

FORUM ARKITEKTER AS

# SOLKRAFTANALYSE PÅ MANGER BRANNSTASJON

ADRESSE COWI AS  
Karvesvingen 2  
Postboks 6412 Etterstad  
0605 Oslo  
TLF +47 02694  
WWW cowi.no

## INNHOLD

|     |                                                   |    |
|-----|---------------------------------------------------|----|
| 1   | Energiltak                                        | 2  |
| 1.1 | Solcelleteknologi                                 | 2  |
| 2   | Livssyklus kostnadsanalyse (LCC)                  | 6  |
| 2.1 | Metode                                            | 7  |
| 2.2 | Solkraft simulering og teknøkonomiske vurderinger | 8  |
| 3   | Konklusjon                                        | 10 |

OPPDAGSNR.

A245017

DOKUMENTNR.

VERSJON

001

UTGIVELSESDATO

BESKRIVELSE

UTARBEIDET

Henrik Vassdal

KONTROLLERT

Jarle Austbø

GODKJENT

## 1 Energiltak

Produksjon av egen energi er gunstig både for miljøet og forutsigbarhet, men også for lommeboken. Manger ligger i strømområdet NO5 som dekker Vest-Norge. NO5 betegnes som et eksportområde for energi, det vil si at det som regel er mer produksjon av energi enn forbruk. NVE estimerer at dette kommer til å fortsette fram mot 2030, selv om forbruket kommer til å øke grunnet elektrifisering av transport og petroleumsnæringen, samt ny industri på Kollsnes og Mongstad (NVE, 2022).

Selv om NO5 er netto eksportør av energi vil ikke dette utgjøre noe særlig forskjell på strømprisen i området, sammenlignet med områdene med høyere forbruk. Historiske data fra Nord Pool viser at Vest-Norge (NO5), Østlandet (NO1) og Sør-Norge (NO2) har, de siste årene, hatt identiske strømpriser med unntak av noen få dager (Nord Pool, 2023). Dette skyldes god overføringskapasitet mellom områdene, samt en tett tilknytning til Europa.

Grunnet tett tilknytning til de andre strømområdene, samt Europa, vil strømprisen i Bergensregionen følge prisen i resten av Sør-Norge og Europa. Dette gjør at tiltak for elektrisk energibesparelse og solkraftproduksjon økonomisk fordelaktige i årene som kommer.



Figur 1: Illustrasjon av prisområdene i Norge (Statnett, 2023).

### 1.1 Solcelleteknologi

#### 1.1.1 Solceller

Solceller er unike i måten de konverterer solens innkommende lys direkte til elektrisitet uten støy og forurensning under drift. Et solkraftanlegg bestående av ikke-bevegelige deler gjør systemet robust, reduserer behovet for vedlikehold og minimerer risikoen for kritiske feil og nedetid.



Figur 2: Solcelleanlegg på skråtak (COWI, 2022).

Strøm-, spenning- og effektkarakteristikken, samt effektiviteten til en modul er avhengig av design, temperatur, helningsvinkel og mengde innstrålt sollys. Installert effekt og modulenes effektivitet, er verdier målt i laboratorium, utført av produsentene ved standard testbetingelser (STC). STC innebærer 25°C solcelletemperatur, bestrålingsstyrke 1000W/m<sup>2</sup> og sollysspektrum AM1,5G (AM = air mass).

Installert effekt er oppgitt i watt peak, Wp. Effektivitet, forholdstallet mellom innkommende sollys og produsert energi, er oppgitt i prosent. Når modulenes helningsvinkel og lokasjon er bestemt, kan en beregne systemets spesifikke ytelse. Spesifikk ytelse betegner mengde energi, i kWh, systemet produserer per installert effekt, i kWp, i løpet av ett år. Verdien er i stor grad lokasjons- og helningsvinkelavhengig, en bør derfor forsøke å optimalisere denne for høyest mulig energiproduksjon.

### 1.1.2 Vekselretter

Likestrøm, som solcellene produserer, er lite anvendelig i bygg og samfunnet generelt. Et solcelleanlegg som består av mange solcellemoduler koblet i serie og parallelle strenger må derfor kobles inn i en vekselretter. Vekselretteren omformer likestrømmen til vekselstrøm med riktig spenning og frekvens til tiltenkt bruk. Vekselretteren maksimerer også effekten innad i modulstrenger, noe som øker systemets totale effektivitet. Vekselretteren kan støye noe (70-80 dB), men kan plasseres på tak eller i tekniske rom for å hindre negative konsekvenser av dette.

Solcelleanlegget kobles som regel direkte i en fordelingstavle bak måleren til bygget. Dette fører til at forbruk prioriteres fra solcelleanlegget og eventuell overskuddsenergi eksporteres på kraftnettet.

### 1.1.3 Montering ved skråtak eller flatt tak

#### **Takmontert anlegg ved skråtak**

Montasjesystem tilpasses hvert enkelt prosjekt for å passe med utforming av bygg eller terreng. Ved skråtak monteres normalt solcellemodulene rett på

taket. Dette gir ikke nødvendigvis optimal utnyttelse av panelene, og ytelsen vil variere fra tak til tak der helning, himmelretning og omkringliggende bygg som skyggelegger er hovedfaktorene.

#### **Takmontert anlegg ved flate tak**

Det finnes hovedsakelig to installasjonsmetoder for modulene ved flate tak; én vinkling mot sør og én vinkling med kombinasjon av moduler vendt mot øst og vest som vist i Figur 3. Sørvendte moduler vil gi høyest spesifikk ytelse og dermed oppnå lavere CO<sub>2</sub> utslippsfaktor per kWh produsert. Ulempen er derimot at sørvendte installasjoner vil være mindre aerodynamiske, dyrere å installere og kreve mer arbeid sammenlignet med øst- og vestvendte moduler. I tillegg vil øst- og vestvendte moduler kunne utnytte en større del av taket og dermed få en høyere strømproduksjon per areal på tak.

Strømproduksjonen for øst- og vestvendte anlegg vil være noe lavere midt på dagen, men gir mer strøm tidligere og senere på dagen sammenlignet med sørvendt anlegg. Denne produksjonsprofilen sammenfaller godt med når det oftest er høyt strømforbruk i kraftnettet og dermed dyrere strøm.



*Figur 3: Eksempel på øst/vest vendt anlegg. Foto: Aftenposten.*

#### **1.1.4 Regelverk solanlegg**

##### **Regelverk ved plassering av moduler etter NEK400-7-712**

Ved installasjon av solcellemoduler må det etableres termiske skiller som muliggjør maksimal termisk utvidelse. En må også påse at bærekonstruksjonen til taket tåler den ekstra vekten knyttet til solcelleanlegget, i tillegg til vind- og snølasten i området. Det bør også tas hensyn til at solcellene er plassert slik at panelene innad en streng har samme skyggeforhold, temperaturforhold og forurensning av overflaten fra støv, smuss, fuglebæsj, snø, etc.

Når solcelleinstallasjoner installeres på tak vil det dekke til bygningsflaten eller utgjøre bygningsoverflaten. Installasjonen vil derfor være et hinder ved bekjempelse av branner.

På flatt tak vil følgende gjelde:

- > Ved installasjon på tak skal det være minst 1m fra en av takets ytterkanter, fortrinnsvis ved mulig oppstillingsplass for brannbil på bakkenivå.
- > Det må være minst 1,25m fra brannskiller som stikker opp over taket.
- > Ved solcelleflater lenger enn 40m, skal det være en solcellemodulfri sone med bredde på minst 1m hver 40m.

**På tak med møne der kun den ene siden av mønet er benyttet er det ingen krav til avstand fra takets ytterkanter eller mønet.**

### **Regelverk ved innmating av strøm på nettet (Plusskunde)**

Solkraftanlegg på bygg krever som regel ikke anleggskonsesjon (NVE, 2022).

- > **Plusskunder med innmating under 100 kW.** Mindre anlegg der maksimal innmating til nettet er lavere enn 100 kW. Det kan også gjelde større anlegg med høyt egenforbruk. Det er ingen avgifter på innmating ved dette nivået. Regnes per strømmåler.

## 2 Livssyklus kostnadsanalyse (LCC)

Når en utfører en livssyklus kostnadsanalyse beregner en kostnader for solkraftanlegget over hele levetiden fra dagens dato, betegnet netto nåverdi. Analysen viser den totale kostnaden for hele solkraft anlegget og systemets LCOE (Levelized Cost of Energy). LCOE er kostnaden per kWh anlegget er forventet å produsere, altså den langsiktige marginalkostnaden til energi produsert.

For å sammenligne beregnet LCOE med energi en kjøper, spotprisen inkludert nettleie og avgifter, forutsettes det at all energi produsert fra solkraftanlegget forbrukes selv. Grunnen til denne forutsetningen er at det er mer å spare ved bruk av egenprodusert energi enn det en tjener på salg av energi til kraftnettet. Dette skyldes at en betaler nettleie ved kjøp av energi samtidig som salgsprisen ofte lavere enn kjøpsprisen.

### Strømproduksjon og installert effekt

For simulering av strømproduksjonen er det satt opp 3D-modeller av byggene som skal vurderes og deres nærliggende bygninger med horisont. Modellene brukes til å vurdere plassering av solcellemoduler samt skygge fra bygget, omkringliggende bygninger og topografien i området.

Ved vurdering av solkraftanleggets utforming er det antatt at systemet degraderes 0,2% per år. Denne antakelsen er gjort basert på at degraderingsraten varierer mhp. blant annet installeringsmetode og klimatiske forhold. Store deler av anlegget vil være på bygningskroppen, noe som gir lavere nedkjøling enn ett frittstående anlegg. Samtidig vil anlegget sjeldent oppleve høye temperaturer i kombinasjon med høy fuktighet. Sommert betyr dette lavere degraderingsrate enn medianverdien på verdensbasis.

### Prisestimer

Estimering av pris per kWp (spesifikk pris) har høy usikkerhet, da tilbakemeldinger fra leverandører og installatør har store spenn. Rapporten fra Solenergiklyngen som kom i 2021, tar for seg antatt investeringskostnad (Solenergiklyngen, 2021). Her kommer det frem at en ved næringsbygg kunne forvente en investeringskostnad på 8 kr/Wp for standard takinstallasjoner. Denne prisen stemmer godt med COWI sine øvrige erfaringstall.

I etterkant av at Solenergiklyngen publiserte sin rapport har det inntruffet flere globale hendelser som påvirker prisene for solcelleanlegg. Handelskrig mellom Kina og USA samt pandemi og krig i Ukraina har økt prisene, spesielt på råvarematerialet polysilisium som brukes i solcellemodulene. Dette gjør at vi har sett en økt investeringskostnad. COWI sine ferske erfaringstall fra lignende prosjekter ligger nå rundt 9,5 kr/Wp for tak. Videre er det antatt at utskiftning av vekselretter etter endt levetid, 15 år, vil koste 10% av investeringskostnaden. Det er også antatt en årlig drift- og vedlikeholds kostnad på 0,5% av investeringskostnaden.

Som allerede påpekt har estimering av investeringskostnad høy usikkerhet. COWI forventer at investeringskostnaden vil reduseres noe i 2023 og at vi deretter ser en videre reduksjon av investeringskostnaden i årene som kommer.

### Levetid

I en livssyklus kostnadsanalyse er levetiden en sentral parameter. I dag er produktgarantien typisk 25 eller 30 år. I dette notatet er 30 år lagt til grunn.

Merk at levetiden er satt fra garantier som ofte sier at anlegget skal produsere minst 85% av hva det gjorde som nytt, ved garantiperiodens utløp. Et solkraftanlegg som produserer 85% av hva det gjorde som nytt, produserer fortsatt store mengder energi.

## 2.1 Metode

Kostnadene over livsløpet til solcelleinstallasjonene blir vurdert ved først å simulere energiproduksjon i programvaren PVsyst, før kostnadsanalyse gjennomføres i programvaren HOMER Pro. Anleggets størrelse er begrenset av byggets utforming, NEK400:2022 og solinnstrålingsforhold. I solkraftsimuleringen av nybygget på Solend er det brukt øst- vestvendt panelkonfigurasjon med 10° helning. Denne helningen bidrar til å minske skyggelegging.

Ved simulering av solkraftsystemene er REC 375NP2 Si-mono paneler valgt. Disse har en effektivitet på 20,5% under STC (standard test betingelser). For høyest utnyttelse av takarealet er solcellemodulene plassert parallelt med byggets fasader.

## 2.2 Solkraft simulering og teknøkonomiske vurderinger

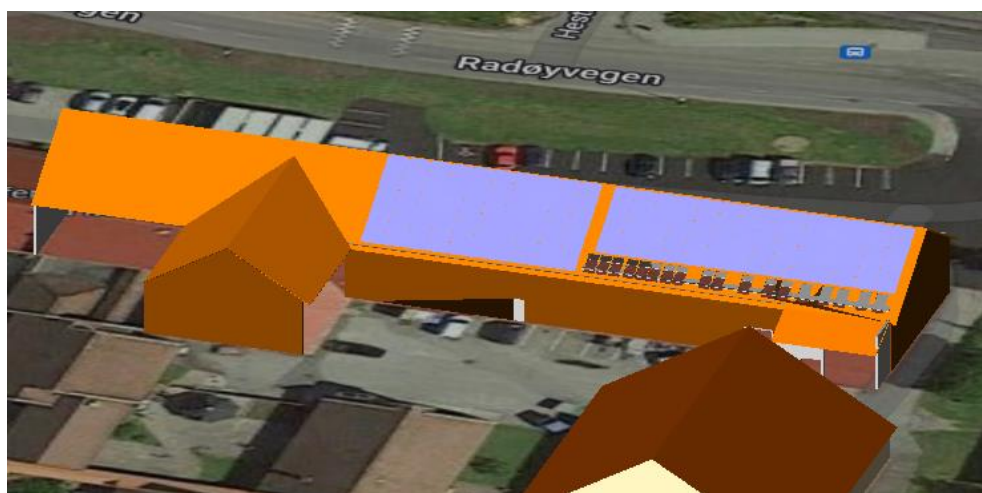
Både meieribygget og nybyggalternativet på Solend er undersøkt. Meieribygget har et sørvendt skråtak som egner seg meget godt for solceller som gir høy produksjon. Nybyggalternativet på Solend har et stort flatt tak som gir muligheter for et øst- og vestvendt anlegg. Dette gir mindre produksjon, men gir et produksjonsmønster som er jevnere fra tidligere på morgenen og til senere på kvelden.

| Standardtall for de ulike lokasjonene |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Diskonteringsrente                    | 4 %                        |
| Inflasjonsrate                        | 2 %                        |
| Levetid Solcellepaneler               | 30 år                      |
| Levetid vekselretter                  | 15 år                      |
| Kostnad utskiftning vekselretter      | 10% av investeringskostnad |

Tabell 1: Simuleringsparametere valgt for den økonomiske analysen.

### 2.2.1 Meieribygget

Paneler er plassert på det sørvendte skråtaket på delen av bygget som er tiltenkt brannstasjon. Taket er i praksis perfekt egnet for maksimal solkraftproduksjon med god helning og sørvendt himmelretning.



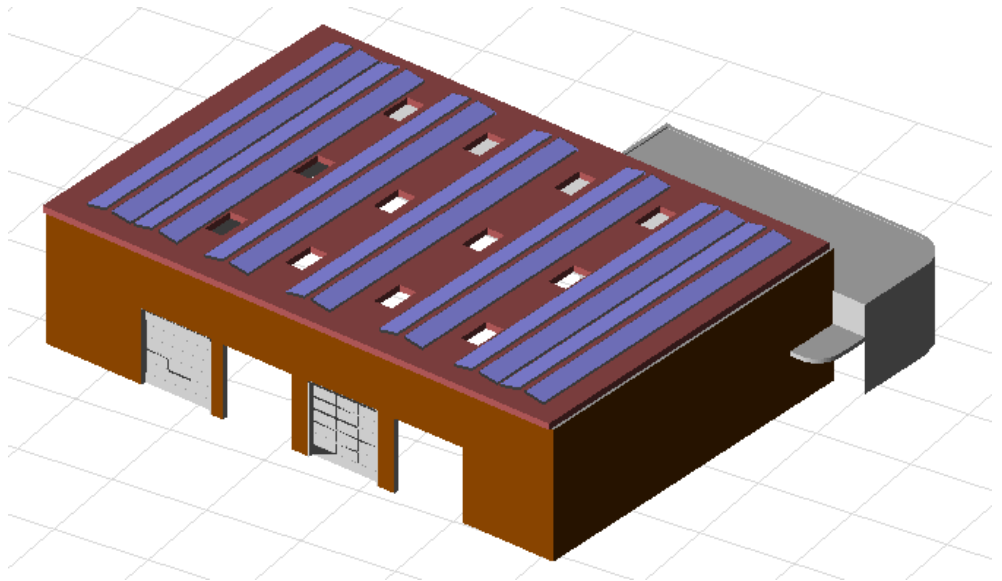
Figur 4: Illustrasjon av Meieribygget med solceller.

| Beskrivelse av anlegg              |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| Installert effekt                  | 60 kWp             |
| Spesifikk ytelse                   | 863 kWh/kWp/år     |
| Investeringskostnad                | <b>570 000 NOK</b> |
| Erstatningskostnad av vekselretter | 57 000 NOK         |
| Driftskostnader                    | 2 850 NOK/år       |
| Produksjon første året             | <b>51,8 MWh</b>    |
| LCOE                               | <b>58 øre/kWh</b>  |

Tabell 2: Resultater fra sol- og økonomisk analyse for meieribygget.

### 2.2.2 Solend

På flate tak er det mest hensiktsmessig med øst- og vestvendte paneler. Dette sprer produksjonen mer utover dagen, og det blir plass til flere paneler grunnet mindre skyggelegging, sammenliknet med et sørvendt anlegg.



Figur 5: Illustrasjon av nybygget på Solend med solceller.

| Beskrivelse av anlegg                     |                    |
|-------------------------------------------|--------------------|
| <b>Installert effekt</b>                  | 49,5 kWp           |
| <b>Spesifikk ytelse</b>                   | 726 kWh/kWp/år     |
| <b>Investeringskostnad</b>                | <b>470 250 NOK</b> |
| <b>Erstatningskostnad av vekselretter</b> | 47 025 NOK         |
| <b>Driftskostnader</b>                    | 2 351 NOK/år       |
| <b>Produksjon første året</b>             | <b>35,9 MWh</b>    |
| <b>LCOE</b>                               | <b>69 øre/kWh</b>  |

Tabell 3: Resultater fra sol- og økonomisk analyse for nybygget på Solend.

### 3 Konklusjon

De ulike lokasjonene og tak- og fasadearealer vurdert gir varierende utforming og størrelse på potensielle solkraftinstallasjoner. Nøkkeltall simulert og beregnet for alle alternativene er oppgitt i Tabell 6.

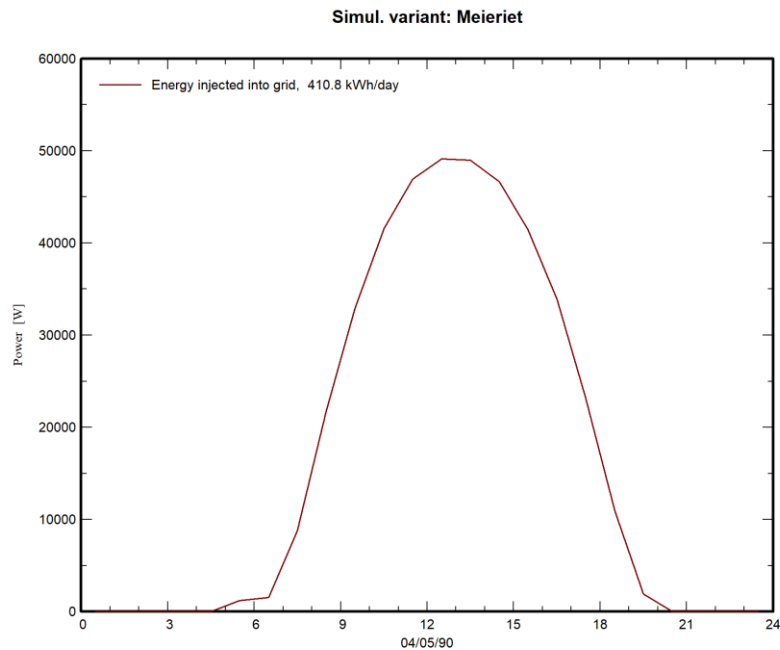
| Lokasjon                      | Meieriet          | Solend            |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Installert effekt</b>      | 60 kWp            | 49,5 kWp          |
| <b>Spesifikk ytelse</b>       | 863 kWh/kWp/år    | 726 kWh/kWp/år    |
| <b>Investeringskostnad</b>    | 570 000 NOK       | 470 250 NOK       |
| <b>Produksjon første året</b> | 51,8 MWh          | 35,9 MWh          |
| <b>LCOE</b>                   | <b>58 øre/kWh</b> | <b>69 øre/kWh</b> |

Tabell 4: Viser Installert effekt, Spesifikk ytelse, produksjonen første året, investeringskostnad og LCOE for begge lokasjonene.

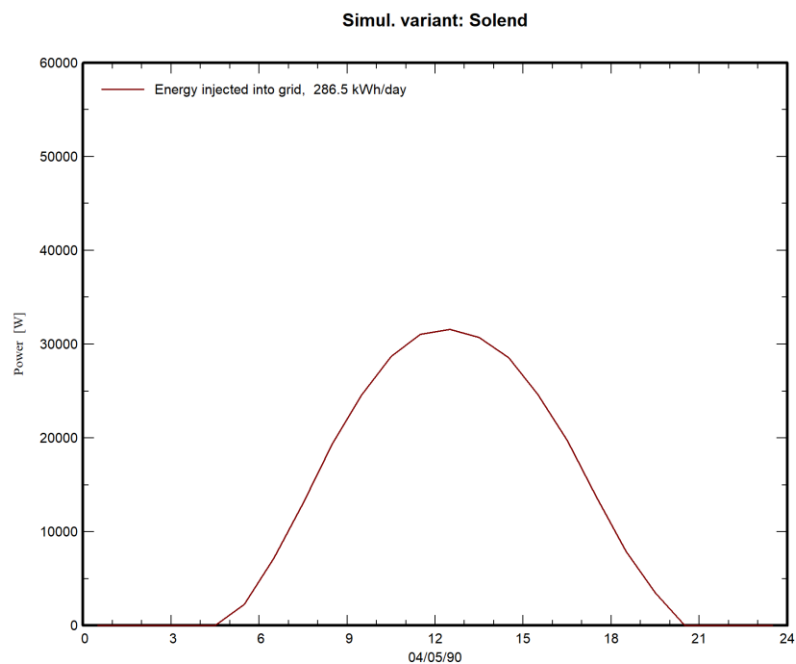
Spesifikk ytelse er en god parameter for å vurdere hvor godt et solkraftanlegg er, der høyere verdi indikerer mer produksjon per solcellepanel. LCOE kan også brukes som en kvalitetsfaktor for anlegget, der lavere LCOE er bedre.

LCOE'en forteller oss hva energien som solcellene produserer koster i løpet av levetiden til anlegget. Det vil si at om strømprisen, inkludert alle tariffer og avgifter, er høyere enn den gitte LCOE vil man "tjene" på anlegget.

Som nevnt tidligere er produksjonsprofilen til de to alternativene ulik. Dette vises i Figur 6 og Figur 7, der anlegget på Meieribygget har mer produksjon, men fordelt på færre timer av døgnet. Anlegget på nybygget på Solend har en flatere kurve, noe som kan gjøre det enklere å utnytte mer av energien til eget forbruk før det er nødvendig å selge overskuddsenergi til nettet.



Figur 6: Produksjonsprofil en tilfeldig mai-dag for Meieribygget.



Figur 7: Produksjonsprofil en tilfeldig mai-dag for nybygget på Solend.