
VEDLEGG 09F
SOLENERGI
UNDERSØKELSESNOTAT

Undersøkelser og utredelser
for regulerings sak 202202903
Ensjøveien 3,5,7,9,11,13,15A og 15B

► Mulighetsstudie solenergi - NRK Nordmannsløkka

Sammendrag

Det er gjennomført innledende vurderinger på solenergi ved NRK Nordmannsløkka, av både tak og fasade. Det er tatt utgangspunkt i skisse hentet fra «Planprosjekt og programstudier», datert til 20.03.2024 med tilhørende DWG-fil for mål. Da prosjektet er i tidlig fase er det gjort vurderinger ut fra hvor stort solcelleanlegg Norconsult mener det er plass til basert på erfaringer i andre prosjekt, dersom det gjøres noen tilpasninger. Tilpasning kan være plassering av vinduer, plassering av sluk og andre tekniske installasjoner.

Det er funnet plass til solcelleanlegg i størrelsesorden 450 kW_p på tak og 350 kW_p på fasade fordelt på ulike flater, totalt 800 kW_p. Anlegget på tak har en øst-/vestvendt konfigurasjon, mens fasadeanlegget er fordelt omtrent likt mot øst, sør og vest. Per flate tar solcelleanlegg på tak opp omtrent 30 – 40 % av tilgjengelig areal og på fasade 20 – 30 %. Estimert energiproduksjon fra anlegget på tak resulterer i omtrent 330 000 kWh/år og for fasade 200 000 kWh/år. Klimagassutslippet til anleggene ligger på 580 500 kg CO₂-ekv. på tak og 450 700 kg CO₂-ekv. på fasade. Merk at klimagassutslippet for fasadeanlegget vil være istedenfor annet fasademateriale. Dette er estimater som vil påvirkes av endelige valg av produkter.

Et solcelleanlegg på omtrent 800 kW_p har en investeringskostnad omkring 7,200 MNOK ekskl. mva. Med antagelsen at 100 % av energiproduksjonen benyttes internt i bygget vil dette resultere i en LCoE på 0,80 kr/kWh og en nedbetalingstid på 19 år, dette er innenfor levetiden til anlegget på 30 år. Dette er et best case scenario og i realiteten vil antageligvis anlegget gi noe overskuddsproduksjon som selges på nettet, noe som påvirker lønnsomheten negativt.

Solcelleanlegg kan fint kombineres med både grønne, blå og blågrønne tak. Det finnes flere løsninger som er tilpasset slike tak og det er lite ulemper med dette, men valg av type tak kan påvirke størrelsen og energiproduksjonen. Dette kommer av at det for grønne tak som regel benyttes en sørvendt konfigurasjon som nærmere kan halvere installert effekt opp mot det vurdert her, og at det for større vekster benyttes spesialtilpassede løsninger som krever mer areal per panel. For blå tak kan det benyttes et standard solcelleanlegg med øst-/vestvendt konfigurasjon som over, men med forhøyning slik at anlegget ikke blir liggende i vann. For fasade finnes det også mange muligheter å integrere solcelleanlegg på, med alt fra standard paneler til paneler med mønster og farger for å skape et spesifikt uttrykk. For både tak og fasade er spesialtilpassede anlegg mer kostbart enn standardløsninger, og investeringskostnad varierer.

Norconsult anbefaler å innarbeide solcelleanlegg i prosjektet og gjøre vurderinger av ønskede valg for anlegg på tak og/eller fasade. RISol kan bistå med diskusjoner rundt plassering av solcelleanlegg om ønskelig. Når energibehovet er kjent kan Norconsult, etter avtale, bistå med vurderinger av solcelleanlegg med/uten batterisystem slik at resultatene tilpasses valgt løsning for tak og fasade og byggets energibehov.

Om det besluttes å gå videre med solcelleanlegg i prosjektet anbefales det å tegne en skisse av solcelleanlegget inn i arkitekttegninger så tidlig som mulig. Dette skaper tverrfaglig bevissthet i at solceller skal være en del av prosjektet, noe som er fint å ha med når reguleringsplanen utarbeides, slik at bestemmelser ikke er til hinder for etablering av solcelleanlegg.

02	2024-05-08	For bruk	AmaRob	MaLau	erisev
01	2024-04-12	For bruk til vurdering av solcelleanlegg	AmaRob	MaLau	erisev
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult Norge AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult Norge AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

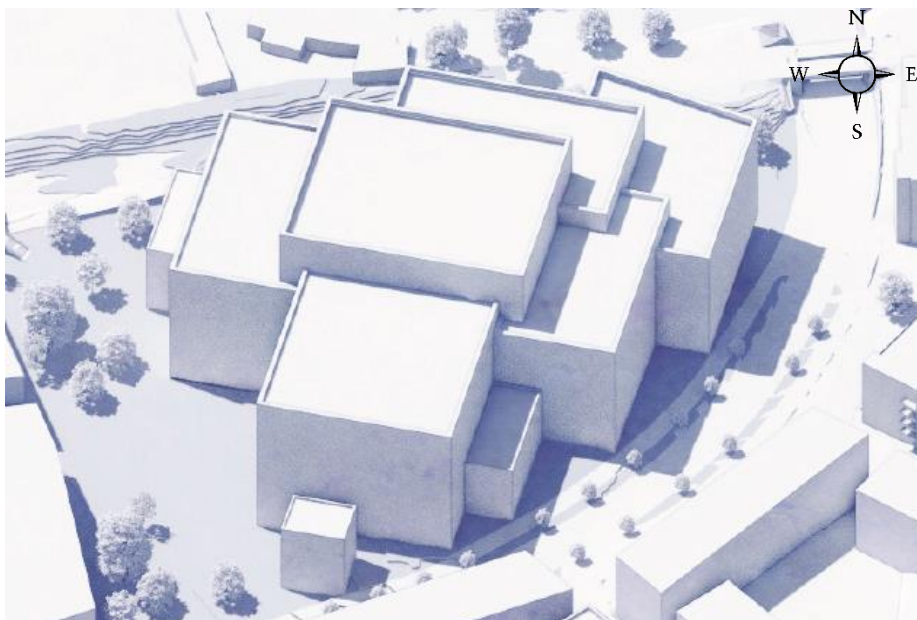
1 Innledning

Norconsult har utført innledende vurderinger på solenergi ved NRK Nordmannsløkka, og gitt et estimat på energiproduksjon og kostnad av et solcelleanlegg. Da prosjektet er i en tidlig fase er det i denne rapporten, sammen med vurdering av solenergi, lagt med informasjon om muligheter for solcelleanlegg ifbm. blågrønne tak og fasade. Det gis også en anbefaling for videre arbeid.

Målet med rapporten er å se på muligheter for å implementere solcelleanlegg på bygget, og å kunne bruke denne studien som et beslutningsunderlag hvordan solcelleanlegg kan implementeres i prosjektet.

2 Underlag for vurderinger

Det er på NRK Nordmannsløkka gjennomført vurderinger av solcelleanlegg på tak og fasade. Modellen det er tatt utgangspunkt i er hentet fra «Planprosjekt og programstudier», datert til 20.03.2024 og vedlagt DWG-fil for mål. Se utklipp av modellen i Figur 1.



Figur 1: Utklipp av modellen som ligger til grunn for vurdering av solenergi på NRK Nordmannsløkka.

Ettersom dette er en tidlig fase av prosjektet er det for takene gjort vurderinger av størrelse på solcelleanlegg etter hva Norconsult mener er sannsynlig å få til, når det gjøres litt tilrettelegginger. Tilrettelegginger på takene kan være ifbm. plassering av sluk, andre tekniske installasjoner og liknende. Ettersom fasadetegninger med vinduer og andre hindringer ikke er kjent, er vurderingene for solcelleanlegg på integrert i fasader basert på erfaringer fra andre prosjekt og utnyttbart areal til solcellepaneler i disse.

3 Solceller på tak og i kombinasjon med blågrønne tak

Solcelleanlegg på flatt tak kan monteres som et ballastert system eller ved bruk av mekanisk innfestning. Ballastert system er det mest brukte i dag, dette er en løsning som ikke penetrerer taktekkingen, men som holdes på plass av egenvekt og steinblokker som legges på monteringssystemet. Når det benyttes mekanisk innfestning punktfestes monteringsystemet inn i taket, innfestingspunktene tekkes inn etterpå for å redusere risiko for vannlekkasje. Det er med andre ord ikke behov for ballastering, noe som gir et lettere solcelleanlegg enn ved ballastert løsning.

Et solcelleanlegg kan uten problem kombineres med både grønne tak, blå tak og blågrønne tak og monteringsystemet kan tilpasses etter typen fordøyingsystem. Den enkleste kombinasjonen er solcelleanlegg og sedumtak da man kan benytte standard teknologi og løsninger for både solcelleanlegget og sedumtaket. Ved å installere solcelleanlegget i sørvendt konfigurasjon muliggjør man for sedum på tilnærmet hele taket. Merk at sørvendt konfigurasjon fører til omtrent en halvering i installert effekt ift. det presentert i Tabell 2 under kapittel 5.2, og dermed lavere energiproduksjon. Dette kommer av at arealet per panel øker. Å benytte en øst-/vestvendt konfigurasjon, med sedum på hele taket, gir ikke gode nok vekstforhold til sedumen og resulterer i mer ugress. Dette kan føre til at ugress vokser opp over solcellepanelene, noe som kan redusere energiproduksjon og potensielt levetiden til anlegget. Se Figur 2 for eksempel med sydvendt og øst-/vestvendt konfigurasjon på sedum. Merk at sedumen under anlegget på bildet til høyre, som viser øst-/vestvendt konfigurasjon på Orklabygget på Skøyen, har spesielt vanskelige vilkår grunnet høyden på bygget.



Figur 2: Til venstre er et sydvendt solcelleanlegg hentet fra Energima Solel på Ryen gjenbruksstasjon. Til høyre et øst-/vestvendt solcelleanlegg på sedum hentet fra Fusen på Orklabygget.

Dersom man har et tak med større vekster enn sedum, kan monteringsystemet til solcelleanlegget forhøyes. Et standard montasjesystem for solcelleanlegg kan løftes opp noe, men dersom det ikke er nok for vekstene på taket kan man benytte spesialtilpassede løsninger. Et spesialtilpasset montasjesystem gir større arealbehov per panel enn ved bruk av et standard montasjesystem, dermed vil den installerte effekten reduseres ytterligere. Figur 3 viser eksempel på forhøyet system tilpasset større vekster.



Figur 3: Solcelleanlegg på tak med intensive vekster og forhøyet monteringsystem – spesialtilpasset løsning.

For blå tak benyttes et forhøyet montasjesystem, ofte et standard montasjesystem som er forhøyet omtrent 10 cm. Dette gjør at solcelleanlegget ikke blir stående under vann. På blå tak kan det derfor installeres et standard solcelleanlegg med øst-/vest-konfigurasjon som simulert over. Merk at mekanisk

innfestningsmetode ikke er utbredt for blå tak per tid da vannmengder som blir liggende over lenger tid potensielt kan føre til lekkasje ved innfestningspunktene til monteringsystemet.

En annen løsning for å kombinere grønne/blå/blågrønne tak med solcelleanlegg er å ha en soneinndeling av taket. Det finnes mange muligheter for en slik løsning, eksempelvis kan man ha noen områder med et standard solcelleanlegg i øst-/vestvendt konfigurasjon på tak og andre områder som er blågrønne med/uten solcelleanlegg. Andre eksempler er å ha noen områder med sedum og andre områder med et standard øst-/vestvendt solcelleanlegg, eller sedum med sydvendt solcelleanlegg og andre områder med blått tak og forhøyet solcelleanlegg. Et eksempel er Jordal Amfi som har kombinert et øst-/vestvendt solcelleanlegg med grønt tak rundt anlegget i Figur 4.

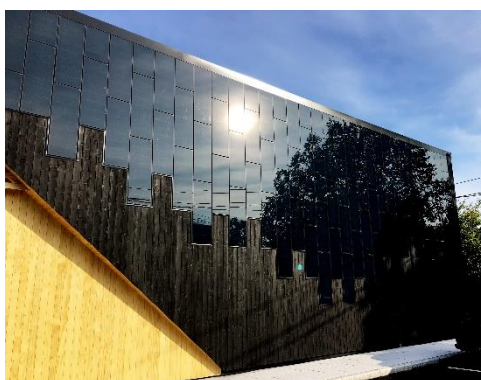


Figur 4: Et eksempel fra Jordal Amfi hvor det er områder med solcelleanlegg i kombinasjon med grønt tak.

4 Solceller på fasade

Solceller på fasaden er en god mulighet til å øke energiproduksjonen, spesielt om vinteren da solcellepanelene ikke dekkes av snø og annet støv slik som panelene på flatt tak. Fasadeanlegget vil også føre til en høyere energiproduksjon på formiddagen og ettermiddagen, når solen er på vei opp og ned.

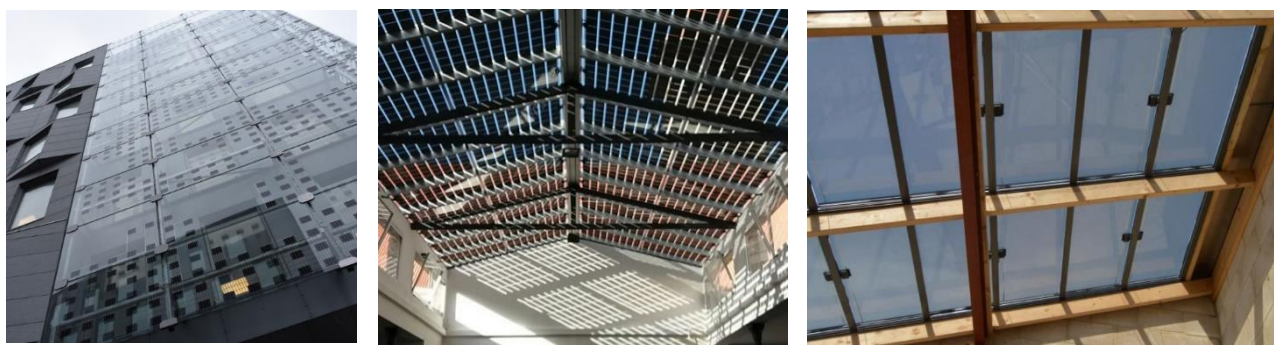
Det finnes mange muligheter et solcelleanlegg kan implementeres i fasaden på, fra standard utenpåliggende/integrerte solcelleanlegg, til spesialtilpassede anlegg med farger og mønster for å skille seg ut/skli inn i annen fasade. Valg av løsning og farge kan derimot påvirke installert effekt, energiproduksjon og installasjonskostnad. Eksempelvis vil fargede paneler ha en lavere effekt per m² enn standard sorte solcellepaneler som stadig utvikles Figur 5 til 8 viser noen eksempler på muligheter med solceller i fasade.



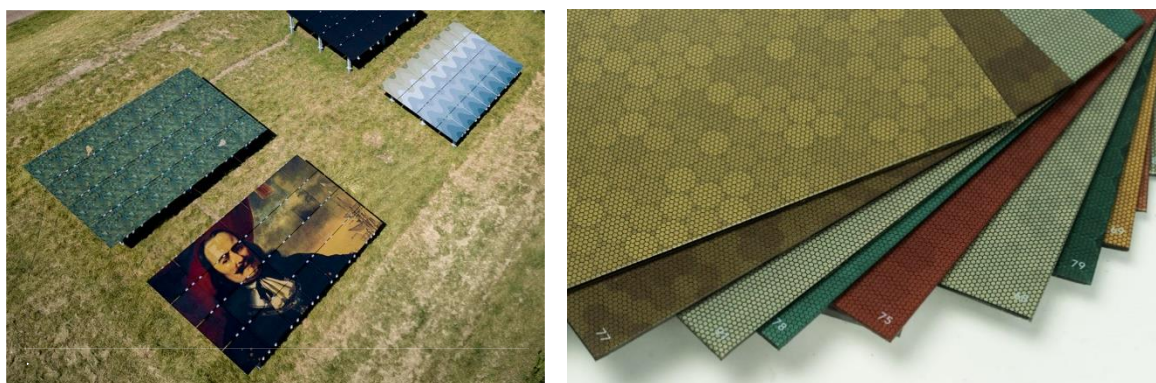
Figur 5: Sorte solcellepaneler og muligheter for å integrere det med annen fasade.



Figur 6: Fargede solcellepaneler på fasade, det finnes mange farger å velge i.



Figur 7: Ulike varianter av transparente solcellepaneler.



Figur 8: Piksellerte solcellepaneler som kan benyttes for å skape et design/mønster på solcelleanlegget. Enten for å skli inn i annen fasade eller skape et spesielt uttrykk.

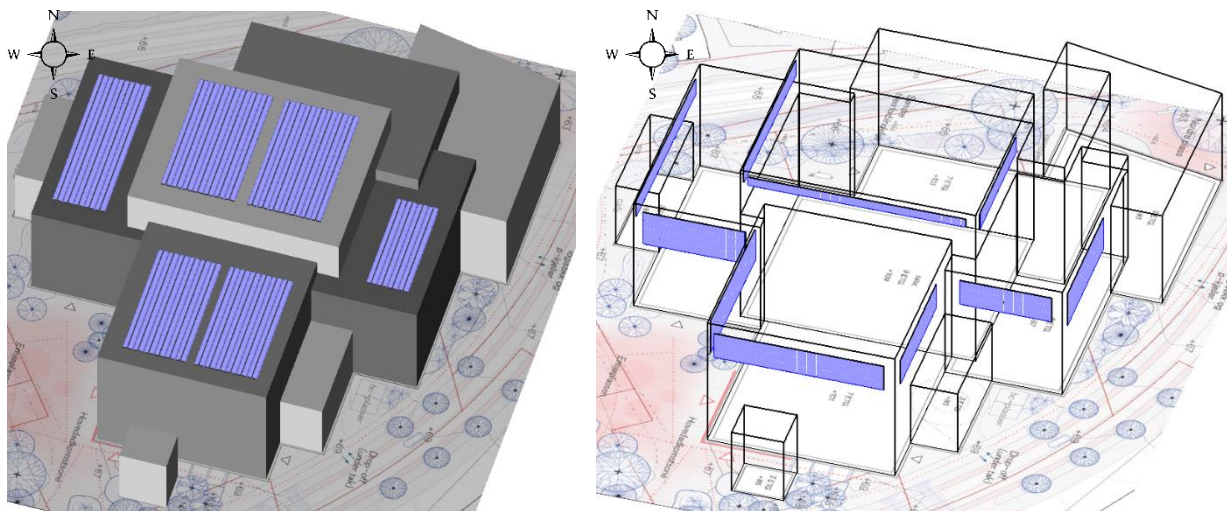
5 Energiproduksjon

5.1 Simuleringsmodell

For å estimere forventet energiproduksjon fra solcelleanlegget, er programvaren PVsyst (versjon 7.4) benyttet. Programvaren tar utgangspunkt i et geografisk punkt og benytter databaser med klimadata og PV-moduler, samt horisontprofiler og et 3D-verktøy for skyggesimulering til å gjøre en avansert simulering av forventet energiproduksjon fra solcelleanlegg på timenivå for et gjennomsnittså år værmessig. For geografisk

lokasjon og historiske vær/klima-data er lokasjonen for NRK Nordmannsløkka, med koordinatene 59.91° N og 10.78° Ø benyttet, hvorav klimadata er hentet fra kilden Meteonorm 8.1.

Simuleringsmodellen av solcelleanlegg på tak og fasade er vist i Figur 9. Merk at simuleringsmodellen av fasade ikke er et forslag til plassering. Ettersom det ikke finnes tegninger av fasade med plassering av vinduer etc., er det simulert et antall paneler i hver retning for å få et estimat på mulig energiproduksjon.



Figur 9: Innledende simuleringsmodell av solcelleanlegg på tak og fasade gjennomført i PVsyst.

Det er forutsatt bruk av solcellemoduler med en størrelse på ca. 2,2 m², en merkeeffekt på 440 W_p og en moduleffektivitet på 19,8 %. Dette anses å være et standard produkt på markedet våren 2024. Leverandører tilbyr i noen tilfeller også moduler i andre størrelser og med annen merkeeffekt. Merkeeffekten påvirker derimot resultatet i liten grad da effektiviteten på modulene er tilnærmet lik, og derfor også energiproduksjonen per m² installerte solcellemoduler. Moduler med lavere merkeeffekt er på sin side fysisk mindre, og derfor enklere å håndtere ved installasjon.

Det er i simuleringen hensyntatt tap i energiproduksjon grunnet horisontprofil, denne er hentet fra kilden PVGIS. Forurensning fra snø og annet smuss på modulene er hensyntatt som soilingtap, med prosentvise tap i energiproduksjon grunnet redusert solinnstråling til modulene. Soilingtapene benyttet for området er hentet fra standard SN-NSPEK 3031 med verdier oppgitt for Oslo. Soilingtapene for solcelleanlegg på tak er presentert i Tabell 1. For fasade settes soiling til 2 % hele året.

Tabell 1: Soilingtap, oppgitt i % tap av energiproduksjon pr. mnd. iht. SN-NSPEK 3031 for Oslo.

Panelvinkel	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
0° – 15°	60	75	60	75	2	2	2	2	2	2	15	45

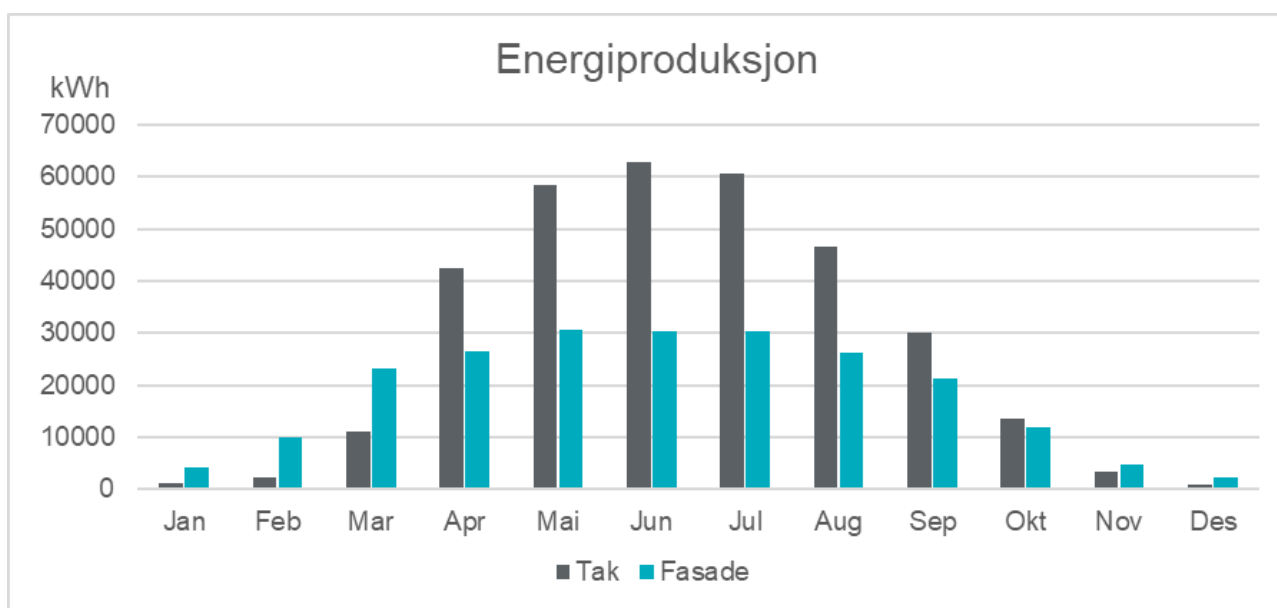
5.2 Resultater

Med bakgrunn i forutsetningene beskrevet i foregående avsnitt og simuleringene av energiproduksjon, er resultatene for solcelleanlegg på tak og fasade presentert i Tabell 2.

Tabell 2: Simuleringsresultat for solcelleanlegg på NRK Nordmannsløkka.

Parameter	Tak	Fasade
Installert effekt [kW _p]	450	350
Solcelleareal [m ²]	2 300	1 800
Utnyttet areal per benyttet flate [%]	30 - 40	20 - 30
Spesifikk ytelse [kWh/kW _p /år]	720	550
Estimert energiproduksjon [kWh/år]	330 000	200 000

Den årlige fordelingen av energiproduksjon fra solcelleanlegg på tak og fasade over ett gjennomsnittså er vist i Figur 10.



Figur 10: Energiproduksjon fra solcelleanlegg på tak og fasade på månedsbasis.

Som vist av Figur 10 vil energiproduksjonen av solcelleanlegget være høyest på sommerhalvåret. Forskjellen i produksjon mellom sommer og vinter skyldes hovedsakelig færre soltimer og den lave solen gjennom vinterhalvåret, men også at panelene tidvis er dekket av snø og annet smuss på vinterhalvåret. Solcelleanlegget montert på fasaden vil ikke dekket av snø på samme måte som på tak, dette er årsaken til høyere energiproduksjon på fasaden vinterhalvåret.

For solcelleanlegg på tak er det simulert et solcelleanlegg som opptar omtrent 30 – 40 % av den aktuelle takflaten. Denne utnyttelsen tar hensyn til at en sikkerhetssone på minimum 2 m mellom solcelleanlegg og gesims, slik at det rutine for vedlikehold og montering blir enklere. Det er også tatt hensyn til at fallet på taket opptar noe plass da det ikke er ønskelig å montere solcelleanlegg over takbrekk, samt at det kan komme oppstikk på tak som solcelleanlegget på tilpasses til. Ettersom de ulike takflatene har forskjellige høyder og at det kan skille flere etasjer i høyde mellom takflatene, vil dette kaste en del skygge. Dette må man ta hensyn til ved installasjon av solcelleanlegg da skygge påvirker energiproduksjonen. Derfor er det ikke plassert solcelleanlegg på de to takene lengst nord i Figur 9, da disse ikke er like godt egnet som resterende takflater.

For fasade vil resultatene presentert i Tabell 2 oppta omtrent 20 – 30 % av tilgjengelig areal på den aktuelle fasaden, det er simulert omtrent en like stor andel mot øst, sør og vest. Dette sørger for energiproduksjon

gjennom hele dagen. Å montere solcelleanlegg på fasader mot nord tilfører lite energiproduksjon ift. kostnad og de er derfor ikke godt egnet til solcelleanlegg. Det er mulig at en større andel av fasaden kan benyttes til solceller, dette kommer imidlertid an på andelen av fasade som skal benyttes til vinduer og hvordan solceller kan implementeres med annen fasade.

6 Overskuddsproduksjon og batteri

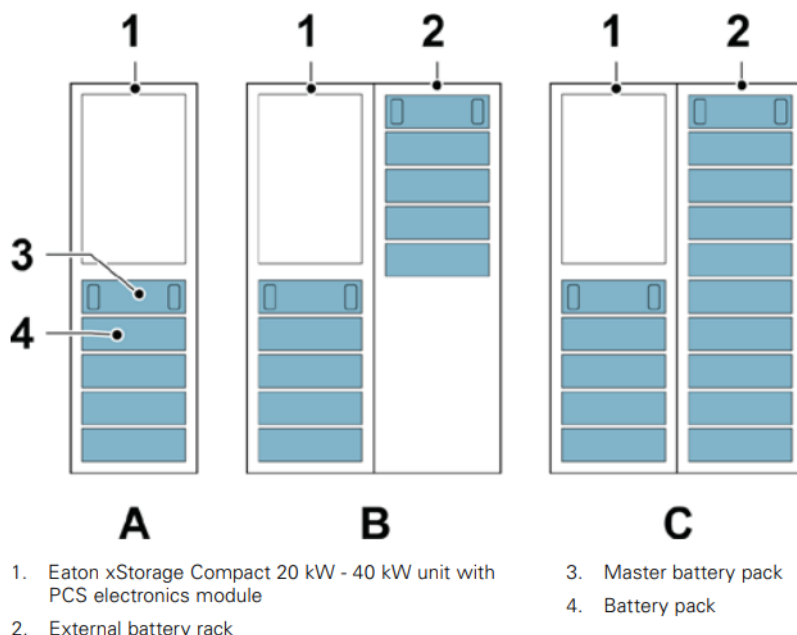
Ettersom det elektriske energibehovet ikke er kjent, er det antatt at all energiproduksjonen fra solcelleanlegget benyttes internt. I realiteten vil det sannsynligvis bli noe overskuddsproduksjon gjennom året. Når det kommer til å dele energiproduksjon fra solcelleanlegg, kom det i oktober 2023 en deleordning som gjør det mulig å fordele den produserte energien fra et solcelleanlegg på alle strømabonnement som er lokalisert på samme gårds- og bruksnummer, uten å måtte betale nettleie eller avgifter for den delte energien.

Det finnes flere typer batteri som kan tilkobles et solcelleanlegg for lagring av overskuddsenergi og det kan bidra med å redusere effekttopper. Eksempler er Li-on batteri, saltvannsbatteri og flow-batteri. Batterier egner seg godt for korttidslagring av energi, som fra en time til en annen for effekttoppreduksjon og fra dag til kveld for bedre utnyttelse av lokal energiproduksjon.

Det er foreløpig ikke gjennomført noen beregninger på batteri; hverken størrelse det eventuelt er behov for, type batteri eller arealbehov. Størrelsen på batteriet vil påvirke alle forbruksområdene; en kan redusere effekttopper mer, utnytte arbitrasje i større grad, klare seg lenger uten tilknytning til strøm og lagre mer energi dersom det er overskuddsproduksjon fra solceller. Batterier til større bygg vil kreve betydelig plass da batteriet må opp i en viss størrelse for å gi gevinst, størrelsen på batteriet må derfor vurderes basert på formålet.

Basert på erfaring vil et foreløpig estimat på størrelsen til batterianlegg ligge på omtrent 100 – 300 kWh. Eksempelvis vil et batterianlegg på 150 kWh ha en investeringskostnad omkring 6250 kr/kWh; denne kostnaden gjelder ett fullstendig batterianlegg fra Eaton januar 2024, og gjelder dermed en leverandør. Et anlegg i denne størrelsen bør plasseres i et eget rom både grunnet brannsikkerhet og sikring av gode driftsforhold mtp ventilasjon/temperatur. Dette rommet bør være i nærheten av hovedtavle, gjerne med en fri vegg ut mot ytterluft for å ivareta enkel tilkomst.

Figur 11 viser en eksempelkonfigurasjon av et batterisystem med rackløsning fra Eaton. Fotavtrykket til et skap er 60*100 cm med en høyde på 2 meter. Her viser punkt 1 plassen som kreves til styringssystem og vekselrettere, og punkt 3 og 4 batterilageret. Punkt 2 viser muligheten for å koble på eksterne batteripakker.



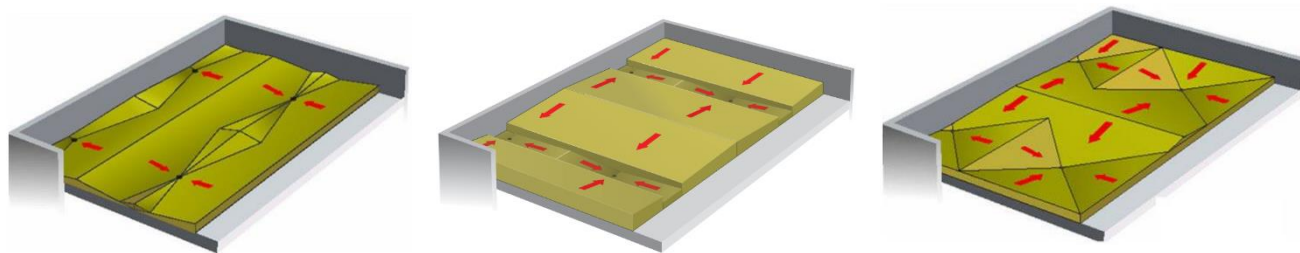
Figur 5: Eksempelkonfigurasjon batteri system. (Eaton, hentet 09.02.2024)

7 Tiltak for tilrettelegging for solceller på tak

For å kunne utnytte mest mulig av taket til solcelleanlegg, kan det planlegges hvor tekniske oppstikk skal plasseres og hvordan fallet på taket skal være.

For tekniske takoppstikk er det, om mulig, lønnsomt å samle alle oppstikkene til et område på taket. Alternativt kan oppstikkene legges på en rekke, gjerne i nærheten av fallet på taket, istedenfor at de plasseres litt overalt på taket. Slike tiltak gjør det enklere å installere pene anlegg da man slipper å bygge et oppdelt anlegg rundt oppstikk. I tillegg bør høye deler eller oppstikk på bygningskroppen plasseres så langt nord som mulig, dette muliggjør for god utnyttelse av taket og forhindrer at skygge fra de høye hindringene påvirker solcelleanlegget.

Når det kommer til fall på taket, vil det mest optimale være 2-veisfall (helst uten diamantform mellom sluk) eller fall i nedsenket renne. Disse fallene opptar minst plass spå taket og dermed gir mer tilgjengelig areal som kan benyttes til solcelleanlegg. Et 4-veisfall opptar derimot mer plass og føre til at man mister mye areal på taket til solcelleanlegg da et anlegg ikke bør monteres over fallene. Figur 6 viser eksempler på de tre typene fall.



Figur 6: Løsning på 2-veisfall med diamantform mellom slukene (venstre), fall i nedsenket renne (midten) og 4-veisfall (høyre). Bilder hentet fra Rockwool.

8 Kommentarer til solcelleanlegg på fasade

Som presentert i kapittel 4 finnes det flere måter et solcelleanlegg kan implementeres i fasaden på, både med design og farger. På den andre siden vil valg av løsning påvirke installert effekt, energiproduksjon og kostnad. Tabell 3 presenterer ulike farger/typer paneler og forskjellen i effekt og energiproduksjon.

Tabell 3: Sammenheng mellom farger og effektivitet på paneler

Farge	Nominell effekt [W_p/m^2]	Energiproduksjon relativt til sorte standardpaneler [%]	Referanse
Sorte (standard paneler)	217	100	Typiske solcellepaneler, benyttet i vurderingene i Tabell 2
Mørk røde	135	~62	Sofienberg skole, bilde til venstre i Figur 6
Semi-transparent	118	~55	Midterste bilde i Figur 7
Transparent	210 - 60	~58 - ~16	Bildet til høyre i Figur 7

De semi-transparente panelene presentert i Tabell 3 har en transparens på 10 % med en effektivitet på omtrent 20 %. De transparente panelene kan ha en transparens på 10 – 50 %; panelene med 10 % transparens ligger på omtrent 210 W_p/m^2 , mens panelene med 50 % transparens ligger på omtrent 60 W_p/m^2 . De transparente panelene har en effektivitet på omtrent 12 %.

Transparente solcellepaneler gjør det mulig å kombinere energiproduksjon med lys inn i en bygning. Selv om slike solcellepaneler ikke har like høy energiproduksjon som andre solcellepaneler, se Tabell 3, vil det åpne for å kunne erstatte vinduer i noen områder. Dette kan bidra til noe ekstra energiproduksjon, som er avhengig av hvor transparente solcellepaneler som benyttes.

Generelt på fasade er det viktig at planleggingen begynner tidlig for at det skal kunne tilrettelegges ift. annen fasadekledning. Dette gjelder spesielt dersom det er ønskelig å benytte standard solcellepaneler som har en gitt størrelse, form og farge, men også for spesialtilpassede paneler for å sikre god utnyttelse av fasaden.

Det er flere faktorer som kan føre til utfordringer når det planlegges et solcelleanlegg på fasade, og som derfor er viktig å tenke på i planleggingen. For eksempel vil utstikkende deler i fasaden kunne tilføre skygge på andre områder av fasaden, noe som kan begrense områder hvor solcellepaneler bør plasseres. Det samme gjelder dersom vinduer opptar mye av arealet på fasaden. Smale området på fasaden kan også by på utfordringer da det kan resultere i behovet for spesialtilpassede former på solcellepanelene og ett oppdelt solcelleanlegg.

Ved bruk av spesialtilpassede paneler kan et mulig problem oppstå dersom et/flere paneler blir skadet og må byttes ut. Da må det spesialbestilles nye paneler, noe som vil være kostbart ettersom det kun er snakk om et få antall paneler. Det er heller ingen garanti for at nøyaktig de samme panelene er mulig å få tak i da dette ikke er standard produkter og utviklingen i markedet går fort. Skulle dette bli tilfellet kan man også sette inn «dummy» paneler, men de vil da ikke gi energiproduksjon. Et alternativ er å bestille flere paneler enn det er behov for når anlegget monteres i første omgang, dette for å sikre at man har paneler dersom noen må byttes ut. Dette vil ikke være en like stor utfordring ved bruk av standard solcellemoduler da de er «hylleware».

Ettersom dette prosjektet er lenger frem i tid, er det vanskelig å si hvordan markedet ser ut. Plutselig er f.eks. røde solcellepaneler og transparente paneler en standardvare som er billigere og lettere å få tak i enn det er i dag. Da vil ikke problemet beskrevet i avsnittet over være like stort. Dette er vanskelig å forutse, men slike paneler er sannsynligvis fortsatt en spesialvare når prosjektet settes i gang.

I noen områder er det snakk om refleksjon fra solcelleanlegg. Studier viser at solcellepaneler reflekterer lite sollys, standard solcelleglass med antirefleksjonsbelegg reflekterer mellom 2 % og 7 %. Til sammenlikning reflekterer vanlig glass mellom 8 % og 22 % av sollyset. Selv om det ikke kan garanteres at det ikke vil oppstå refleksjon, glimt eller blending fra et solcelleanlegg, reflekterer det betydelig mindre sollys enn vinduer og andre vanlige komponenter i og rundt bygninger. Risikoen for forstyrrende blending er høyere for solcelleanlegg på fasade enn på tak. Dersom dette skulle oppstå vil det dog hovedsakelig være i tidsrom der solen står lavt på himmelen, typisk formiddag og ettermiddag enkelte dager om vinteren.

Ved prosjektering av solcelleanlegg på fasade er det viktig å tenke på lufting og brann sikkerhet; man må ha god lufting bak panelene og sikre at fasaden er trygg dersom det skulle bryte ut brann i anlegget. Hærverk og skade på et solcelleanlegg på fasade er også noe man bør tenke på under planlegging. Dersom solcelleanlegget plasseres for langt ned på veggen kan det utsettes for hærverk av forbipasserende. Å montere anlegget høyere opp på veggen eliminerer dette.

For gode og kostnadseffektive solcelleanlegg på fasade bør man forsøke å sette av størst mulige sammenhengende felt til solcellepanelene, for eksempel en hel rad over en vindusrekke eller liknende. Det bør i denne sammenheng planlegges at antallet ulike solcellepanelene i disse feltene er så lav som mulig. Det rimeligste vil være å bruke standard paneler, men ved spesialtilpassede paneler er det mer kostnadseffektivt å for eksempel benytte 200 paneler av samme størrelse og format, fremfor 50 av ett format og 70 av ett annet format. Da slipper man også unna med å kun ha ett format på lager i tilfelle skade, istedenfor å ha et antall av solcellepanel i ulike former.

Når det kommer til reguleringsplanen kan det være en utfordring å få inn gode bestemmelser som åpner for bruk av solcelleanlegg i fasaden. Her bør man derfor tenke på å ikke lage bestemmelser som kan sette begrensninger for det man ser for seg, om dette lar seg gjøre.

9 Kostnadsestimat og lønnsomhet

For vurdering av kostnad og lønnsomhet er det her gått ut fra et standard solcelleanlegg på tak og fasade. Spezialtilpassede solcelleanlegg med fargede paneler vil koste mer, og pris avhenger av fargevalg samt antallet ulike paneler som bestilles.

For estimering av investeringskostnad er det lagt til grunn en kostnad på ca. 9 000 NOK/kW_p, denne inkluderer både DC- og AC-kostnader. Investeringskostnadene er basert på erfaringstall fra markedet, typen installasjon og størrelse på solcelleanlegget. Reelle investeringskostnader kan bli høyere eller lavere. Investeringskostnaden reflekterer hva en typisk underentreprenør/solcelleentreprenør priser i sitt tilbud for et komplett anlegg, og inkluderer:

- PV-moduler
- Vekselrettere
- Mekanisk monteringsutstyr (stativer, skinner) inkludert arbeid (DC-siden)
- Elektrisk monteringsutstyr (kabler, sikringer og brytere) fram tom. Vekselretter, inkludert arbeid (AC-siden)

Med dette til grunn vil en antatt estimert investeringskostnad for solcelleanlegg på NRK Nordmannsløkka ligge på omtrent **7,200 MNOK ekskl. mva.** Dette er omtrentlig kostnad for et standard ballastert solcelleanlegg på tak og standard solcelleanlegg på fasade med størrelsene presentert i Tabell 2.

Kort fortalt er det økonomisk gunstig å dimensjonere et solcelleanlegg etter byggets eget forbruk. Dette kommer av hvordan den sammensatte kostnaden for kjøp av strøm fra nettet er bygget opp. Ved å forbruke energien som produseres fra solcelleanlegget internt i bygget, foretrekker man kjøp av strøm fra nettet og

sparer alle kostnadene knyttet til energiprisen. Når det oppstår overskuddsproduksjon som må selges ut på nettet, vil salget typisk kun kompenseres for kraftprisen.

Per dags dato er det vanskelig å dimensjonere solcelleanlegget til eget forbruk, og å si noe om lønnsomheten, da elektrisk energibehov ikke er fastslått. For å si noe om lønnsomheten er det derfor forutsatt at 100 % av energiproduksjonen benyttes internt. Dette er et best case scenario og i realiteten vil det antageligvis være noe overskuddsproduksjon som sendes ut på nettet, spesielt om sommeren.

For å si noe om lønnsomheten til solcelleanlegget analyseres anlegget over 30 år med følgende til grunn:

- Statnett sin basis-prisbane for NO1 gitt av Langsiktig markedsanalyse Norden og Europa 2020-2050 og Kortsiktig markedsanalyse 2023-2028. Starter på en total kostnad på 1,30 kr/kWp i år 1
- Reell kalkulasjonsrente på 4 % for diskontering av kostnader og inntekter
- Årlig degradering på 0,4 % av energiproduksjon fra solcelleanlegget
- Utskiftningskostnad av inverter(e) på ca. 15% av investeringskostnaden etter 15 år
- Kostnad på 3 000 kr/år for forventede driftskostnader

Resultatene viser at solcelleanlegget, når 100 % av energiproduksjonen benyttes i bygget, er nedbetalt på omtrent **19 år** med en LCoE på **0,80 kr/kWh**. LCoE (Levelized Cost of Energy) betegner kostnaden for energiproduksjon for solcelleanlegget gjennom levetiden. Med andre ord er LCoE et uttrykk for hvor mye det koster (investeringer samt drift og vedlikehold) å produsere energi i solcelleanlegget gjennom anleggets levetid

Nedbetalingstiden til solcelleanlegget er en usikker parameter da lønnsomheten til et solcelleanlegg henger sammen med energiprisen for strøm. Dersom energiprisen er høyere enn estimert for NO1 basis vil anlegget bli mer lønnsomt og nedbetalt på kortere tid enn om energiprisen er lavere enn NO1 basis. For eksempel vil en fast energipris i 30 år på 1,50 kr/kWh redusere nedbetalingstiden til omtrent 11 år.

10 Klimagassutslipp

Det er i dette notatet gjort en enkel vurdering av klimagassutslipp knyttet til materialbruk og produsert elektrisk energi for et standard solcelleanlegg på tak og fasade.

Klimagassutslipp knyttet til materialer omfatter blant annet produksjon av råmaterialer som silisium og aluminium, foredling av disse til solceller og festeskiner, transport av materialene og til slutt avhending. For å beregne CO₂-faktorer for klimagassutslipp fra materialene er det benyttet både EPD'-er (Environmental Product Declaration) og generiske verdier fra programvaren One Click LCA, se Tabell 3.

Tabell 4: Oversikt over materialer benyttet til beregning av CO₂-faktor for solcelleanlegg.

EPD / Materiale	Utslipp over livsløpet [kg CO ₂ -ekv. pr. m ²]	Kommentar
Solar panel photovoltaic system, EU average	183,0	EU-gjennomsnitt (generisk) for solcellepaneler
Three-phase inverter, P=20KW, Donnee par default (MDEGD)	52,6	Vekselretter
Concrete (Norwegian low-carbon), B45 M40/MF40, lavkarbonklasse B (2015 NB37)	1,6	Ballast for monteringsystem på flate tak
Aluminium profiles, 2700 kg/m ³ (Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.)	15,1	Aluminiumsprofiler til monteringsystem

For vurdering av fasade er det sett på tre scenarier av utvendig kledningsmateriale; trespon, skjermtegl og

cortenstål. Trespon har et utlipp på 8 kg CO₂-ekv. pr. m², skjermtegl på 26 kg CO₂-ekv. pr. m² og cortenstål på 80 kg CO₂-ekv. pr. m².

For utslipp fra elektrisitet fra strømmettet er det lagt til grunn Europeisk + Norsk strømmiks. Det forventede gjennomsnittet over de neste 60 årene ligger på 0,0906 kg CO₂-ekv. pr kWh.

10.1 Vurdering av klimagassbesparelser

Lokal elektrisk energiproduksjon fører til en klimagassbesparelse tilsvarende redusert mengde elektrisk energi kjøpt fra strømmettet, omregnet til CO₂-ekv. pr. kWh for produksjon og nettkjøp.

Ved bruk av CO₂-faktorer som gitt av Tabell 4 og energiproduksjon fra solcelleanlegg gitt av Tabell 2, kommer vi frem til resultat som vist i Tabell 5. Dette brukes videre til sammenlikning med utslipp tilknyttet kjøp av strøm fra nett.

Tabell 5: Klimagassutslipp tilknyttet energiproduksjon fra solcelleanlegg.

Alternativ	Areal [m ²]	Utslipp solcelleanlegg [kg CO ₂ -ekv. pr. m ²]	Samlet utslipp solcelleanlegg over 30 år [kg CO ₂ -ekv.]	Utslipp pr. produserte kWh [kg CO ₂ -ekv. pr. kWh]
Ballastert system på tak	2 300	252,4	580 500	0,059
Solcelleanlegg fasade	1 800	250,4	450 700	0,075

Beregning av sparte klimagassutslipp utføres ved å sammenlikne beregnet utslipp fra solcelleanlegg med utslipp tilknyttet strøm kjøpt fra strømmettet (fortrengt utslipp), for tilsvarende mengde kjøpt energi som beregnet energiproduksjon fra solcelleanlegget. For fasade vil man i tillegg til fortrengt utslipp legge til bespart utslipp grunner materialer i fasade som erstattes med solcelleanlegget. Resultater for hele analyseperioden (30 år) blir da som gitt av Tabell .

Tabell 6: Resultat klimagassberegninger solcelleanlegg vs. kjøp av strøm fra nett.

Alternativ	Fortrengt utslipp (strøm fra nett og besparelse i materialer på fasade) [kg CO ₂ -ekv.]	Total reduksjon i utslipp over 30 år [kg CO ₂ -ekv.]
Ballastert system på tak	896 900	316 400
Solcelleanlegg fasade - trespon	558 000	107 300
Solcelleanlegg fasade - skjermtegl	590 400	139 700
Solcelleanlegg fasade - cortenstål	687 600	236 900

Som det fremgår av Tabell 6 vil solcelleanlegget på flatt tak og fasade være klimamessig lønnsomt sammenliknet med at tilsvarende mengde energi som solcelleanlegget forventes å produsere kjøpes fra strømmettet.

Ser vi på solcelleanlegget på tak vil et solcelleanlegg gjennom levetiden på 30 år ha et utslipp på omtrent 580 500 kg CO₂-ekv. Anlegget produserer omtrent 330 000 kWh/år, og dersom dette skulle vært kjøpt på nettet vil det ha et utslipp på 896 900 kg CO₂-ekv. Dette gjør at installasjonen av solcelleanlegget og å kunne bruke den egenproduserte energien har et utslipp på omtrent 316 400 kg CO₂-ekv. mindre enn om energien kjøpes fra nettet. Tilsvarende gjelder for anleggene på fasade. Avhengig av valg for øvrig fasadekledning, vil det samlede solcelleanlegget på tak og fasade, ved bruk av standard solcellepaneler, kunne bidra til at prosjektets klimagassutslipp reduseres med opptil ca 550 tonn CO₂-ekvivalenter.

Klimagassutslippet tilknyttet fasadeanlegget vil være i stedet for annet fasademateriale, for reell påvirkning på prosjektets totale klimafotavtrykk må man derfor trekke fra den fasadekledningen som erstattes av solcelleanlegg. Man bør også se det i levetidsperspektiv siden strømproduksjonen fra solcelleanlegget har lavt utslipp pr kWh og kan være med på å redusere totalt utslipp over byggets levetid.

Merk at dette er estimater av klimagassutslipp ved installasjon av et standard solcelleanlegg på tak og fasade. Resultatet kan bli annerledes avhengig av størrelse på solcelleanlegg og hvilke produkter som benyttes i anlegget. Eksempelvis finnes det paneler med lavere utslipp enn den presentert i Tabell 4, samtidig som spesialtilpassede og fargede paneler potensielt kan ha et høyere utslipp.

11 Anbefaling, oppsummering og veien videre

Det er på NRK Nordmannsløkka funnet plass til et solcelleanlegg i størrelsesorden 450 kW_p på tak og 350 kW_p på fasade, dette utgjør omtrent 30 – 40 % og 20 – 30 % av tilgjengelig areal. Den estimerte energiproduksjonen fra anlegget på tak blir omtrent 330 000 kWh/år for et øst-/vestvendt solcelleanlegg. For fasade er det estimert en energiproduksjon på omtrent 200 000 kWh/år, når den installerte effekten er fordelt omtrent likt mellom fasade mot øst, sør og vest.

Et standard solcelleanlegg på tak vil ha et estimert utslipp på ca 580 500 kg CO₂-ekv., mens et anlegg på fasade ligger på ca 450 700 kg CO₂-ekv. Sett opp mot utslippet for kjøp av strøm fra nettet og bespart utslipp i fasadematerialer er installasjonen av solcelleanlegg klimamessig lønnsomt. Samlet klimagassutslipp kan reduseres med opptil ca 550 tonn CO₂-ekvivalenter avhengig av valg for fasadekledning og løsning på solcelleanlegg.

Samlet installert effekt på fasade og tak utgjør 800 kW_p, dette resulterer i en estimert installasjonskostnad på omtrent 7 200 000 NOK ekskl. mva. Med forutsetningen at all energiproduksjon benyttes internt i bygget vil dette resultere i en LCoE på 0,80 kr/kWh og en nedbetalingstid på 19 år, altså godt innenfor levetiden til solcelleanlegget på 30 år. Dette er derimot et best case scenario, og antageligvis vil anlegget gi noe overskuddsproduksjon som selges på nettet, dette kan endre LCoE og nedbetalingstid.

Et solcelleanlegg kan uten store problemer integreres med grønne, blå og blågrønne tak, men valg av type tak kan påvirke størrelsen til solcelleanlegget, og dermed energiproduksjonen. Vurderingene av installert effekt og energiproduksjon i denne rapporten er gjort for et standard tak med øst-/vestvendt solcelleanlegg. På sedumtak benyttes som regel sydvendt konfigurasjon, men det vil halvere installert effekt mot resultatene i denne rapporten. Installert effekt kan ytterligere reduseres ved større vekster da arealbehovet per panel øker. Valg av løsning på fasade kan også påvirke installert effekt og energiproduksjon basert på valg av type panel, farge og design. Kostnaden til solcelleanlegget avhenger også av valg da fargede paneler og spesialtilpassede løsninger er mer kostbart en standard løsninger som benyttes i markedet daglig.

NRK Nordmannsløkka er godt egnet for energiproduksjon fra solcelleanlegg, og Norconsult anbefaler å innarbeide solcelleanlegg i prosjektet, både på tak og fasader. På fasade anbefaler vi en integrert løsning fremfor å montere et utenpåliggende solcelleanlegg. Dette reduserer materialbruk på fasaden og dermed byggets klimagassutslipp, samt at det vil kunne passe bedre inn i bygningens estetiske uttrykk.

Norconsult anbefaler gjøre vurderinger av ønskede valg for solcelleanlegg på tak og/eller fasade. RISol kan bistå med diskusjoner rundt plassering av solcelleanlegg om ønskelig. Når energibehovet er kjent kan Norconsult, etter avtale, bistå med vurderinger av solcelleanlegg med/uten batterisystem slik at resultatene tilpasses valgt løsning for tak og fasade og byggets energibehov. Det er samtidig lurt å tegne en skisse av solcelleanlegget inn i arkitekttegninger så tidlig som mulig slik at det blir en tverrfaglig bevissthet i at dette skal være en del av prosjektet og at i reguleringsplanen kan planlegges for installasjon av et solcelleanlegg.

Valg av definisjoner i reguleringsplanen kan være nyttig å tenke på ifbm. solcelleanlegg, dette for å få en enklere prosess den dagen det skal/potensielt skal installeres et solcelleanlegg. Norconsult anbefaler å ta med seg tanken om solcelleanlegg når reguleringsplanen utarbeides, slik at det kan legges inn bestemmelser som ikke er hindrende for et solcelleanlegg. Å legge inn noen ord om solcelleanlegg i planbeskrivelsen kan også være nyttig. Eksempler på hensyn er følgende:

- Reguleringshøyde. Et standard solcelleanlegg på flatt tak bygger omtrent 30 - 40 cm over taktekket. Et forhøyet system, dersom det legges større vekster på taket, vil bygge høyere enn et standard solcelleanlegg. Dette må hensyntas i reguleringshøyden.
- Bestemmelser om bruk av takareal til tekniske installasjoner. Dersom det settes bestemmelser vedr. andel takareal som kan benyttes til tekniske installasjoner, vær obs på at dette kan hindre solcelleanlegg. Som nevnt er det i vurderingene benyttet omtrent 30 – 40 % av tilgjengelig areal av de aktuelle takflate og 20 – 30 % for hver fasade. Vekselrettere til solcelleanlegget vil også oppta litt areal da de fortrinnsvis settes ute på taket i nærhet til solcelleanlegget. Gi unntak for solcelleanlegg dersom det settes bestemmelser som begrenser bruk av takareal til tekniske installasjoner.
- Solcellepaneler er definert som glassfasade. Eventuelle bestemmelser som hindrer bruk av glass som fasadematerial vil være til hinder for solcelleanlegg, og det bør defineres et unntak fra bestemmelsen for solcellepaneler.

I senere fasa av prosjektet anbefales det å oppdatere vurderingen av solenergi når energibehovet til bygget er kjent, og til fasade- og taktegninger er besluttet. Når energibehovet er kjent, kan solcelleanlegget dimensjoneres deretter og man kan ta hensyn til ønsket utforming på bygget. Valg rundt type fall på tak, oppstikk og blågrønne tak, samt. vinduer og hindringer på fasade vil gi et bedre underlag for vurderinger av solenergi dersom det ønskes en konkret anbefaling og lønnsomhetsvurdering rundt solcelleanlegg.