

---

RAPPORT

# Landåssvingen 15

---

OPPDRAKSGIVER

Bergen Kommune - Etat for utbygging

EMNE

Skissestudie solenergi

DATO / REVISJON: 19. november 2019 / 00

DOKUMENTKODE: 616759-RIEn-RAP-001

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

OPPDRAG	<b>Landåssvingen 15</b>	DOKUMENTKODE	616759-RIEn-RAP-001
EMNE	Skissestudie solenergi	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	<b>Bergen Kommune - Etat for utbygging</b>	OPPDRAGSLEDER	Tom Arne Olsen
KONTAKTPERSON	<b>Johnny Berg</b>	UTARBEIDET AV	Marte W. Nilsson
		ANSVARLIG ENHET	10233043 Bygningsforvaltning og Bygningsfysikk Vest

## SAMMENDRAG

I forbindelse med rehabilitering av Landåssvingen 15 er det undersøkt muligheten for lokal energiproduksjon fra solceller på egnede flater. I denne utredningen gjøres det kort rede for ressursgrunnlaget og aktuell systemløsning.

Simuleringene viser at solceller integrert i skråtak på bygg B har høyest spesifikk ytelse. Solceller i stativ på flate tak viser også god ytelse. Bruk av solceller på fasader kan benyttes, men medfører lav ytelse. Dette hovedsakelig på grunn av store skyggeeffekter fra åsrygg mot sør på eventuelle solceller på fasade mot sør. Fasader mot vest kan benyttes, men vil medføre lavere ytelse enn solceller på tak.

Byggets elektrisitetsbehov er estimert utfra energimodeller bygd på normerte verdier for elektriske laster for hhv. skolebygg og kontorer. Resultatene viser svært lavt elektrisitetsbehov om sommeren som følge av ferieavvikling. Strømproduksjonen med full utbygging av solceller på flate og skrå tak, gir overproduksjon på over 250 kW på enkelte tidspunkt. Dette medfører at anlegget ikke vil være en del av plusskundeordningen, men vil måtte betale innmatingstariff for eksportert elektrisitet. Årlig produsert elektrisitet med denne løsningen er 228 000 kWh/år.

Det er videre gjort en vurdering av anleggets størrelse dersom kravene i plusskundeordningen skal ivaretas. Dette medfører at elektrisitetsoverskuddet med forutsatt forbruksprofil ikke overskrider 100 kW og det må da ikke betales innmatingstariff for eksporter elektrisitet. Dette kan eksempelvis oppnås ved utnyttelse av takflaten på bygg B, samt ca. 300 m<sup>2</sup> solceller på flate tak, eksempelvis på bygg E. Årlig produsert elektrisitet med denne løsningen er 82 000 kWh/år.

Overordnede lønnsomhetsberegninger viser at full utbygging gir noe kortere tilbakebetalingstid enn løsningen med redusert solcelleareal, men forskjellen er moderat.

Det presiseres at forutsatt forbruksprofil for bygget er vesentlig for konklusjonen og at det knyttes usikkerhet til byggets reelle elektrisitetsbehov etter rehabilitering. Beregningene tar utgangspunkt i energiberegninger med normerte verdier for elektrisitetsbehov.

00	19.11.2019	Utsendt	MWN	HUUU	TAO
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>5</b>
1.1	Om prosjektet .....	5
<b>2</b>	<b>Bakgrunn og vurderinger .....</b>	<b>5</b>
2.1	Programvare og teknologi .....	5
2.2	Tilgjengelige flater .....	6
2.3	Designvurderinger .....	6
2.4	Estimert energibehov .....	6
<b>3</b>	<b>Simuleringer .....</b>	<b>7</b>
3.1	Klimadata .....	7
3.2	Skyggetap .....	7
3.3	Modell .....	7
3.4	Simuleringsresultat .....	8
3.5	Produksjonsprofil og plusskundeordningen .....	9
<b>4</b>	<b>Reduksjon av installert effekt .....</b>	<b>10</b>
4.1	Overordnet sammenligning- full og redusert utbygging .....	10
4.1.1	Lønnsomhetsanalyse .....	11
<b>5</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Videre arbeid .....</b>	<b>13</b>

## 1 Innledning

Foreliggende rapport utreder hvorvidt solceller kan bidra til lokal energiproduksjon på Landåssvingen 15 i forbindelse med at bygget skal rehabiliteres. I denne utredningen gjøres det kort rede for ressursgrunnlaget og aktuell systemløsning.

### 1.1 Om prosjektet

Landåssvingen 15 består av totalt 6 bygg som er koblet sammen. Bygg A, D E og F er utformet med flate tak. Bygg B er utformet med skråtak med helning mot sør, og bygg C er utformet med skråtak med helning mot vest, se Figur 1. Bygget huser skole og kontorfunksjoner. Mellom bygg A og D finnes en stor glassgård som også skal rehabiliteres.



Figur 1 Bygget sett fra sør-vest

## 2 Bakgrunn og vurderinger

### 2.1 Programvare og teknologi

Programvaren PVsyst (versjon 6.84) har blitt bruk for å beregne solkraftproduksjonen. Programvaren er utarbeidet på Universitetet i Genève, og har en stor database med eksisterende PV-teknologier som kan benyttes i simuleringene. PVsyst er blant markedets mest anerkjente simuleringverktøy. Programmet blir brukt til både systemdesign og til teknisk gjennomgang av solkraftverk. PVsyst inneholder avanserte funksjoner for simulering av alle tap som kan oppstå, deriblant et 3D-verktøy for skyggesimulering.

Det er i simuleringene benyttet følgende solcellemoduler:

- Longi Solar 310 Wp Monokrystallinske moduler med konvensjonell virkningsgrad (18,96 %).

Nevnte solcellemodul har moderat virkningsgrad. Teknologien tilbys av en lang rekke leverandører, noe som bidrar til å presse prisen nedover. Det forventes at denne solcelleteknologien medfører den beste økonomiske situasjonen med tanke på lønnsomhet og tilbakebetalingstid.

## 2.2 Tilgjengelige flater

Det er gjort en vurdering av hvor stor effekt som kan installeres basert på tilgjengelig egnet areal på bygget. Byggets takflater vurderes til å være det mest aktuelle stedet for installasjon av solcelleanlegg. Fasadeflater, hovedsakelig mot sør, er i utgangspunktet også egnet, men vil for Landåssvingen 15 påvirkes mye av skyggevirkninger fra åsrygg mot sør. Solceller på fasade er følgelig ikke inkludert i foreliggende vurdering.

Se Tabell 1 for oversikt over tilgjengelige takflater. Det presiseres at det ikke er gjort vurderinger av takflatenes lastkapasitet.

Tabell 1 Oversikt takflater

	Takareal, m <sup>2</sup>	Kommentar
<b>Bygg A</b>	620	Flatt tak
<b>Bygg B</b>	592	Skrått tak, helning mot syd
<b>Bygg C</b>	1079	Skrått tak, helning mot vest
<b>Bygg D</b>	1397	Flatt tak
<b>Bygg E</b>	622	Flatt tak
<b>Bygg F</b>	708	Flatt tak

## 2.3 Designvurderinger

For flate tak på Landåssvingen 15 er øst-vest orienterte moduler i stativ med en helning på 10° vurdert som den mest hensiktsmessige løsningen.

I Bergen er optimal modulvinkel over året ca. 40°, men en lavere vinkel vil gi bedre produksjon på sommeren når solen står høyt på himmelen. Sørvendte solcellepaneler vil resultere i høyest ytelse, mens man med øst-vest orienterte moduler vil utnytte takarealet bedre og oppnå en jevnere produksjonsprofil gjennom døgnet. De fleste anlegg som installeres i Norge har moduler med en øst-vest orientering. Disse anleggene har en lavere systemkostnad enn sørvendte anlegg og løsningen vil føre til best lønnsomhet i prosjektet.

Bygg B og C er utformet med skråtak. Skråtak på bygg C vil påvirkes av skyggevirkninger fra teknisk rom, og er følgelig ikke medtatt i foreliggende vurdering. Skråtak på bygg B vurderes som godt egnet for solceller. Her anses bruk av solceller integrert i takflaten som en god løsning. Takflaten har iht. ifc-modell en helningsvinkel på ca. 6 grader.

## 2.4 Estimert energibehov

Elektrisk energibehov er estimert fra energimodeller. Det presiseres at modellene tar utgangspunkt i normerte verdier for elektriske laster og det knyttes usikkerhet til byggets reelle elektrisitetsbehov etter rehabilitering. Fjernvarme benyttes for oppvarming av bygget, noe som medfører at elektrisitetsbehovet er lite klimaavhengig.

## 3 Simuleringer

### 3.1 Klimadata

Det er benyttet klimadata for et normalår generert av Meteonorm basert på byggets geografiske koordinater.

Informasjon rundt innhentet klimadata er gitt i Vedlegg 1.

### 3.2 Skyggetap

For å vurdere skyggetap er det laget en 3D-modell av bygget i PVsyst, se Figur 2 og Figur 3. Basert på informasjon fra Google maps og oversendt tegningsgrunnlag er det ingen nærliggende elementer (bygg, trær, el.) som vil skygge for eventuelle anlegg på takene. Tekniske rom på tak vil medføre skyggevirkninger. Solceller er i beregningene plassert i noe avstand fra tekniske rom.

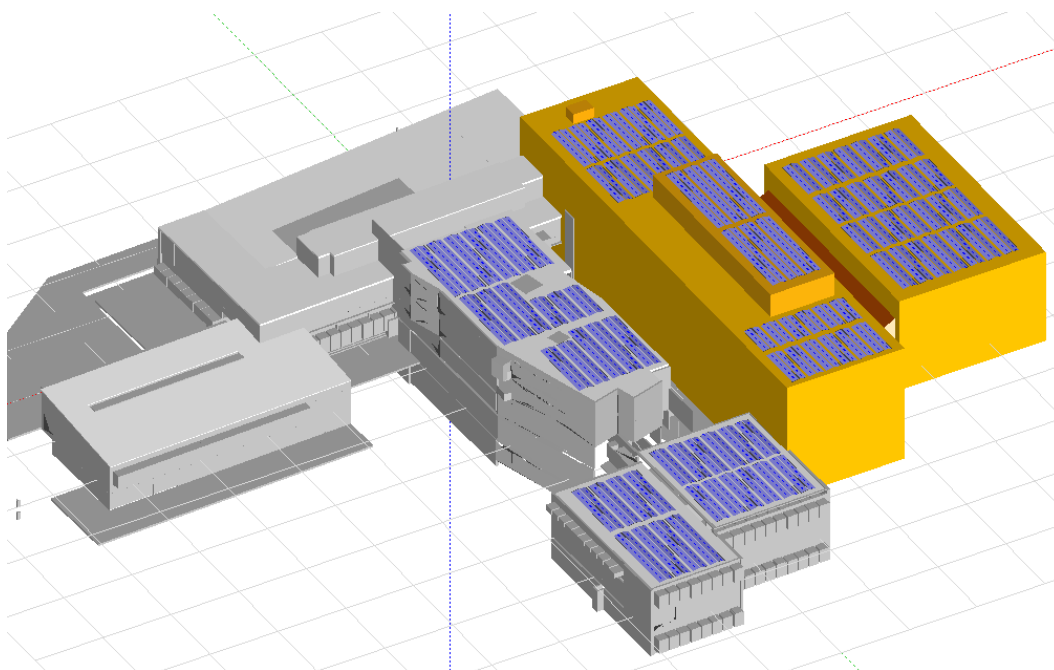
Påvirkning fra omkringliggende terreng er medtatt i horisontprofilen for området, se Vedlegg 1.

### 3.3 Modell

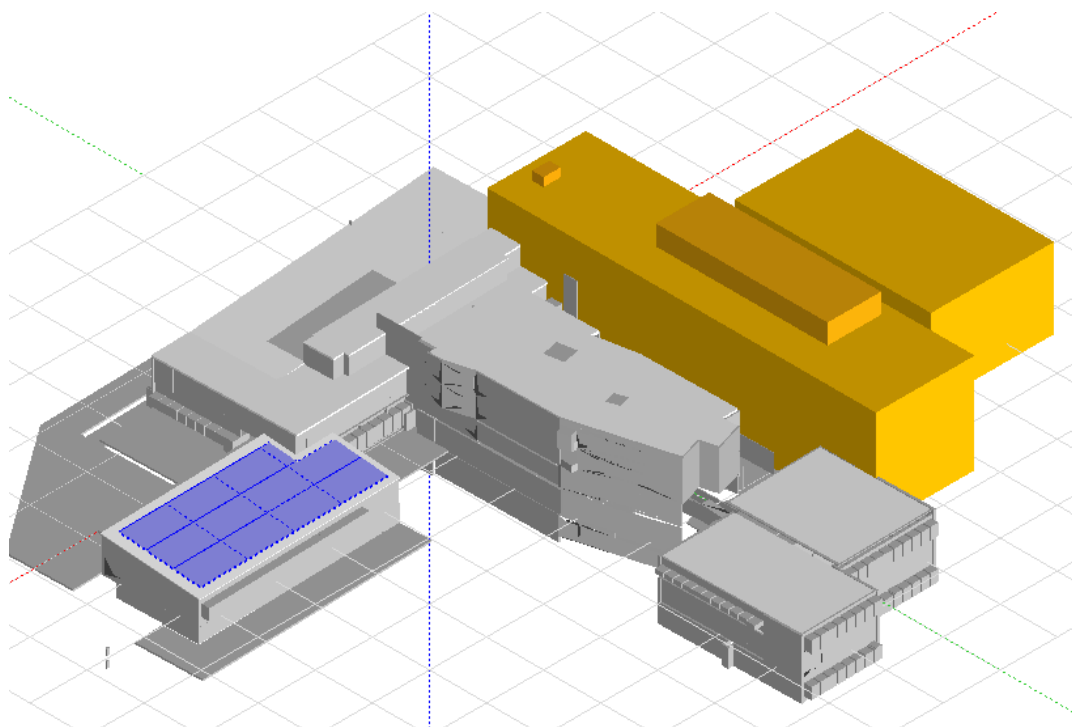
Kraftproduksjonen fra solcelleanlegget vil påvirkes av faktorer som refleksjon fra omgivelser (albedo), skygge, temperatur, vind, snø, modultap, tap i vekselrettere, tap i kabler osv. Spesifiserte tap i systemet som er inkludert i simuleringene er gitt i Vedlegg 1.

Bygget og solcelleanleggene er modellert i 3D-modeller i PVsyst. Det er gjort to separate simuleringer:

- Solceller på flate tak, se Figur 2
- Solceller på skråtak på bygg B, se Figur 3



Figur 2 3D-modell PVsyst solceller på flate tak



Figur 3 3D-modell PVsyst solceller på skråtak mot sør

Nøkkeltall benyttet i simuleringene er gitt i Tabell 2.

Tabell 2 Nøkkeltall

	Flate tak	Skråtak bygg B
<b>Moduleffekt [Wp]</b>	310	310
<b>Virkningsgrad [%]</b>	18,96	18,96
<b>Orientering [°]*</b>	90/-90	-1
<b>Helning [°]</b>	10	6
<b>Modulareal [m<sup>2</sup>]</b>	1648	432
<b>Antall moduler</b>	1008	264
<b>Installert effekt [kWp]</b>	312	82

\*Grader vest for sør

### 3.4 Simuleringsresultat

Tabell 3 oppsummerer simuleringsresultatet og viser potensialet for produksjon av solstrøm med foreslåtte løsning. Totalt produsert energimengde med full utbygging er på 228 000 kWh/år.



Tabell 3 Simuleringsresultat

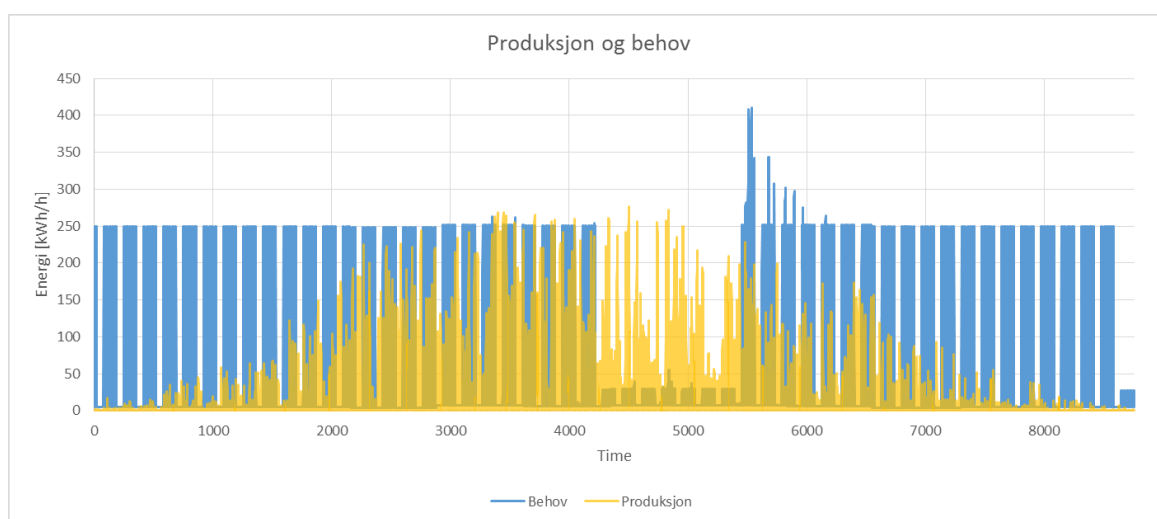
	Flate tak	Skråtak bygg B
Modulareal [m <sup>2</sup> ]	1648	432
Installert effekt [kWp]	312	82
Total elproduksjon [kWh/år]	178 000	50 000
Produksjon/solcelleareal [kWh/m <sup>2</sup> ]	109	118
Spesifikk ytelse [kWh/kWp/år]	569	623
PR [%]	77	81

### 3.5 Produksjonsprofil og plusskundeordningen

Figur 4 viser produksjonsprofilen for foreslått solcelleanlegg gjennom året. Figuren viser også forutsatt behovsprofil, som bygger på energiberegninger med normerte verdier for elektriske forbruksposter i skole og kontorbygg.

Grafen representerer full utbygging av solceller på alle egnede takflater, se Tabell 3. På grunn av sommerferie er forutsatt elektrisitetsbehov om sommeren lavt, noe som medfører stor overproduksjon. Situasjonen bedres dersom det finnes elektriske energiposter gjennom sommeren som ikke er inkludert i de normerte verdiene som energiberegningen forutsetter.

På tidspunkt hvor energiproduksjonen er større enn elektrisitetsbehovet i bygget, kan overskuddsenergi eksporteres på nettet. Dette kan gjøres gjennom plusskundeordningen. Plusskundeordningen fordrer at det ikke på noen tidspunkt mates inn mer enn 100 kW på strømmettet. Figur 4 viser et maksimalt energioverskudd på over 250 kW med foreslåtte solcelleanlegg. Under de gitte forutsetningene betyr dette at anlegget ikke kan være en del av plusskundeordningen.



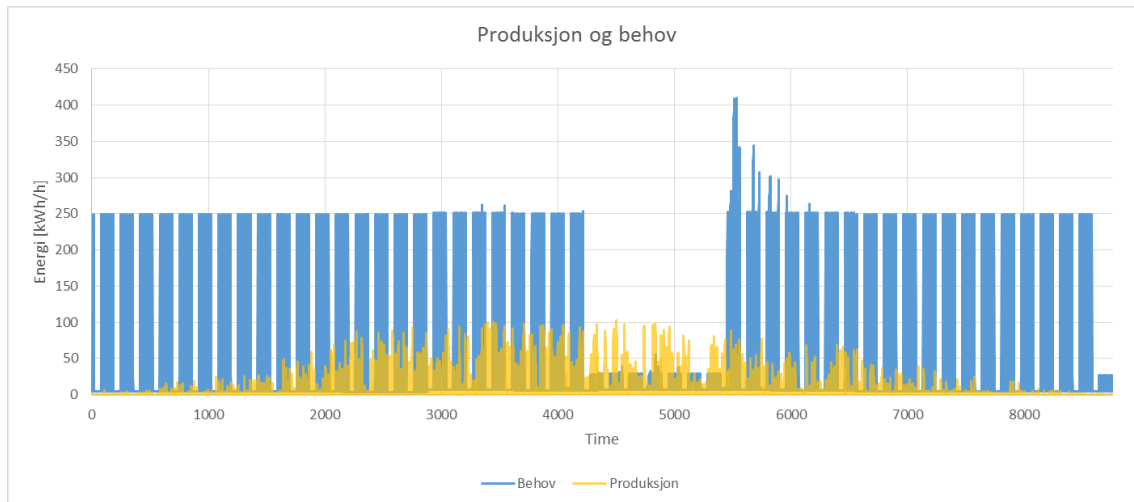
Figur 4 produksjonsprofil fra simulerte solcelleanlegg

Dersom anlegget ikke skal være en del av plusskundeordningen, må det betales innmatingstariff for elektrisiteten som selges på nettet. Innmatingstariffen er i skrivende stund på 1,3 øre/kWh. Det må i tillegg sendes søknad til NVE for å avklare om anlegget må ha omsetningskonsesjon eller ikke.

## 4 Reduksjon av installert effekt

Det er gjennomført en alternativ-vurdering for å avdekke hvor stort solcelleareal som kan installeres for at anlegget under de gitte forutsetningene skal ivareta kravene i plusskundeordningen. Dette vil si at det med forutsatt forbruksprofil ikke på noen tidspunkt eksporteres mer enn 100 kW.

Simuleringene viser at full utnyttelse av skråtak på bygg B og installasjon av ca. 300 m<sup>2</sup> solceller på flate tak, eksempelvis på bygg E, medfører en maksimal overproduksjon på ca. 100 kW.



Tabell 4 oppsummerer solcelleanleggenes ytelse med redusert areal for å overholde kravene til plusskundeordningen. Total årlig produksjon er da 82 000 kWh.

Tabell 4 Ytelse plusskundeordningen

	Flate tak	Skråtak bygg B
<b>Modulareal [m<sup>2</sup>]</b>	301	432
<b>Installert effekt [kWp]</b>	57	82
<b>Total elproduksjon [kWh/år]</b>	32 000	50 000
<b>Produksjon/solcelleareal [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	106	118
<b>Spesifikk ytelse [kWh/kWp/år]</b>	554	623
<b>PR [%]</b>	75	81

### 4.1 Overordnet sammenligning- full og redusert utbygging

Dersom anlegget ikke tilfredsstiller kravene i plusskundeordningen, må det betales innmatingstariff per kWh som eksporteres på nettet. Innmatingstariffen er per dags dato på 1,3 øre/kWh. Innmatingstariff må ikke betales dersom anlegget tilfredsstiller kravene i plusskundeordningen.

Det er gjort et kostnadsestimat for foreslåtte løsning basert på de teknologivalgene som er gjort, se Tabell 2 og Tabell 4. Kostnadsestimat for systemene er for dagens marked (eks. mva) basert på tilbud innhentet for tidligere kunder, men man må være bevisst på at systemkostnaden i stor grad avhenger av systemet som til slutt blir levert. For et anlegg som bygges ett år fra nå eller lengre frem i tid vil investeringskostnadene sannsynligvis være lavere. Kostnaden for solcelleanlegg har vært synkende de siste årene, og utviklingen er forventet å fortsette. Endelig systemkostnad forbundet

med innkjøp av denne type anlegg kan først fastsettes i det øyeblikket man sitter med en kjøpskontrakt.

Tabell 5 Kostnadsestimater

		Full utbygging		Redusert utbygging	
		Flate tak	Skråtak	Flate tak	Skråtak
<b>Installert effekt [kWp]</b>		312	82	57	82
<b>Systemkostnad [NOK/Wp]</b>	Lav	7	10	7	10
	Høy	11	13	11	13
<b>Total systemkostnad [NOK]</b>	Lav	2 184 000	820 000	399 000	820 000
	Høy	3 432 000	1 066 000	627 000	1 066 000
<b>SUM kostnad variant [NOK]</b>	Lav	<b>3 004 000</b>		<b>1 219 000</b>	
	Høy	<b>4 498 000</b>		<b>1 693 000</b>	

#### 4.1.1 Lønnsomhetsanalyse

Den økonomiske analysen er avhengig av investeringskostnader og avkastningskrav, samt anleggets levetid. Normalt vil solcellepaneler ha en garantert levetid på 25 år, men erfaring viser at de også kan fungere godt etter 40 år. Årlige besparelser ved installasjon av et solcelleanlegg vil være knyttet til reduserte energikostnader i form av kjøpt energi og nettleie, salg av energi på nettet og el-sertifikater.

I lønnsomhetsberegningene er følgende lagt til grunn:

- Reduksjon 0,4%/år degradering i solcelleproduksjon.
- Påslag av 0,5%/år av investeringskostnad for vedlikehold.
- 25 års økonomisk levetid.
- Elsertifikater i 15 år, lik pris på 18,7 øre/kWh.
- Eventuell strøm eksportert på nettet selges til spotpris (2018).
- Innmatingstariff på 1,3 øre/kWh for scenario med full utbygging
- Bytte av vekselretter halvveis i levetiden.

Tabell 6 viser netto nåverdi for solcelleanlegget for de ulike scenariene. For anlegg med negativ netto nåverdi er tilbakebetalingstiden lengre enn anleggets levetid. Tall i parentes viser anleggenes tilbakebetalingstid under de gitte forutsetningene. Full utbygging viser noe kortere tilbakebetalingstid enn systemet med redusert solcelleareal.

Tabell 6 Nåverdiberegninger

Netto nåverdi						
Scenario	2 %		4 %		6 %	
	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy
<b>Full utbygging</b>	1 460 000 (17)	-268 000 (>25)	498 000 (21)	-1 181 000 (>25)	-193 000 (>25)	-1 836 000 (>25)
<b>Redusert utbygging</b>	422 000 (19)	-126 000 (>25)	64 000 (24)	-469 000 (>25)	-194 000 (>25)	-715 000 (>25)

## 5 Oppsummering

Potensialet for strømproduksjon fra et solcelleanlegg på Landåssvingen 15 er utredet.

Følgende systemløsninger undersøkt:

- Solceller på flate tak
- Solceller i skråtak mot sør på bygg B

Simuleringene viser at solceller integrert i skråtak mot syd har høyest spesifikk ytelse. Solceller i stativ på flate tak viser også god ytelse. Bruk av solceller på fasader kan benyttes, men medfører lav ytelse. Dette hovedsakelig på grunn av store skyggevirksomheter fra åsrygg sør for bygget på eventuelle solceller på fasade mot sør. Fasader mot vest kan benyttes, men vil medføre lavere ytelse enn solceller på tak.

Byggets elektrisitetsbehov er estimert utfra energimodeller bygd på normerte verdier for elektriske laster for hhv. skolebygg og kontorer. Resultatene viser svært lavt elektrisitetsbehov om sommeren som følge av ferieavvikling. Strømproduksjonen med full utbygging av solceller på flate tak samt skråtak på bygg B gir overproduksjon på over 250 kW på enkelte tidspunkt. Dette medfører at anlegget ikke kan være en del av plusskundeordningen, og det må følgelig betales innmatingstariff på eksportert elektrisitet. Årlig produsert elektrisitet med dette solcelleanlegget er 228 000 kWh.

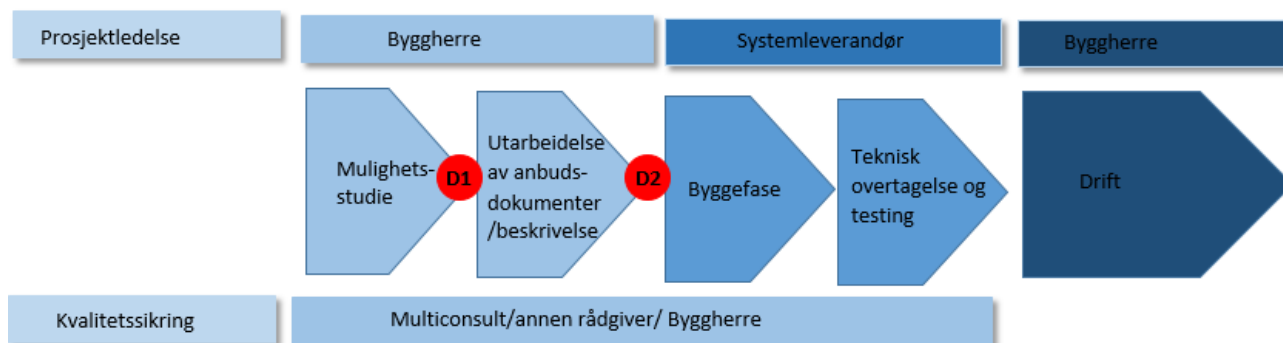
Det er gjort en alternativsvurdering med redusert solcelleareal slik at maksimal overproduksjon om sommeren ikke overskrider 100 kW med forutsatt forbruksprofil. Dette medfører at anlegget, under de gitte forutsetningene, kan være en del av plusskundeordningen og det må følgelig ikke betales innmatingstariff på eksportert elektrisitet. Årlig produsert elektrisitet med dette solcelleanlegget er på 82 000 kWh.

Overordnede lønnsomhetsberegninger viser at full utbygging gir noe kortere tilbakebetalingstid enn løsningen med redusert solcelleareal, men forskjellen er moderat. Det presiseres at det knyttes usikkerhet til byggets reelle elektrisitetsbehov etter rehabilitering, noe som vil påvirke beregningene.

## 6 Videre arbeid

Før solceller kan installeres på bygget må det gjøres en videre vurdering av eventuelle lastrestriksjonen for takkonstruksjonen. Det finnes solcelleanlegg som kun vil øke lasten på takkonstruksjonen marginalt. Disse systemene forventes i midlertid å ha en noe høyere investeringskostnad.

Arbeidet som er gjort frem til nå representerer mulighetsstudiet i en prosess som kan lede frem til et ferdig installert solcelleanlegg på bygget, se Figur 5.



Figur 5 Prosessbeskrivelse for videre fremdrift fra skissestudie frem til realisering og drift av et solcelleanlegg

Det neste trinnet er å gjøre en vurdering av beslutningsgrunnlaget i denne rapporten og evt. ytre ønsker om alternative vurderinger i forhold til konfigurasjon og systemalternativer. Etter som en beregningsmodell allerede er utarbeidet vil Multiconsult raskt kunne svare på konsekvensene av designendringer. Dette tas så med inn i en beslutningsprosess for om man ønsker å realisere anlegget og hvilket alternativ som er best. Denne beslutningen er betegnet som «D1» i figuren over.

Det neste trinnet i prosessen er å utarbeide anbuds-dokumenter for et anbud. Multiconsult kan bistå i utarbeidelse av anbudsunderlag og også bistå en leverandør med simuleringstøtte i designprosessen. Basert på beskrivelsen må systemtilbyderen gi et pristilbud som gir endelig kostnad for investeringen. Basert på denne prisen må det tas en beslutning om bygging, punkt «D2» i figuren. Multiconsult kan bistå i beslutningsprosessen og med prosjektledelse.

I byggefase bør systemleverandøren ha hovedansvaret for byggeledelsen, mens Multiconsult kan bistå med kvalitetssikring og oppfølging. Etter at systemleverandøren anser seg som ferdig med leveransen gjennomføres normalt en teknisk overtagelse av anlegget. Multiconsult kan også bistå her. Dette innebærer en mekanisk test og driftstest. Dersom det er mangler ved leveransen vil det bli utarbeidet en liste med utbedringer som skal gjennomføres før anlegget godkjennes som levert.

## Vedlegg 1

### Forkortelser

PV	Photovoltaic
BIPV	Building Integrated Photovoltaic
kWp	Kilo-watt Peak
STC	Standard Test Conditions
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
AM	Air Mass
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracker
IAM	Incidence Angle Modifier
DC	Direct current
LID	Light Induced Degradation
PR	Performance Ratio
SMA	System, Mess und Anlagentechnik (SMA Solar Technology)

### Definisjon av nøkkelbegreper

**STC (Standard Test Conditions)** - Solinnstråling på 1 000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C og atmosfæriske forhold definert som AM 1.5. Dette er standard internasjonale testbetingelser (STC) for solkraftanlegg. Effekten som måles under disse betingelsene angis med enheten kWp (se nedenfor).

**Merkeeffekt, kWp (kilowatt peak)** - Ettersom kraftproduksjonen for solceller varierer med innstrålt solenergi, temperatur og strålingsspektrum, har man definert en standard målemetode for effekten til solceller. En kWp er altså et mål på solcellepanelets ytelse under STC (standard testbetingelser). Et anlegg som leverer 20 kW under STC har altså en installert effekt på 20 kWp.

**Spesifikk ytelse, kWh/kWp/år** - Angir strømproduksjonen (kWh) uavhengig av merkeeffekten til solcelleanlegget. I Norge vil verdiene for spesifikk ytelse ligge i området 700 – 950 kWh/kWp/år, avhengig av lokalisering og design. Spesifikk ytelse er analogt med begrepet «driftstimer» som brukes innenfor blant annet vindkraft og vannkraft (total årsproduksjon dividert på effekt).

**Ytelsesfaktor (Performance Ratio, PR)** - Representerer forholdet mellom den effektive produksjonen og energien som ville bli produsert ved et "perfekt" system. Ytelsesfaktoren inkluderer tap som forårsakes av skygge, refleksjon, panelkvalitet, kvalitetsforskjeller mellom enkeltpaneler (mismatch), ledninger, osv. I motsetning til "spesifikk ytelse", som er direkte avhengig av innstrålingsforhold og orientering, er ytelsesfaktoren et nøkkeltall som gjør det mulig til en viss grad, å sammenligne systemer i forskjellig klima, men den påvirkes av temperatur. PR-verdien vil derfor være noe høyere i Norge enn i varmere land, og normalt oppnås verdier opp mot og over 80 %, noe avhengig av hvilken type anlegg det er.

## 1.1 Vurdering av kapasitet og ytelse

### 1.1.1 Utstyr

Paneler og vekselrettere forutsatt i beregninger for denne forstudien er angitt i etterfølgende to avsnitt. Det understrekes at både panel og vekselretter brukt i beregningene kun er eksempler på teknologivalg, og det finnes flere leverandører av tilsvarende utstyr på markedet. Dette kan tilpasses byggherres ønsker ved et senere tidspunkt.

#### **Moduler**

Det er foretatt beregninger med moduler av typen Longi Solar 310 Wp.

Modulene er av monokrystallinsk silisium og representerer en standard solcellemodul med en konvensjonell virkningsgrad på 19 %. Det finnes mange leverandører av slike paneler og dermed et bredere utvalg og større konkurranse enn for moduler med høyere virkningsgrad. Modulene kan installeres både som integrerte solcellepaneler og monteres i et montasjesystem på tak eller fasade.

De beste solcellene på markedet i dag har en virkningsgrad på ca. 24 %. Disse er relativt høye i pris men det finnes flere leverandører av monokrystallinske moduler med en virkningsgrad på over 20 %. Høyere konkurranse og tilgjengelighet medfører lavere kostnad.



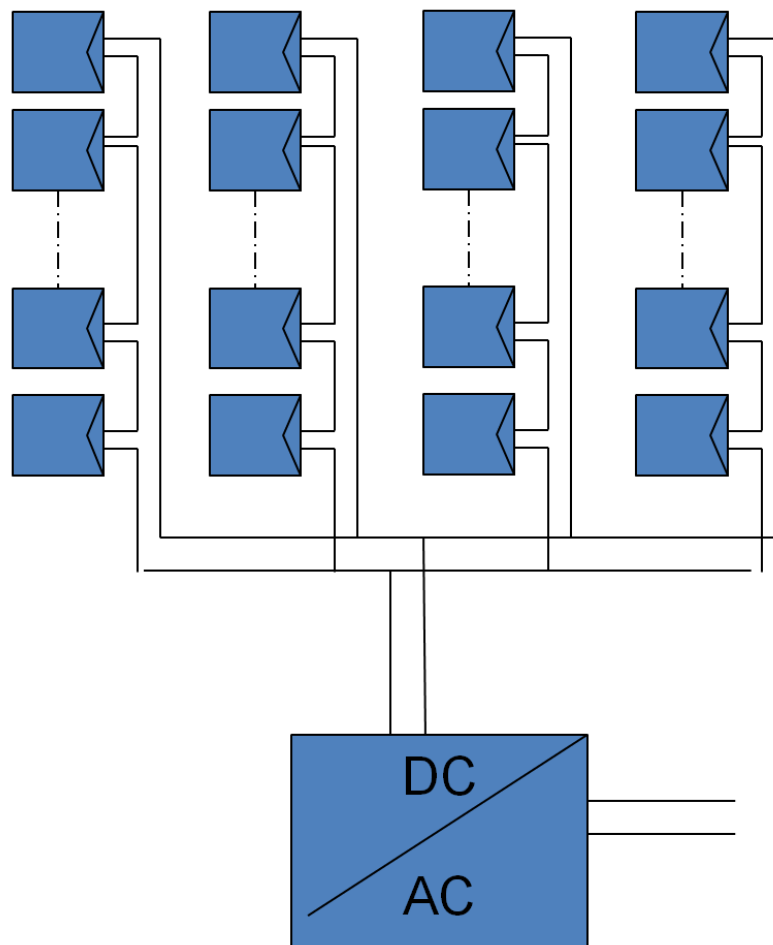
Figur V- 1 Eksempel på solcellemodul fra Longi Solar

#### **Vekselrettere**

Solceller omdanner solenergi til likestrøm, og for at elektrisiteten som produseres skal kunne sendes ut på nettet må den omformes til vekselstrøm. Det gjøres i en vekselretter.

En solcellemodul består av flere celler og vanlige krystallinske solcellemoduler yter ca. 25 - 30 volt. For å minske tap i systemet og for å få en god drift av vekselretteren kobles derfor gjerne flere moduler i serie slik at vekselretteren får en høyere inngangsspenning. Moduler koblet i en serie kalles en streng. Det kan gå flere strenger inn til en vekselretter.

I Figur V- 2 er et slikt system tegnet opp skjematisk. Vekselretteren kobles til vekselstrømnettet for innmating av produsert elektrisitet og sørger for at elektrisiteten leveres med riktig frekvens, spenning og evt. reaktiv effekt. I tillegg har vekselretteren en del sikkerhetsfunksjoner som for eksempel automatisk utkobling ved strømutfall.



Figur V- 2 Skisse av elektrisk kobling av moduler i et solcellesystem.

Ytelsen til en solcellemodul påvirkes av strålingsintensitet og temperatur. Ved lavere strålingsintensitet synker strømmen raskere enn spenningen. Økende temperatur fører til at strømmen stiger litt, mens spenningen synker raskere. Optimalt driftspunkt (MPP) tilsvarer punktet hvor produktet av strøm og spenning gir høyest verdi. MPPT regulerer forholdet mellom strøm og spenning slik at effekten blir høyest mulig. De fleste vekselrettere har 1 eller 2 MPPT'er.

Flere vekselrettere gir også en mulighet for overvåkning av produksjonen til anlegget. Dersom systemet kobles til internett vil produksjonsdataen sende til en database, slik at man til enhver tid har oversikt over produksjonen og eventuelle feil som måtte oppstå. Ved alvorlige feilmeldinger kan en e-post eller sms sendes til ansvarlig driftspersonale.

Dersom man ønsker det kan også de fleste vekselrettere kobles mot en skjerm som viser kraftproduksjonen fra anlegget. Som oftest settes denne typen skjermer opp for å vise momentan produksjon og totalt akkumulert produksjon siden oppstart av anlegget.



## Skissestudie solenergi - Vedlegg



Figur V- 3 Visualisering av kraftproduksjon fra solcelleanlegg (Kilde: SMA)

I beregningene er det forutsatt at vekselrettere fra tyske SMA benyttes. SMA har lang erfaring med vekselretterteknologi og er kjent for god kvalitet på sine produkter. SMA er den største leverandøren på det globale markedet og har et bredt utvalg av produkter. Vekselretteren benyttet i simuleringene er en streng-vekselretter. Streng-vekselrettere er som regel mulig å plassere ute, men må da plasseres i skyggen og helst under tak. En mulig plassering av en vekselretter er å benytte deler av nordveggen for et bygg. En slik plassering vil også kunne forenkle ankomsten til vekselretteren dersom den skal kontrolleres eller repareres.

Vekselrettere kan lage en lav brummelyd, avhengig av modell, men er mest sannsynlig ikke til sjenanse for de som benytter bygget.



Figur V- 4 Vekselretter SMA Sunny Tripower

### **Montasjesystem flate tak**

For flate tak finnes det flere typer montasjesystemer med ulike muligheter for montering og orientering. For flate tak kan panelene orienteres mot både sør og mot øst/vest. Byggets orientering vil også bli tatt hensyn til i løsningen og påvirker arealutnyttelse og produksjon.

Optimal elproduksjon fra solceller skjer med solcellemoduler orientert mot sør. En orientering mot øst/vest bidrar likevel til en høyere installert effekt da man får en bedre utnyttelse av det tilgjengelige takarealet, se figur under.



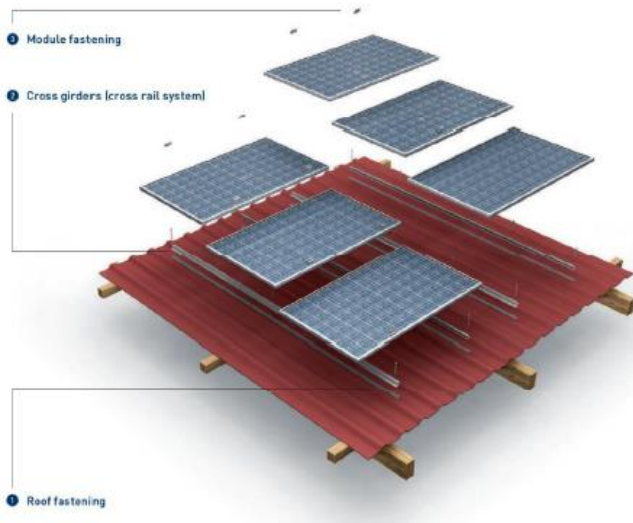
Figur V- 5 Eksempel på montasjesystem med øst-vest orientering (Bilde: Thor Christian Tuv, FUSen AS)

Hvis modulene vinkles mot sør (mot solen) vil innstrålingen på flaten øke med ca. 20 %. De fleste montasjesystemer for flate tak har en helningsvinkel på ca. 10-20°. For å unngå skygge må det være en viss avstand mellom hver rekke med slike vinklede moduler. Dersom rekkene plasseres for tett, vil man få betydelige tap på grunn av skygge fra foranstående rekke. Derfor plasseres de gjerne med en avstand som gir opptil 50 % utnyttelse av tilgjengelig takareal. Øst-vest orienterte moduler gir mindre skygge og kan plasseres med mindre avstand enn for moduler orientert mot sør. Dette fører til bedre utnyttelse av arealet.

Montasjesystemer for flate tak benytter ballast slik at man unngår boring i yttertaket eller forseglingsbelegg. I tillegg har disse systemene som regel en aerodynamisk utforming som gjør at modulene suges ned mot taket når det er vind. Nødvendig vekt for ballasten beregnes ut fra snø- og vindlaster, samt strukturstyrke. Totalvekt for denne type systemer ligger på 15 – 20 kg/m<sup>2</sup> pluss ballast. Taket må være konstruert til å tåle lasten i tillegg til vekten av paneler og ballast.

### **Montasjesystem skrå tak**

For skråtak eksisterer det flere typer løsninger for montasje av solceller. Det finnes løsninger hvor modulene erstatter takbelegget eller hvor solceller er en integrert del av taktekkingsmaterialet, f.eks. takstein. Eksempler på to typer montasjesystemer er vist i figurene under. Det finnes flere leverandører av denne typen montasjesystem



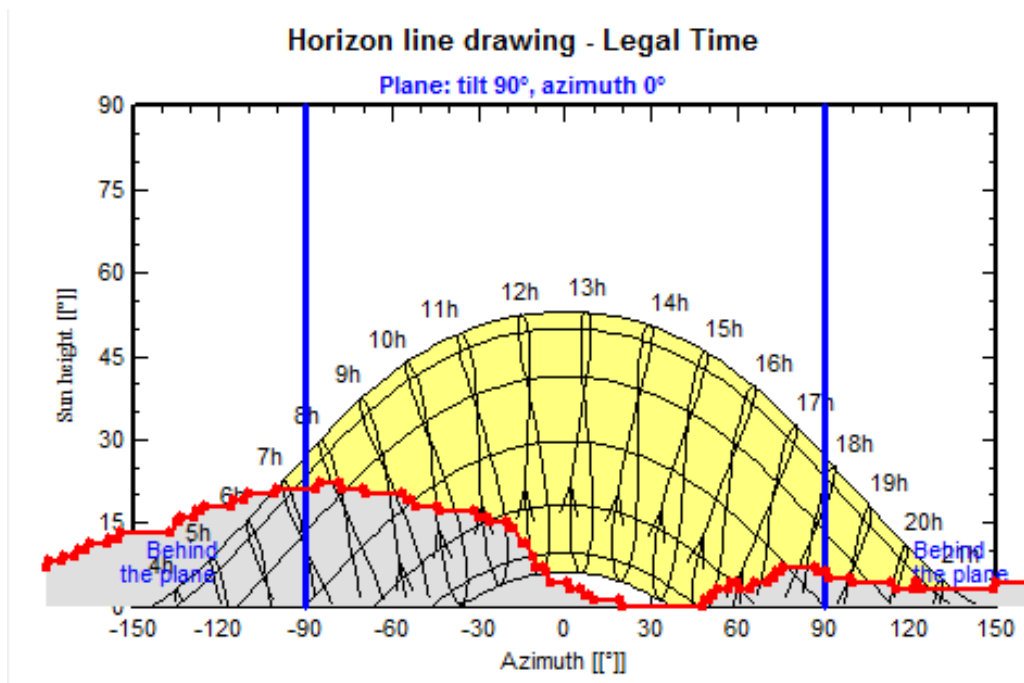
Figur V- 6 System montert på taket (Kilde: Donauer)      Figur V- 7Integrert system (Kilde: Ernst Schweizer AG)

For eksisterende bygg der takteknik ikke skal skiftes er det mest hensiktsmessig å benytte en løsning tilsvarende den illustrert i Figur V- 6. I nye bygg er et integrert system ofte den beste løsningen. Kostnaden kan da beregnes mot hva man ellers må investere for å få et vanntett tak. Denne løsningen er også estetisk en bedre løsning. Systemer hvor solcellene monteres i stativer oppå taket vil ha en noe bedre elproduksjon på grunn av mer effektiv ventilasjon av modulene.

### 1.2 Skyggesimulering

For å vurdere skyggetap er det laget en 3D-modell av byggene i PVsyst. Omkringliggende bygninger og konstruksjoner er også modellert for å hensynta interne skyggevirkninger.

Påvirkning fra omkringliggende terreng er medtatt i horisontprofilen for området, se Figur V- 8. Det sees store hindringer i horisonten mot Ulriken i øst.



Figur V- 8 Horisontprofil

### 1.3 Systemtap

Kraftproduksjonen fra solcelleanlegget påvirkes ikke kun av solinnstråling og orientering, men påvirkes også av faktorer som refleksjon fra omgivelser (albedo), skygge, temperatur, vind, snø, modultap, tap i vekselrettere, tap i kabler osv. For å utføre simuleringer av kraftproduksjon må en rekke former for effekttap spesifiseres. Det er i dette studiet benyttet standardiserte verdier anbefalt av programvaren PVsyst og validerte verdier fra solenergibransjen. Verdiene er gitt i Tabell V- 1.

Tabell V- 1 Systemtap

NOCT (°C) – moduler i stativ/moduler på skråtak	45/56
DC-tap @STC (%)	1,5
Effekttap @MPP (%)	1,0
LID (%)	1,0
Solcellekvalitetstap (%)	0

I Norge vil den dominerende soiling-effekten være snødekke og denne øker med lavere helningsvinkel. Flere steder i Norge vil ha varig snødekke flere måneder hver vinter. Nettstedet [www.senorge.no](http://www.senorge.no) inneholder detaljerte statistiske data for snødekke for hele Norge. Statistikken omhandler snødekke på horisontale flater og betyr dermed ikke automatisk at solcellemodulene vil være dekket med snø. Dette vil avhenge av helningsvinkel, geometrien til solcellemonteringen, samt eventuelle systemer for snøfangere. For solcellemoduler som er montert flatt vil snødekket ligge nesten like lenge som på flatmark, mens med en helning på 40° eller mer vil snøen for de fleste tilfeller gli av.

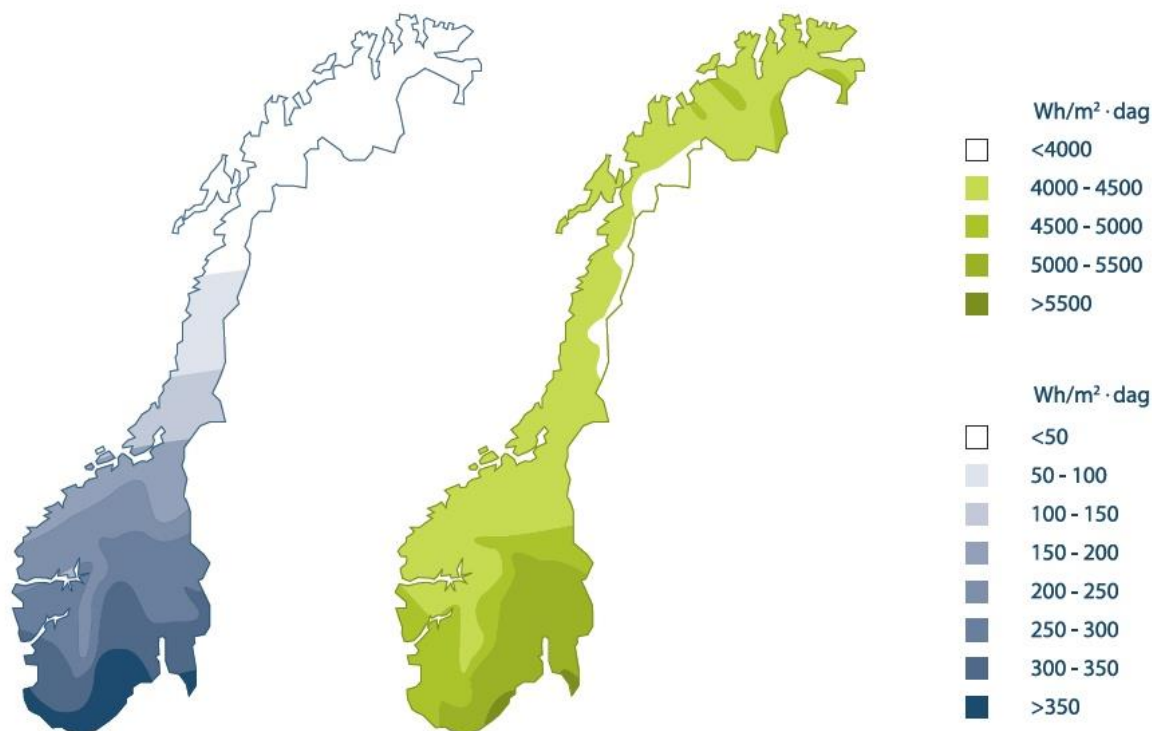
Veiledende verdier for snø- og soilingfaktorer i Bergen er gitt i Tabell V- 2.

Tabell V- 2 Snø- og soilingtap (%)

Helning	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
0 – 15°	15	30	15	2	2	2	2	2	2	2	2	23

### 1.4 Lokale solressurser - værdata

Kraftproduksjonen til et solenergianlegg er avhengig av lokal solinnstråling og vinkelen mellom modulene og solen. Høyere strålingsintensitet gir høyere kraftproduksjon. Temperatur og vind påvirker også anleggets ytelse. Virkningsgraden til solcellene stiger ved lavere temperaturer og vind bidrar til nedkjøling av varme solceller.



Figur V- 9 Solinnstråling i Norge i henholdsvis januar og juli. Kilde: [www.fornybar.no/](http://www.fornybar.no/) Endre Barstad

Solenergiressursene i Norge er dessverre ikke kartlagt med like stor nøyaktighet som for nedbør og vind. Årlig solinnstråling kan variere så mye som 10 – 15 % fra gjennomsnittsverdien for enkelte år og derfor benyttes ofte klimadata målt over flere år som grunnlag for produksjonsberegninger, såkalte normalår. Det er hentet værstatistikk for området der hvor det er tilgjengelig.

Værstatistikk er hentet fra Meteonorm 7.1. Meteonorm er en software som kan brukes til å generere værstatistikk for steder hvor det ikke finnes lokale værstasjoner. Datasettet genereres ved interpolasjon mellom de nærmeste bakkestasjonene og eventuelt satellittdata. Årlig solinnstråling kan variere så mye som 10 – 15 % fra gjennomsnittsverdien for enkelte år. Derfor benyttes klimadata målt over flere år som grunnlag for produksjonsberegningene, såkalte normalår.

Øvrige aktuelle kilder for værstatistikk:

- Nasa-SSE er en gratis tilgjengelig tjeneste på nettet. Værdataene i denne databasen er generert på bakgrunn av satellittdata (Meteosat, fra Den europeiske romfartsorganisasjon - ESA).
- PVGIS er en gratis tilgjengelig tjeneste på nettet basert på resultatet fra et tidligere EU-prosjekt. Værdataene i denne databasen er generert på bakgrunn av satellittdata.

Tabell V- 3 viser månedlig, global solinnstråling på en horisontal flate fra Meteonorm.

Tabell V- 3 Solinnstråling [kWh/m<sup>2</sup>]

Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
5.0	159	47.6	92.7	135.5	138.1	123.3	90.7	56.9	26.8	7.8	3.0

Av de tre kildene Meteonorm, PVGIS og NASA regnes Meteonorm til å være den mest pålitelige, og er følgelig benyttet for foreliggende evalueringer. Gjennomsnittlig årlig innstrålt solenergi på en horisontal flate på Landåssvingen 15 er oppgitt å være 743.2 kWh/m<sup>2</sup>.

Til sammenligning er gjennomsnittlig årlig innstrålt solenergi på en horisontal flate i München oppgitt å være 1 150 kWh/m<sup>2</sup>.

## 1.5 Plusskundeordningen

For å få lov til å levere elektrisitet ut på nettet i Norge må man vanligvis ha konsesjon. For mindre anlegg (under 10 MW) er det derimot ikke krav om konsesjon. Den lokale netteieren må imidlertid godkjenne størrelsen på innmatingen og innmatingspunktet, i tillegg har de fleste netteiere noen tekniske krav som må oppfylles for å få lov til å knytte seg til nettet, f.eks. en smart strømmåler.

Normalt må kraftprodusenter inngå en balanseavtale med Statnett for å få tilgang til å handle i engrosmarkedet for elkraft. Denne avtalen må i prinsippet inngås uavhengig av størrelse på solcelleanlegget. Videre skal forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomhet og tariff (kontrollforskriften) følges. Dette innebærer en utgift til det lokale nettselskapet basert på anleggets midlere årsproduksjon.

NVEs plusskundeordning gjør at småskala solprodusenter kan få betalt for overskuddsstrømmen som de leverer ut på nettet. I ordningen er det vedtatt dispensasjon fra kontrollforskriften, og sluttbrukere trenger ikke inngå en balanseavtale med Statnett. I dispensasjonsvedtaket heter det at plusskunden kan levere overskuddskraft ut på nettet i perioder, men produksjonen kan ikke overstige forbruket over året. Det forutsettes også at det maksimalt leveres 100 kW overskuddskraft.

Plusskundeordningen er en midlertidig og en frivillig ordning. Det forutsettes fortsatt at det ikke på noen tidspunkt mates inn mer enn 100 kW på nettet. Andre endringer i ordningen er at overskuddskraften selges til et energiselskap og ikke til et nettselskap, samt at plusskunden er fritatt fra innmatingstariffens faste ledd.

Plusskundeordningen åpner for at overskuddskraft fra solcelleanlegg kan mates inn på strømmettet. Man kan typisk få betalt noen øre per kWh som mates inn. Det er et krav til at innmatet effekt i tilknytningspunktet ikke på noe tidspunkt overstiger 100 kW. Dersom det på et tidspunkt mates inn mer enn 100 kW karakteriseres man ikke lengre som plusskunde. Frem til 1.1.2019 medførte innmating av kraft over 100 kW relativt store kostnader. Disse påløp uavhengig av hvor mye energi som faktisk ble matet inn. 1.1.2019 ble det innført endringer i regelverket om anleggsbidrag som medfører at konsekvensen ved å ikke være plusskunde reduseres. Ordningen fungerer slik at man betaler andre tariffledd for innmating basert på faktisk innmatet produksjon. Som eksempel vil det for et anlegg på 0,99 MW som mater inn 100 000 kWh koste 1 300 kr/år (1,3 øre/kWh).