grunn for CO₂-beregninger, noe som vil føre til at solcelleanlegg ikke er direkte miljøvennlige i Norge. Man kan altså spekulere i om man blir forledet til å tro at solcelleinstallasjoner er miljøvennlig av forhandlere og installatører av solcelleanlegg som har økonomiske incentiver.

4.4 Forslag til implementering av overvåkning i SIT-bolig

Man kan tenke seg at det vil gi en positiv effekt på strømforbruket til beboerne i et kollektiv ved å installere et overvåkingspanel i hvert bokollektiv. Dette panelet kan vise strømproduksjon i sanntid samt produksjon per dag/måned/år og antall kg CO₂ spart. I tillegg kan man overvåke strømmen kollektivet forbruker til enhver tid. Dette kan bidra til en bevisstgjøring, og gjøre det noe mer interessant å spare energi.

Det kan også skape en større miljøgevinst på lang sikt ved at beboere får et første møte med solenergi og dermed kanskje øke interessen for miljø senere i livet.

Det kan også være aktuelt å presentere verdiene til anlegget på en storskjerm i fellesareal for å framheve at bygget produserer egen energi, og at SIT gjør tiltak for å bli mer miljøvennlig.

4.5 Sammenligninger

4.5.1 Sammenligning av Meteororm 7.2 og NASA-SSE

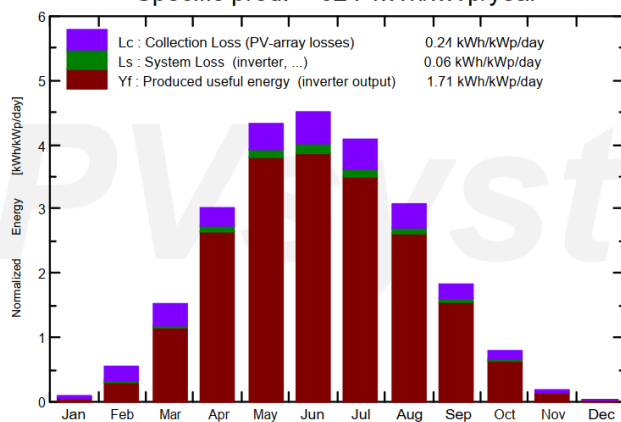
Sammenligning av Meteorologiske database brukt for å beregne systemet i PVsyst for å se på usikkerheten i beregningene:

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 60.8 kWp

Meteororm 7.2 (1991-2010), Sat=26%

Produced Energy 37.94 MWh/year

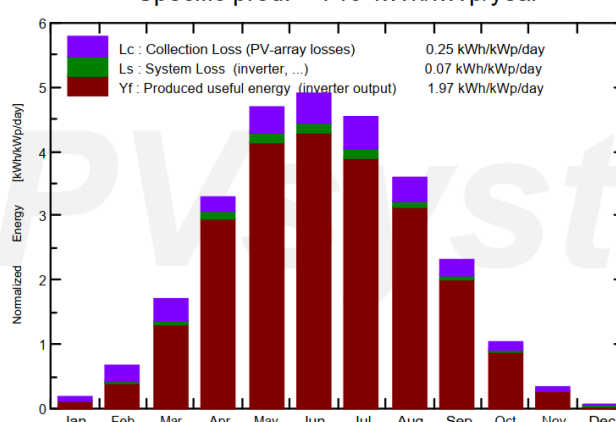
Specific prod. 624 kWh/kWp/year



NASA-SSE satellite data 1983-2005

Produced Energy 43.71 MWh/year

Specific prod. 719 kWh/kWp/year



Figur 56: Sammenligning av forskjellige meteorologiske databaser

Resultatet av sammenligningen er at ved bruk av NASA-SSE beregnes strømproduksjonen til å være 5,77 MWh større pr. år enn ved bruk av Meteororm 7.2.

Skulle man prosjektert anlegget ved bruk av NASA-SSE istedenfor Meteororm 7.2, ville man kunne installere mindre antall panel for å møte ZEB-0 kravene og dermed spare penger. Men, resultatet av den reelle produksjonen kan vise seg å ikke stemme overens med beregningene, noe som igjen kan føre til at bygget ikke møter ZEB-0 kravene. Det er derfor en fordel å være konservativ i prosjekteringen.

4.5.2 Sammenlikning av to forskjellige panel

Sammenlikning av de forskjellige panelene tidligere nevnt i oppgaven for å se på produksjonsdifferansen:

Tabell 17: Solarwatt VS. Sunpower

Solarwatt VS Sunpower			
Tak+vegg	Solarwatt - 305Wp	Sunpower - 400Wp	Differanse
Installert effekt	66,5 kWp	87,2 kWp	20,7 kWp
Produsert energi	38,5 MWh/år	51,4 MWh/år	12,9 MWh/år

Sammenligningen viser at man ved å benytte høy-effektpaneler kan øke energiproduksjonen med 12,9 MWh pr. år, ved like stort arealbruk under identiske forhold.

4.5.3 Likt anlegg plassert i Oslo-området

For å illustrere forskjellen i GHI mellom Ålesund og Oslo, er det foretatt en simulering der det prosjekterte anlegget plasseres i Oslo-området.

Man antar lik horisontlinje, og ellers like parametere, foruten meteorologiske data og soiling-loss som er noe forskjellig fra Ålesund (se tabell under 3.5.1.5.1.5).

Den innstrålte solenergien øker fra 740kWh/m² til 905kWh/m², noe som medfører en økning i anleggets årsproduksjon fra ca. 50,8MWh/år til 60,2MWh/år. En forskjell på 9,4MWh/år.

5 KONKLUSJON

Gruppen mener på bakgrunn av dette at solcellepanel plassert på fasade og tak vil være en god løsning, som både kan bidra til et positivt omdømme i nærområde og forhåpentligvis gjøre studenter mer kjent med muligheter man har og hvordan en fremtid kan se ut.

Oppdragsgiver og kunde har gitt opplysninger om at det er ønskelig å oppnå ZEB. Dette er målet gruppen, under hele oppgaven, har jobbet mot å klare. Vi

BACHELOROPPGAVE

ser at når vi får en løsning med solceller plassert på del av fasade og fullt utnyttet på tak, at det er oppnåelig. Vi kunne plassert flere panel på taket etter å ha sammenlignet med andre rapporter, men vil da få problemer med blant annet værforhold. Gruppen mener derfor at ZEB-kravene er oppfylt på en god måte med en løsning som både gruppen og kunden kan være fornøyd med. Man får da et anlegg som består av 152 solcellepanel på taket og 63 solcellepanel på fasaden med en produksjon på cirka 51.000 kWh/år.

Nedbetalingstiden på løsningen med fasade og tak er noe lang, men innenfor anbefalingene. Gruppen har sett på ulike muligheter for å senke denne tiden, og klarte å få den noe ned. Dette gjorde vi blant annet ved å benytte større og færre vekselrettere. Dette medførte at en besparelse på opp mot kr 80.000 i investeringskostnad og man fikk følgelig en lavere nedbetalingstid.

Man har gjerne et inntrykk av at solceller er positivt for miljøet med tanke på klimautslipp ettersom solenergi er en fornybar energikilde. CO₂-beregningene viser at dette ikke nødvendigvis er tilfelle i Norge. Sammenligner man derimot med en del andre land, som har en energimiks bestående av store deler kull- og gasskraftverk, vil dette stemme.

Som vist i tabell 16 vil det være en differanse i klimagassutslipp på 111.274kg CO₂ mellom scenario 1 (norsk miks) og scenario 2 (EU28 + NO). Dette tilsvarer en "nedbetalingstid" på henholdsvis 46år og 6 år.

Ut ifra de beregnede scenarioene, kan man ikke konkludere om anlegget har en positiv eller negativ virkning på klimagassutslipp i løpet av dets levetid, men tatt i betraktning at import av strøm hovedsakelig skjer på natt, kan det virke som at anlegget ikke vil bidra til reduserte klimagassutslipp.

Gjennomføringen av oppgaven har vært god. Det har hele tiden vært god fremdrift og vi har raskt fått svar på eventuelle spørsmål spesielt rettet til Norconsult og NTNU, men også de andre bedriftene.

Utfordringer gruppen hadde under gjennomføringen av oppgaven var å følge fremdriften som var satt under forprosjektet. Her var planen å utføre del for del av oppgaven, men man så etter hvert at dette ble utfordrende siden mange av temaene handler om det samme. Gruppen gjorde derfor flere av temaene samtidig, men over en lenger periode enn hva som ble bestemt under forprosjektet. Dette gjør at det var mye som ble gjort samtidig, men gruppen var

BACHELOROPPGAVE

av den oppfatning at dette var det beste for fremdriften. Med å løse oppgaven på denne måten, ble det etter hvert gjort mye som aldri ble slutført, gruppen måtte derfor underveis, som også ble beskrevet i forprosjektet, gå over å lese korrektur og ferdigstille temaer ved månedsskifte februar-mars.

Når gruppen startet med oppgaven, hadde medlemmene lite kunnskap om solcelle. Derfor har oppgaven vært veldig interessant ettersom det er voksende etterspørsel for solcellepanel. Gruppen mener også at resultatet som er utarbeidet er tilfredsstillende, og at rapporten videre kan brukes i opplæringsammenheng om solcelleinstallasjoner.

6 REFERANSER

Bhattacharyya, Sagarika. *Solar*. 17 August 2016.

<https://www.solar.com/learn/importance-of-power-tolerance-in-solar-panels/> (funnet Mars 16, 2020).

Brakels, Ronald. *Solarquotes*. 09 08 2016.

<https://www.solarquotes.com.au/blog/oversizing-solar-arrays/> (funnet 03 01, 2020).

Brown, Christian. *Aurora*. 7 Oktober 2016. <https://blog.aurorasolar.com/shading-losses-for-pv-systems-and-techniques-to-mitigate-them/> (funnet Mars 12, 2020).

C2C. *Cradle2cradle*. u.d. <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>.

Fronius. *Fronius*. u.d. <https://www.fronius.com/nb-no/norway/solenergi/produkter/all-products/system-monitoring/hardware/fronius-datamanager-2-0/fronius-datamanager-2-0>.

—. *Fronius.web*. u.d. <https://www.fronius.com/nb-no/norway/solenergi/produkter/all-products/system-monitoring/visualisation/fronius-solar-web-desktop/fronius-solar-web-and-fronius-solar-web-premium>.

Kalkulator, Smarte penger. *smartepenger.no*. u.d.

<https://www.smartepenger.no/105-kalkulator/883-beregn-bilens-co2-utslipp>.

BACHELOROPPGAVE

- Mjønerud, Ingunn. *strøm.no*. 19 November 2019. <https://strøm.no/solceller-og-solenergi> (funnet Februar 21, 2020).
- Nelfo - FEL. *Nelfo - FEL*. 2 Mars 2020. <https://www.nelfo.no/elektroteknikk/elsikkerhet/regelverk/fel/> (funnet Mars 2, 2020).
- Nelfo - FEU. *Nelfo - FEU*. 2 Mars 2020. <https://www.nelfo.no/elektroteknikk/elsikkerhet/regelverk/feu/> (funnet Mars 2, 2020).
- NVE. *NVE*. 2019. <https://www.nve.no/energiforsyning/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2018/>.
- PVsyst. *PVsyst*. 3 Mars 2020. https://www.pvsyst.com/help/general_descr.htm (funnet Mars 3, 2020).
- Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC). *2018-19 Solar Scorecard*. Analyse, Silicon Valley: Silicon Valley Toxics Coalition, 2019.
- solcelle, oppbygging av. u.d. <https://matmatch.com/blog/what-are-solar-panels-and-how-do-they-produce-electricity/>.
- Statnett. *Statnett.no*. 03 2020. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#import-og-eksport> (funnet 03 18, 2020).
- Suncurves. *Solkurver AS*. 3 Februar 2020. <https://suncurves.com/nb/v/40032/> (funnet Februar 3, 2020).
- Sunpower. *Sunpower*. u.d. <https://us.sunpower.com/why-sunpower/sustainability/cradle-to-cradle-solar-panels-certification>.
- Teknisk Ukeblad. *TU.no*. 31 10 2016. <https://www.tu.no/artikler/gront-kapplop-dette-er-de-reneste-og-skitneste-solcellene/363458> (funnet 07 02, 2020).
- Viridian Solar. *Viridian Solar*. 1 Mars 2020. <http://www.viridiansolar.com/no/solcelle-produkter-fordeler-med-integrerte.html> (funnet Mars 1, 2020).
- Webforumet. 05 02 2020. <https://www.webforumet.no/nytte/plasering-av-solceller-fa-mest-ut-av-solcellene-dine/> (funnet 05 02, 2020).

7 FIGURLISTE

Figur 1: Silisium atom	11
Figur 2: Fra sollys til energi	12
Figur 3: Monokrystallinsk og multikrystallinsk	13
Figur 4: Oppbygging av solcelle.	14
Figur 5: Skyggepåvirkning fra en pipe på et solcellepanel.....	16
Figur 6: Skyggepåvirkning for solcellepanel i serie	16
Figur 7: Typisk ballast og plassering	18
Figur 8: Festealternativ for vegg	18
Figur 9: MC4-kontakt for seriekobling og kabelinstallasjon	19
Figur 10: On-grid solcelleanlegg.....	20
Figur 11: Off-grid solcelleanlegg	20
Figur 12: Forslag til vekselretter	21
Figur 13: Oppbygging av en Fronius vekselretter	22
Figur 14: Liketrømsdel	23
Figur 15: Vekselstrømsdel.....	24
Figur 16: Kovertering fra DC til AC (https://aktif.net/en/Aktif-Blog/Technical-Articles/Pwm-at-Dc-Ac-Inverters).....	25
Figur 17: Passive filter for å fjerne støy og ripples (https://aktif.net/en/Aktif-Blog/Technical-Articles/Pwm-at-Dc-Ac-Inverters).....	26
Figur 18: Irradians- og temperaturkurve	27
Figur 19: Driftspunkt for solcelle	27
Figur 20: Maximum Power Point.....	28
Figur 21: Effektivitet vekselretter fra Fronius	29
Figur 22: Skjerm bilde av overvåkning levert av Fronius	32
Figur 23: Oversikt over produsenter og miljø (Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC) 2019)	40
Figur 24: Solcelleanlegget på Klar Energy i Hareid	42
Figur 25: Rommet med vekselrettere Klar Energy i Hareid	Figur 26:
Platinum vekselretter	42
Figur 27: Energibudsjett, hentet fra dokument 10214237 SiT Ålesund Kap 16.8 ZEB.....	44
Figur 28: Skjerm bilde av tilgjengelig takareal for plassering av solcellepanel....	45

BACHELOROPPGAVE

Figur 29: Alt. 1. Tilgjengelig veggareal.....	46
Figur 30: Alt. 2. Tilgjengelig veggareal.....	46
Figur 31: Terrenkkategori hentet fra Norsk Standard.....	47
Figur 32: Skjerm bilde fra PVsyst - Prosjektdata.....	49
Figur 33: Gjennomsnittlig årlig Global Horizontal Radiation (basert på NASA SSE datasett).....	50
Figur 34: Skjerm bilde fra PVsyst - Månedlig meteo data.....	51
Figur 35: Skjerm bilde fra PVsyst - Orientering.....	52
Figur 36: Skjerm bilde fra PVsyst - valg av inverter og solcellepanel.....	53
Figur 37: Soiling-faktor for solmoduler med helning 0-15°.....	55
Figur 38: Skjerm bilde fra PVsyst - Horisont sett fra taket.....	56
Figur 39: Skjerm bilde fra Suncurves - Solbane og horisont (Suncurves 2020) ..	56
Figur 40: Tabell A.1 GHG.faktorer CO2.....	59
Figur 41: Skjerm bilde fra Van Der Valk - under utarbeidelse av rapport.....	68
Figur 42: Utdrag fra rapport PVsyst - Stedsinformasjon og prosjektoversikt	69
Figur 43: Utdrag fra rapport PVsyst - Ballastberegninger.....	70
Figur 44: Utdrag fra rapport PVsyst - tegning og plassering av monteringsystemet.....	71
Figur 45: Utdrag fra rapport PVsyst - Plassering av ballast og arbeidsmetode sett ovenfra.....	72
Figur 46: NEK400:2018 - Eksempel på installasjon.....	74
Figur 47: Utdrag fra rapport - Karakteristikk.....	77
Figur 48: Utklipp fra rapport - Produksjonsresultat.....	78
Figur 49: Utklipp fra rapport - tapsdiagram.....	79
Figur 50: Investeringskostnad tak.....	84
Figur 51: Nedbetalingstid for installasjon på tak.....	85
Figur 52: Sammenligning av Solarwatt og Sunpower med nedbetalingstid for tak.....	85
Figur 53: Investeringskostnad vegg.....	86
Figur 54: Nedbetalingstid for installasjon på tak og fasade.....	87
Figur 55: Sammenligning av Solarwatt og Sunpower med nedbetalingstid for tak og fasade.....	88
Figur 56: Sammenligning av forskjellige meteorologiske databaser.....	92

8 TABELLISTE

Tabell 1: Forskjell mellom monokrystallinske og multikrystallinsk	13
Tabell 2: Byggets dimensjoner	42
Tabell 3: Solarwatt Vision 60m (305-320 Wp)	62
Tabell 4: Solarwatt data om panelet	64
Tabell 5: Sunpower MAXEON 3 400 Wp	64
Tabell 6: Sunpower data om panelet	65
Tabell 7: Sammenligning av Solarwatt og Sunpower	66
Tabell 8: Dimensjonering av vekselretter	67
Tabell 9: Kobling av solcellemoduler og vekselretterne på tak	75
Tabell 10: Kobling av solcellemoduler og vekselretterne på veg	76
Tabell 11: Forventet årsproduksjon solcelleanlegg	80
Tabell 12: Data for kabelberegning	80
Tabell 13: Dimensjonerende strøm	81
Tabell 14: Krav til spenningsfall	81
Tabell 15: Spenningsfall i kabel	82
Tabell 16: CO2-beregninger	89
Tabell 17: Solarwatt VS. Sunpower	93

VEDLEGG

Vedlegg 1	Forprosjektrapport
Vedlegg 2	ZEB rapport - Multiconsult
Vedlegg 3	Funksjonsbeskrivelse solcelleanlegg
Vedlegg 4	Informasjonsblad om solcelleanlegg
Vedlegg 5	Van Der Valk rapport
Vedlegg 6	PVsyst rapporter
Vedlegg 7	Budsjett og nedbetalingstid
Vedlegg 8	Merking og trekkeliste
Vedlegg 9	Drift og vedlikeholdsinstruks

BACHELOROPPGAVE

Vedlegg 10	Tegninger
Vedlegg 11	FDV
Vedlegg 12	Møteprotokoller
Vedlegg 13	Statusrapporter