



Potensialet for solkraftproduksjon på eksisterende norske tak

| IFE/E-2023/006 |

Forskning for en bedre fremtid

Rapport nummer: IFE/E-2023/006	ISSN 2535-6380	Tilgjengelighet: Åpen	Publikasjonsdato:
Revision No.:			
Klient:	ISBN: 978-82-7017-947-3	DOCUS ID: 57973	Antall sider: 35
Tittel: Potensialet for solkraftproduksjon på eksisterende norske tak			
<p>Sammendrag:</p> <p>For at samfunnet skal nå målet om å bli nullutslipp innen 2050 trenger vi mer fornybar og miljøvennlig energiproduksjon. Solcelleanlegg er en sterkt voksende teknologi som både har blitt billigere og mer effektiv over tid. Solcellepaneler er ofte raskere å integrere enn andre energikilder og mer arealeffektive siden de kan implementeres på allerede eksisterende bygg. Denne rapporten har som mål å beregne solkraftpotensialet for eksisterende norske tak. Dette er utført ved å beregne arealutnyttelsen av takene hvor bebyggelse på takene, skyggeeffekt og regler for installasjon av solcellepaneler på tak er hensyntatt. Arealutnyttelsen er beregnet for åtte forskjellige bygningskategorier. Potensialet fra solkraftproduksjon på eksisterende norske tak er beregnet for hver bygningskategori, spot pris område og nasjonalt. Bygningskategoriene med høyest arealutnyttelse er landbruksbygninger, lager og garasje. Resultatet viser at det største potensiale for solkraftproduksjon er på bolighus etterfulgt av landbruksbygninger. Det totale potensialet for mulig installert kapasitet fra solcelleanlegg er 44,6 GWp som kan gi en kraftproduksjon på omtrent 30 TWh/år.</p> <p>Summary:</p> <p>For society to achieve the goal to become a zero-emission society by 2050, we need more renewable energy production. Photovoltaic systems are a rapidly growing technology that has both become cheaper and more efficient over time. Solar panels are fast to implement and can be space-efficient since they can be implemented on already existing buildings like rooftops. This report aims to calculate the solar power potential for existing Norwegian roofs. The potential has been calculated based on finding the area utilization of the roofs. In the calculation of the area utilization, structures on the roofs, the effect of shadow, and rules for the installation of solar panels on roofs have been considered. The area utilization is calculated for eight different building categories. The solar power potential for existing Norwegian roofs has been calculated for each building category, spot price region, and nationally. The building categories with the highest area utilization are agricultural buildings, warehouses, and garages. The results show that the greatest potential for solar power generation is from residential and agricultural buildings. Furthermore, the total potential for possible installed solar panel capacity is 44.6 GWp, which can provide a power production of approximately 30 TWh/year.</p>			
Utarbeidet av:	Stine Fleischer Myhre; Lisa Kvalbein		
Kontrollert av:	Mari Øgaard		

Institutt for energiteknikk

Postboks 40, 2027 Kjeller / Postboks 173, 1751 Halden

Tlf.: +47 63 80 60 00/ +47 69 21 22 00

www.ife.no / firmapost@ife.no



Godkjent av:	Pernille Merethe Sire Seljom
Rapport distribusjon:	For external, open

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
2	Informasjon og bearbeidelse av datasettet.....	2
2.1	Informasjon om datasettene	2
2.2	Bearbeidelse av datasettet	3
2.3	Total solkraftproduksjon i Norge	4
3	Analyse av arealutnyttelse av tak på bygg i Norge	6
3.1	Metode	6
3.1.1	Fremgangsmåte for å analysere arealutnyttelse av tak.....	6
3.1.2	Beregning av potensialet for årlig kraftproduksjon og kapasitet.....	8
3.2	Antagelser og usikkerheter	8
4	Potensialet for solkraftproduksjon i Norge	10
4.1	Lager	10
4.2	Potensialet for mulig kapasitet og solkraftproduksjon i Norge	11
4.2.1	Resultatet sammenlignet med kraftproduksjon og installert PV i Norge	14
4.3	Sensitivitetsanalyse	15
4.3.1	Prosentvis arealutnyttelse av tak.....	15
4.3.2	Orientering på tak og skyggeeffekt.....	16
4.3.3	Snølast på eldre bygg.....	17
4.4	Oppsummering	17
5	Konklusjon	18
6	Annerkjennelse.....	19
7	Referanser	19
	Appendiks	20
7.1	Garasje.....	20
7.2	Industri.....	22
7.3	Næringsbygg.....	24
7.4	Bolighus (enfamiliehus)	26
7.5	Flerfamiliehus	28
7.6	Landbruk.....	30
7.7	Fritidsboliger	32

1 Introduksjon

I 2022 kom EU med «REPowerEU»-planen som er EUs strategiplan for å gjøre Europa uavhengig av russisk fossilt brensel før 2030. Målet er å sørge for at Europa har tilgang til rimelig, sikker og bærekraftig energi [1]. Dette skal blant annet oppnås ved å akselerere integrasjonen av ren energi. Det langsiktige målet er å øke EUs fornybare mål for 2030 til 45%. En viktig del er økt installasjon av solcellepaneler. Gjennom EUs solenergiestrategi, som er en del av REPowerEU, er målet å ha 320 GW photovoltaics (PV) installert innen 2025 og 600 GW installert PV innen 2030 [1]. Målet for 2025 er over en dobling av dagens nivåer for installert PV-kapasitet. Som en del av planen for å akselerere denne transisjonen og nå målene for installert PV, har Europa kommet med et soltakinitiativ. Dette initiativet går ut på å gjøre det obligatorisk å installere sol på taket for alle nye offentlige og kommersielle bygg med bruksareal på over 250 m² innen 2026, eksisterende offentlige og kommersielle bygg med bruksareal på over 250 m² innen 2027 og alle nye boligbygg innen 2029 [2]. Dette er estimert til å kunne bidra betydelig inn mot å nå fornybarmålene og innen 2025 og vil kunne resultere i 58 TWh ekstra elektrisitetsproduksjon i Europa. Noen estimerer har kommet frem til at PV på tak kan bidra med omtrent 25% av EUs elektrisitetsforbruk [2].

Hvordan disse planene påvirker Norge er ennå usikkert. Det er store muligheter for at det vil kunne komme føringer for sol på tak av nye offentlige og kommersielle bygg i Norge fremover, men hvordan dette vil foreligge er enda ikke avklart. Det positive med å utnytte tak for installasjoner av PV er at dette er areal som ikke påvirker for eksempel uberørt natur eller ferdsel for mennesker.

Denne rapporten er skrevet som en del av prosjektet *SUn in Norway: POtential and Integration of the solar energy resource (SUNPOINT)* ledet av Institutt for energiteknikk (IFE). Målet med denne rapporten er å beregne PV potensialet på eksisterende norske tak basert på data fra felles kartdatabase (FKB) [3] og matrikkelen (Norges offisielle eiendomsregister) [4], levert og bearbeidet av Norkart, som inneholder informasjon om alle bygg i Norge. Denne studien undersøker det tekniske PV-potensialet på eksisterende norske tak og ønsker å kvantifisere følgende:

- Den prosentvise potensielle arealutnyttelsen av alle eksisterende tak på bygg i Norge fordelt på ulike bygningskategoriene fra matrikkelen.
- Potensialet for installasjon av PV på alle eksisterende tak i Norge basert på bygningskategori fra matrikkelen, spotprisområde (elprisområdene i Norge; NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5) og for Norge som en helhet.
- Den totale potensielle kraftproduksjonen over et år for solcellepaneler på alle eksisterende tak i Norge for de ulike bygningskategoriene fra matrikkelen, spotprisområder og for Norge som en helhet.

En lignende studie har blitt utført av Multiconsult i 2022 på oppdrag fra solenergi-klyngen [5]. Hovedforskjellen på studien utført av Multiconsult og denne er metodikken for å beregne arealutnyttelse av takene til de forskjellige bygningskategorier. I rapporten til Multiconsult er det gjort antagelser om helning, arealutnyttelse og orientering av takene. I denne studien er dette hensyntatt ved at et annet datagrunnlag med informasjon om helning og orientering av takene er benyttet, samt at arealutnyttelsene av takene for de forskjellige bygningskategoriene er beregnet. I tillegg har Multiconsult inkludert fasade av bygg i det tekniske potensialet for solkraft i Norge, noe som er utelatt i denne studien. Siden fremgangsmåtene er forskjellige, vil resultatet for det tekniske potensialet for solkraft på norske tak variere noe mellom rapportene.

Resten av denne rapporten er strukturert som følger. Kapittel 2 presenterer informasjon om det brukte datasettet fra Norkart. I tillegg beskriver kapittelet rensingen og klargjøringen av datasettet. Analysemetodikken av den potensielle utnyttelsen av norske tak er presentert i kapittel 3. Metodikken sammen med antagelser og forutsetninger for studien diskuteres også i dette kapittelet. I kapittel 4.1 presenteres de beregnede verdiene av PV potensialet for de norske takene fordelt på

bygningsskategorier fra matrikkelen og for Norge som en helhet. I tillegg så er det utført sensitivitetsanalyser hvor effekten av marginalfeilen for beregningene, orientering av tak og bæreevnen til eldre bygg er undersøkt. En konklusjon er presentert i kapittel 5.

2 Informasjon og bearbeidelse av datasettet

Dette kapitlet presenterer datasettene og bearbeidelse av datasettene brukt for å utføre analysen av det teoretiske PV potensialet på eksisterende norske tak. Først presenteres informasjon om datasettene før bearbeidelsen av datasettene blir forklart. Til slutt vises årlig potensiale for elektrisitetsproduksjon fra PV i Norge for forskjellige spotprisområdene fordelt på helning og orientering av takene.

2.1 Informasjon om datasettene

IFE har mottatt to datasett forberedt av Norkart. Disse datasettene er:

1. Datasett som inneholder **informasjon om takene** på alle eksisterende bygg i Norge. Her er det informasjon om helning, orientering, høyde, bredde, fotavtrykk-areal og 3D areal av takene. I tillegg er det også informasjon om hvilken kommune bygget ligger i, etablering av bygget, hvilken bygningstype bygget tilhører og unikt bygningsnummer til hvert bygg fra matrikkelen, samt ekstra informasjon om bygget og endringer som er gjort på bygget. Informasjon om takareal, helning og orientering fra dette datasettet er lagt til grunn for analysene om PV potensialet på norske tak i denne studien. Høyde og bredde parameterne fra datasettet multiplisert, beskriver det minste mulige rektangelet av takflaten. Dette betyr at dersom høyde x bredde verdien er tilnærmet lik 3D arealet i datasettet, er formen på taket rektangulært. Avviker dette så har taket en annen form, og er verdien omtrent halvparten av 3D arealet, kan taket være trekantet. Dette datasettet inneholder over 16 millioner takflater fordelt på 5 millioner bygninger. Det vil si at samme bygning (byggningsnummer) kan være representert flere ganger i datasettet hvis bygningen har takflater med ulik orientering og vinkling. Figur 1 viser et eksempel på hvordan takflater på bygg er markert. Datasettet inneholder ikke informasjon om objekter slik som vinduer, piper og annen bebyggelse på takene. I tillegg sier ikke datasettet om takene benyttes som parkeringsplass eller terrasse. Dette er noe som må hensyntas senere og er beskrevet i kapittel 3.1.
2. Datasett som inneholder **informasjon om soltimer** til hvert tak. I denne filen ligger det UTM koordinater (Universal transverse mercator som er et todimensjonalt koordinatsystem og det offisielle koordinatsystemet i Norge), unike bygningsnummer fra matrikkelen og soltimer for hvert tak beregnet ved forskjellige tidspunkt i løpet av dagen og måneden samt antall soltimer per dag i en måned. Det er koordinatene fra dette datasettet som er benyttet videre i denne studien da beregnet soltimer ikke er hensyntatt horisont.



Figur 1 Illustrasjon av takflater på bygning, hentet fra [6]. Illustrasjonen viser hvordan takflater på bygg er markert. Siden det er takflater med forskjellig vinkling og orientering vil et bygg kunne bli representert ved flere takflater i datasettet.

2.2 Bearbeidelse av datasettet

Det er utført noen bearbeidelser av datasettet for å få informasjonen i et format tilpasset analysene i denne studien. Først er det rensket bort rader fra datasettet som mangler informasjon om blant annet arealet til takene. Dette utgjorde totalt 0,0005‰ (9 rader/takflater). Tak som står oppført med et standardavvik høyere enn 1 ble fjernet fra datasettet. Dette standardavviket sier noe om usikkerheten i Norkart sine beregninger. Tak med et så høyt standardavvik kan gi dårlig grunnlag for beregning da det er knyttet høye usikkerheter til de beregnede verdiene for taket. Dette utgjorde 0.5% av datasettet. Videre ble takflater som er mindre enn 2 m² fjernet fra datasettet da disse i teorien ikke har plass til solcellepaneler. Dette utgjorde 6.1% av alle takene i datasettet.

For å enklere kunne dele de forskjellige takene inn i spotprisområder, ble det lagt til ekstra informasjon om navn på kommune, navn på fylke og fylkesnummer for hvert av takene i datasettet. Det ble lagt til informasjon som stemmer overens med nye kommune- og fylkesnummer etter sammenslåingene. Dette ble brukt til å tilordne takene til et spotprisområde. Etter kommune- og fylkessammenslåing, har noen kommuner endt opp mellom to spotprisområder. For å unngå å ha områder som er delt mellom spotprisområder, ble spotprisområdet for kommunene som er delt mellom to eller flere områder distribuert etter befolkning. Spotprisområdet med høyest befolkning fra kommunen ble brukt som spotprisområdet for den nye kommunen. Befolkningspopulasjon fra 2018 ble hentet fra statistisk sentralbyrå (SSB) og brukt som basis for valg av spotprisområde for delte kommuner [7].

Videre er det lagt til beskrivelse av hvilken bygningstype bygget tilhører. Dette er basert på bygningstype fra matrikkelen [8] og en kategorisering av disse igjen for å korte ned antall bygningstyper fra 118 til 18 forskjellige. Dette er; småhus, kontor, boligblokk, skole, garasje, forretning, industri, kultur, idrett, lager, fritid, hotell, barnehage, sykehjem, sykehus, landbruk, universitet og diverse. Disse kategoriene er brukt som en basis for analysen i denne studien. I denne studien faller kontor, skole, forretning, kultur, idrett, hotell, barnehage, sykehjem, sykehus, universitet og diverse under kategori *næringsbygg*, slik at potensialet for PV på eksisterende norske tak er analysert for totalt 8 forskjellige kategorier.

Helning- og orienteringsverdiene i datasettet er oppgitt i gon med to desimaler. For å unngå for mange ulike varianter av takhelling og orientering, ble helning og orientering på takene delt inn i 9 forskjellige kategorier for helning og 8 forskjellige kategorier for orientering. Disse kan ses i Tabell 1 og Tabell 2 for henholdsvis helning og orientering på takene. Tabellene viser helning- og orienteringsintervallet og hva som blir den korresponderende helningen og orienteringen for takene i datasettet.

Tabell 1 Fordeling av helling på takene brukt i datasettet.

Helningsintervall [°]	Helning [°]
0-15	10
16-25	20
26-35	30
36-45	40
46-55	50
56-65	60
66-75	70
76-85	80
86-90	90

Tabell 2 Fordeling av orientering på takene brukt i datasettet.

Orienteringsintervall [°]	Orientering
338-22	Nord
23-67	Nordøst
68-112	Øst
113-157	Sørøst
158-202	Sør
203-252	Sørvest
253-297	Vest
298-337	Nordvest

Det andre datasettet mottatt av Norkart inneholder koordinater til de forskjellige takene. Disse koordinatene ble lagt til i datasettet som inneholder informasjon om takene for å knytte hvert tak med en bestemt koordinat for å enklere kunne lete opp utvalgte bygninger for analysen.

2.3 Total solkraftproduksjon i Norge

Informasjon om mulig årlig kraftproduksjon fra sol ble lagt til i datasettet for hvert spotprisområde. Informasjonen om årlig produksjon er hentet fra PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) som er en åpen webapplikasjon som inneholder data om solinnstråling og produksjon fra PV systemer for store deler av verden [9]. PVGIS kan ta inn koordinater, helning og orientering i grader som input for å gi en verdi på mulig årlig produksjon. For å forenkle, ble hvert spotprisområde representert ved den største byen i området og årlig produksjon for spotprisområdet ble basert på koordinatene til denne byen (se Tabell 3). Videre ble også de kategoriserte orienteringene tilordnet grader for å kunne brukes som input i PVGIS. Dette er vist i Tabell 4.

Tabell 3 Største by i hvert spotprisområde med tilhørende koordinater. Dette er brukt for å hente informasjon om mulig årlig produksjon fra solinnstråling i de forskjellige spotprisområdene. Se Figur 3 Oversikt over de fem spotprisområdene i Norge. for oversikt over de forskjellige spotprisområdene i Norge.

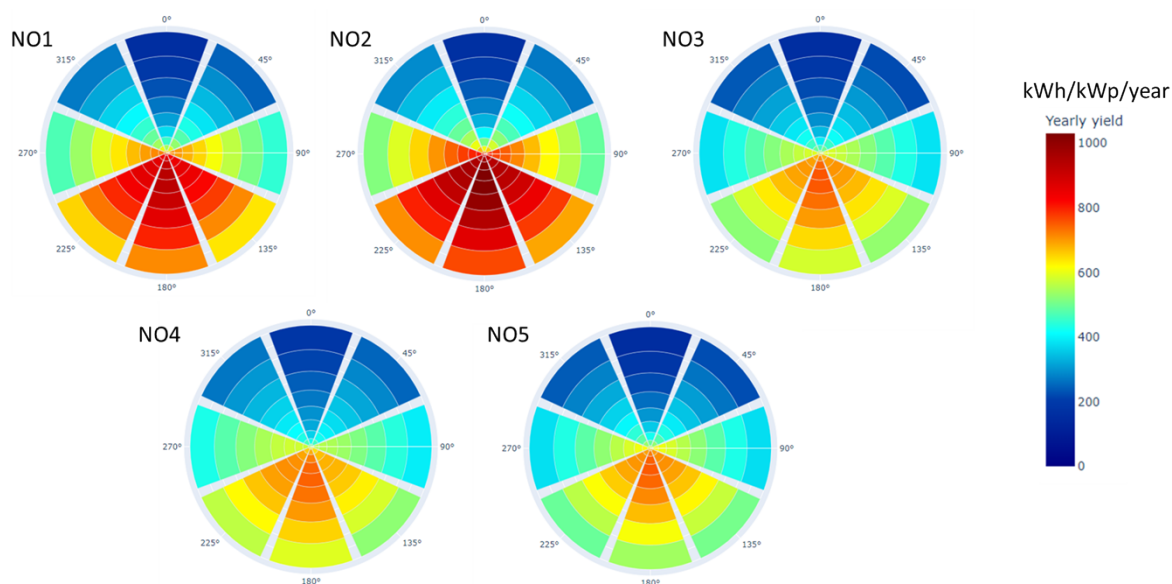
Spotprisområde	By	Breddegrad	Lengdegrad
NO1	Oslo	59.911395	10.733241
NO2	Kristiansand	58.144550	7.985169

NO3	Trondheim	63.431478	10.395919
NO4	Tromsø	69.648812	18.956160
NO5	Bergen	60.394909	5.325365

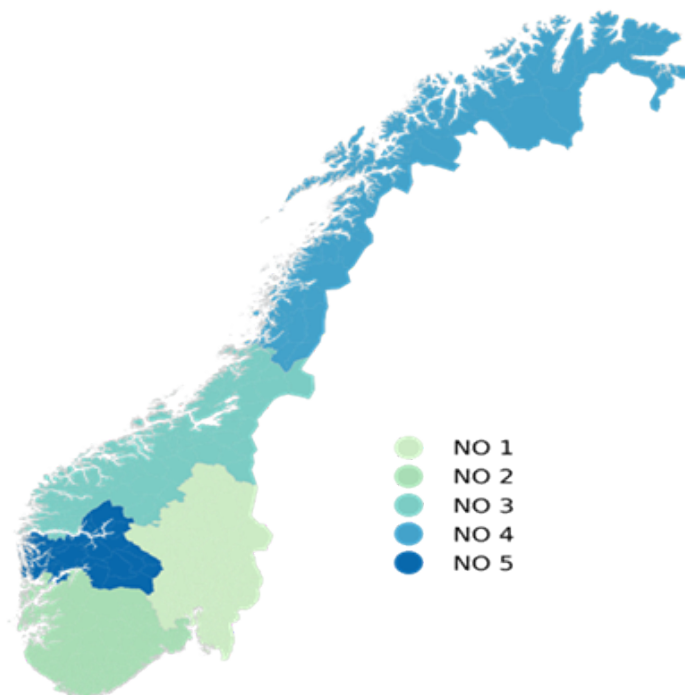
Tabell 4 Tilordning av de forskjellige orienteringene i grader, input verdier til PVGIS.

Orientering	Grader [°]
Nord	180
Nordøst	-135
Øst	-90
Sørøst	-45
Sør	180
Sørvest	45
Vest	90
Nordvest	135

Resultatet av dette er informasjon om årlig produksjon i energi per installert kapasitet for hvert spotprisområde i Norge for hver av helningene beskrevet i Tabell 1 og orienteringene beskrevet i Tabell 4. Figur 2 illustrerer hvordan dette fordeler seg på de forskjellige spotprisområdene. Den minste helningen (10°) er vist innerst og den høyeste er vist ytterst. Figuren viser at det største solpotensialet befinner seg i NO1 og NO2 som er forholdsvis Øst- og Sørlandet (se Figur 3 som viser spotprisinnndelingen i Norge). I tillegg kommer det frem at produksjonen er lav i nordvendte retninger hvor lavere helning gir høyere solkraftproduksjon. Sørvendte retninger gir betydelig høyere kraftproduksjon hvor helning på 40, 50, 30 og 20 ofte har de høyeste potensialene for kraftproduksjon.



Figur 2 Årlig solkraftproduksjon i energi per installert kapasitet for de forskjellige spotprisområdene i Norge basert på helning og orientering



Figur 3 Oversikt over de fem spotprisområdene i Norge.

3 Analyse av arealutnyttelse av tak på bygg i Norge

3.1 Metode

For å finne det tekniske potensialet for solceller på eksisterende norske tak, bør blant annet bebyggelse på takene bli hensyntatt og fjernet fra mulig område som kan benyttes til å plassere solcellepaneler. Siden datasettet ikke inneholder informasjon om bebyggelse på de forskjellige takene, ble dette undersøkt manuelt. Fremgangsmåten for å analysere mulig arealutnyttelse av takene innenfor de forskjellige bygningskategoriene er beskrevet nedenfor og består av å utføre en manuell prosess hvor Helioscope benyttes som verktøy for å plassere solceller på takene. Helioscope er et kommersielt verktøy hvor planlegging av solceller på tak kan bli utført [10]. I Helioscope legges det inn et bygg hvor ønsket område for solcellemoduler kan markeres. Basert på dette, blir antall moduler gitt. Helioscope tillater at det kan legges inn begrensinger slik som avstander til kant og mellom paneler, forskjellige type paneler og markere ut områder som det ikke skal monteres solcellepaneler på. Verktøyet tar også hensyn til skygge fra objekter på bygget dersom det er ønskelig.

3.1.1 Fremgangsmåte for å analysere arealutnyttelse av tak

Fremgangsmåten er delt inn stegvis:

1. **Innhente statistikk om bygningskategori som skal undersøkes.** Datasettet inneholder mange oppføringer per bygningskategori som gjør det svært tidkrevende å undersøke alle takene manuelt. Det er derfor viktig å kunne se hvordan takene fordeler seg basert på forskjellige kategorier slik som fordeling av areal og helning. Siden det ikke er noe informasjon om bebyggelse på takene fra datasettet, kunne ikke dette bli tatt med inn i den statistiske oversikten for takene.
2. **Velge tak som skal undersøkes.** Takene som ble valgt ut for analyse ble valgt ut tilfeldig basert på den innhentende statistikken fra steg 1. Dette ga at tak av for eksempel størrelse og helning som forekommer oftest ble valgt ut flest ganger. Det har blitt undersøkt opp mot 20 forskjellige bygninger for hver av bygningskategoriene.

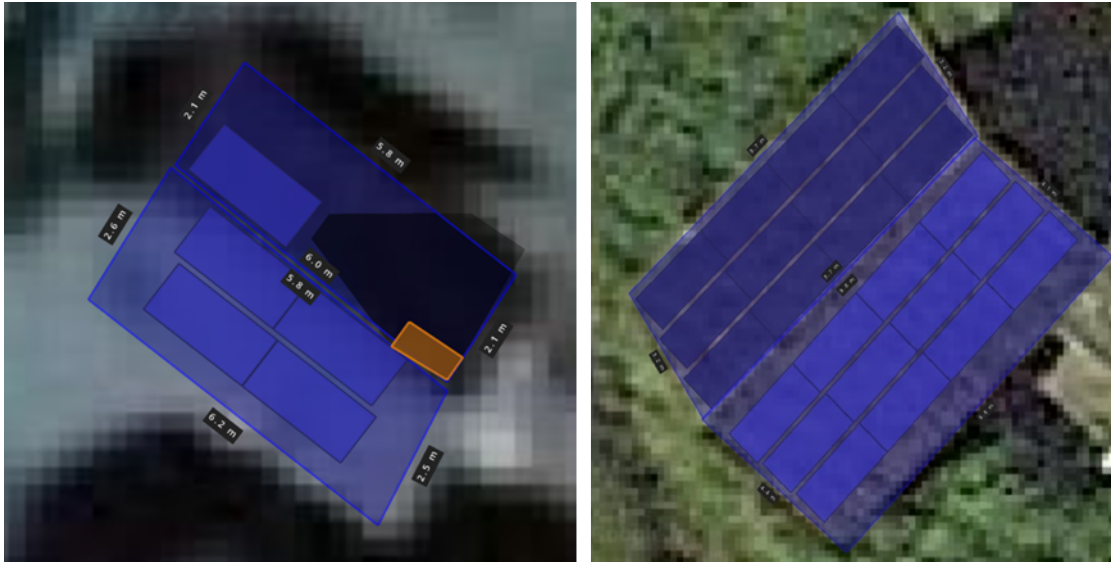
- Finne bygget i Norgeskart og google maps/earth.** Siden Helioscope kun tar inn en adresse på bygget, måtte bygget først søkes opp i Norgeskart og/eller google maps/earth. Norgeskart gir i de fleste tilfeller en adresse på bygget, men det er ikke alltid tilfellet at google maps klarer å finne bygget basert på denne adressen. Dersom dette er tilfellet, vil ikke Helioscope heller finne bygget. Koordinatene ble derfor puttet inn i google maps for å finne plassering på bygget som senere ble brukt som et grunnlag til å søke seg frem til bygget i Helioscope basert på området og satellittbilder. Figur 4 viser eksempler på hvordan et bygg ser ut i Norgeskart kontra i google maps. For mange av byggene var satellittbildet veldig uklart slik som illustrert i Figur 4. Dette gjorde det vanskelig å kunne benytte dette bygget for å beregne arealutnyttelse i Helioscope. I de fleste tilfeller ble et annet bygg valgt. Google maps og earth gir også en bedre oversikt over bebyggelse på taket samt at i google earth kan høyden på takbebyggelsen også estimeres.



Figur 4 Eksempler på hvordan det kan se ut når et bygg er søkt på i Norgeskart og Google maps. Google maps bildet viser også et eksempel på et litt uklart satellittbilde av taket.

- Legge inn bygget i Helioscope.** Etter at bygget er funnet i Norgeskart eller google maps/earth så kan bygget bli funnet og lagt til i Helioscope.
- Markere tak.** Når et bygg er valgt, så kan ønskede tak markeres. Dette gjøres ved å markere endekantene av bygget.
- Markere områder av taket med bebyggelse.** For å hensynta bebyggelse på takene, kan bebyggelsen bli markert slik at dette området ikke blir med i beregningen av tilgjengelig areal for solcellemoduler. Her er det mulig å hensynta høyden på objektene og hvilken skyggeeffekt disse påfører takene. Etter samtale med Solcellespesialisten ble det valgt at skygge fra objekter på takene skulle hensyntas i studien. I analysen så er det tatt utgangspunkt i skyggeeffekter som forekommer 21 september. Dersom objekter gir skygge på de mest solrike dagene i løpet av året (inkludert 21 september), vil ikke solcellepaneler bli installert på disse områdene. Selv om det er teknisk mulig, vil det ikke bidra i stor grad til strømproduksjon.
- Legge på PV paneler.** Når taket og bebyggelse/objekter på taket er markert, kan solcellepaneler legges på taket. I denne studien er alle analysene gjort med utgangspunkt i samme type modul, IBC monosol 450 OS9-HC (450W) [11]. Denne modul typen er valgt da den representerer typiske dimensjoner for solcellepaneler. Siden det er usikkerhet knyttet til markeringen av takområdene er det krevd minst 10 cm til kant av taket og 10 cm mellom

hver rad med moduler. Vinkelen på modulene følger helningen på taket som beskrevet i Tabell 1. Figur 5 viser hvordan taket og objekter på taket er markert med solceller. Det oransje feltet i figuren til venstre viser et objekt som er markert ut med skyggeeffekten dette gir.



Figur 5 Eksempler på hvordan det ser ut når taket er markert og lagt på solcellepaneler. Det oransje området illustrerer en pipe som vil skape skygge

3.1.2 Beregning av potensialet for årlig kraftproduksjon og kapasitet

Den totale beregnende utnyttelsesgraden er benyttet for å estimere hvor stort areal av hvert tak det er teknisk mulig å installere solcellemoduler på. Basert på dette arealet, er beregninger av forventet mulig kapasitet (potensialet for «kW-peak» for solcellepaneler) og kraftproduksjon fra solcellemodulene kalkulert.

Den installerte kapasiteten for et tak kan beregnes som i ligning (1). Her er A arealet av taket, U arealutnyttelsen av taket og ρ energitettheten til solcellemodulene. Energitettheten til et solcellepanel forteller noe om mengden elektrisk energi som kan produseres per overflateenhet og tallfester dermed solcellepanelet sin effektivitet når det gjelder å konvertere sollys til elektrisitet.

$$P_{ins} = A * U * \rho \quad (1)$$

Den totale årlige kraftproduksjonen (E) fra solcellemodulene på et tak kan beregnes som i ligning (2). $E_{specific\ yield}$ er solkraftproduksjonen i energi per kapasitet for et gitt område med bestemt helning og orientering av taket som beskrevet i seksjon 2.3 hentet fra PVGIS.

$$E = P_{ins} * E_{specific\ yield} \quad (2)$$

Den mulige kapasiteten og kraftproduksjonen er brukt som verdier for å fremvise solpotensialet for de forskjellige bygningskategoriene og nasjonalt.

3.2 Antagelser og usikkerheter

Det er en del usikkerheter i tillegg til at det er gjort en del antagelser knyttet til studien. Det er for eksempel usikkerheter knyttet til metodikken fra Norkart relatert til deres beregninger av parametere for tak. Dette gjelder spesielt for bygninger som ligger plassert på områder der det er vanskelig å innhente satellittdata og informasjon. Som nevnt tidligere, er det knyttet noen usikkerheter til

markeringen av takene og objekter på takene, spesielt for bygninger med dårlige satellittbilder. Det er derfor lagt til små marginer for tak med dårlige satellittbilder. Dette utgjør 10 cm til kant og 10 cm mellom hver modul for å hensynta denne usikkerheten når det legges på solcellepaneler på takene. I tillegg er det 14,5% av alle takene i datasettet som ikke tilhører en bygningskategori. Dette gjør det vanskelig å plassere disse i en gruppe, de er ikke hensyntatt i analysen av PV potensialet på eksisterende norske tak.

Denne studien har som hensikt å finne det tekniske potensialet for solceller på eksisterende tak i Norge. Nordvendte tak er derfor inkludert i studien da det er teknisk mulig å legge solcellepaneler på disse takene. Det er heller et økonomisk spørsmål om det er hensiktsmessig eller ikke for bygget. Som nevnt hensyntas objekter på taket og skyggeeffekten av disse. Grunnen til at skyggeeffekten er hensyntatt er at det etter samtale med Solcellespesialisten ble erfart at objekter som gir skyggeeffekt på de mest solrike dagene i løpet av året gir ingen teknisk potensialet i form av solkraftproduksjon. Datoen for utgangspunkt for skyggeeffekt ble satt til 21 september (tidlig høstdag som kan være solrik). Skyggeeffekten fra omkringliggende objekter som trær og andre bygninger som ikke står på eller helt inntil taket er ikke tatt hensyn til. Det er heller ikke hensyntatt skyggeeffekt basert på orientering. I realiteten vil utnyttelsen på sørvendte tak være noe høyere enn nordvendte på grunn av skygge. Dette vil variere mellom bygg. Arealutnyttelsen er valgt å fordeles jevnt over takene i denne studien.

Studien hensyntar også reglement for installasjon av solcellepaneler på tak. For flate tak kan panelene i teorien ligge nesten helt ut til takkanten så lenge det ikke bryter med brann- og bygningsregler. I virkeligheten varierer dette basert på pris av installasjonen. Det er billigere å installere med litt avstand til takkanten, da stillas rundt bygget ofte kan unngås. I denne studien er panelene lagt nær kant av takene, for flate tak, for å utnytte det tekniske potensialet. Det eneste som kan hindre dette er om det eventuelt befinner seg struktur ved kanten av taket.

For tak med helning så gjelder litt andre bestemmelser. Dersom det legges solceller på alle takflatene, må minst en av takflatene ha minst 1 meter avstand til en av husets kanter, de andre takflatene kan ha 20 cm til kant. I tillegg, dersom taket har møne, må solcellemodulene installeres i en avstand på mer enn 60 cm fra takmønnet [12]. For tak hvor det kun installeres solcellemoduler på den ene takflaten er det ingen krav til avstand fra takets ytterkant eller mønnet.

Det kan være vanskelig å overholde alle reglene knyttet til installasjon av solcellemoduler på tak gjennom den presenterte metodikken. For enkelte bygg er det vanskelig å se eventuelle brannskiller og andre tekniske installasjoner som krever en viss avstand. Derfor har beregningen av arealutnyttelsen på takene i de forskjellige bygningskategoriene blitt utført konservativt.

I studien er det antatt en energitetthet for solcellene på 200 Wp/m² solcellepanel. Effektiviteten for monokrystalline solceller ligger på omtrent 20%-25%, moduleffektiviteten vil i teorien være noe lavere enn celleeffektiviteten [13]. Energitetthet på 200 Wp/m² er en antagelse som baserer seg på effektiviteten av eksisterende moduler. Effektiviteten til solceller har økt mye siden starten av 2000-tallet i takt med at prisen har sunket [14]. Sol er og vil bli en viktig kilde til energi i fremtiden, og det er antatt at effektiviteten på solceller vil fortsette å forbedre seg fremover [15]. Basert på dette kan antagelsen om energitetthet på 200 Wp/m² betraktes som noe konservativt. PV panelet som er benyttet for å finne arealutnyttelsen på takene i de forskjellige bygningskategoriene er IBC monosol 450 OS9-HC (450W). Det samme panelet er benyttet i analysen for å gi likt utgangspunkt med tanke på størrelsen til panelet på taket ved beregning av arealutnyttelsen. Videre i studien så er det antatt at en solcellemodul er av størrelsen 2 m² når mulig kapasitet og kraftproduksjon er beregnet.

Når det prosjekteres for installasjon av solcellemoduler på taket til et bygg må det vurderes om bygningskonstruksjonen tåler den ekstra belastningen av solcelleanlegget. Snølast kan skape et ekstra problem for tak med solcellemoduler, da måking av snø kan være utfordrende, spesielt for flate tak. Dette kan være en utfordring for installasjon av solcellemoduler på bygg satt opp før 2003 da disse ble konstruert før snølastnormen ble revidert. I 2003 ble returperioden forlenget fra 5 til 50 år som betyr

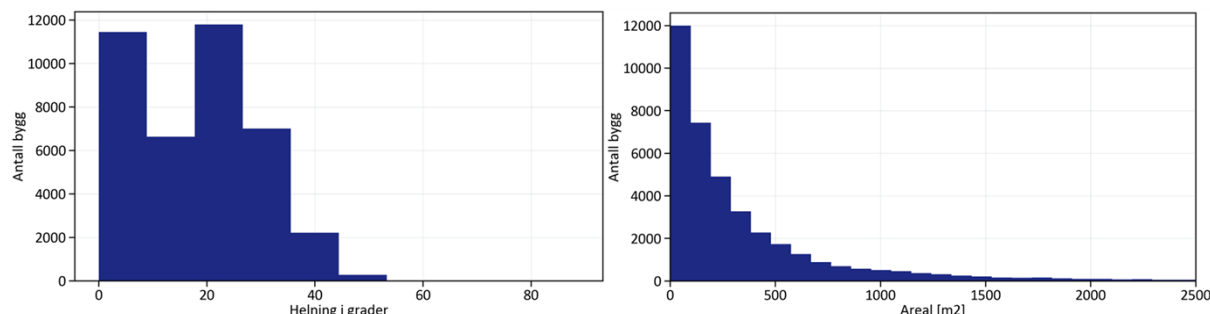
at takene nå skal bli dimensjonert for å håndtere snølast som statistikk sett inntreffer hvert 50 år. Dette kan ha innvirkning for installasjon av solcelleanlegg på eldre bygg, da belastningen kan bli for høy, spesielt med snø. Dette kan føre til at kun en mindre del av taker kan benyttes for installasjon eller at bygget ikke er dimensjonert for at det kan installeres solcellemoduler. Dette vil variere fra bygg til bygg og må vurderes for hvert enkelt bygg. For beregninger av det tekniske potensialet for PV på norske tak i denne studien, er ikke snølast hensyntatt i analysen, men det er tatt i betraktning i en sensitivitetsanalyse.

4 Potensialet for solkraftproduksjon i Norge

Dette kapittelet presenterer resultatene fra solpotensialanalysen. Det vil først bli presentert resultater fra analyse utført på en bygningskategori. Dette er gjort for å vise hvordan analysen for hver bygningskategori er utført. Analysen og resultatet for de andre bygningskategoriene kan finnes i Appendiks (0). Presentasjonen av analysen for de andre bygningskategoriene er tilsvarende den som blir fremvist i dette kapittelet. Først presenteres resultatet fra analysen utført på bygningskategori *lager*, før det totale resultatet for Norge er vist til slutt. Det er også utført flere sensitivitetsanalyser på resultatene for å vise hvor sensitivt resultatet er for små endringer i antagelsene og for å hensynta usikkerhet og feilmarginer i metodikken for beregning av arealutnyttelsen av takene.

4.1 Lager

Bygningskategorien *lager* omfatter det som kalles kjøle- og fryselager, annen lagerbygning og lagerhall i matrikkelen. Hvordan typiske takegenskaper slik som helning og areal er fordelt for lagerbygg er vist i Figur 6. De aller fleste takene i kategorien *lager* er flate tak hvor medianhelning er på omtrent 20° og gjennomsnittet er på 11°. De fleste takflatene er mindre enn 200 m² hvor gjennomsnittet av takarealene for lagerbygningene er på litt under 500 m². Totalt er det 19,5 km² takareal i denne kategorien.



Figur 6 Fordeling av helninger og areal for tak i kategorien lager.

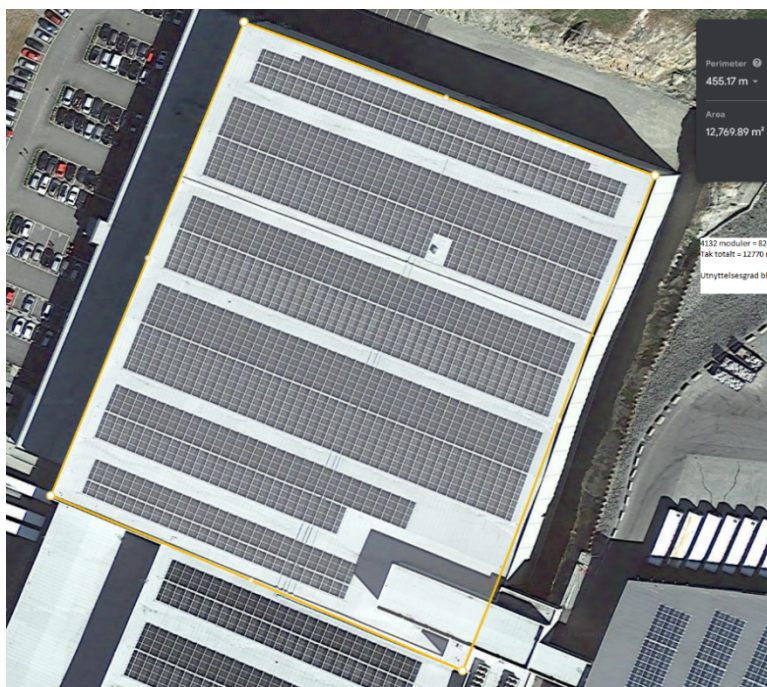
Figur 7 viser et eksempel på et tak lagt med solcellemoduler fra denne bygningskategorien. Taket er flatt med noe struktur. De oransje feltene i figuren viser område med struktur på taket. Med relativt lite struktur på taket, er det teknisk mulig å montere solcellemoduler på store deler av taket. For dette bygget er arealutnyttelse for solcellemoduler på 65%. Figur 8 viser et annet eksempel på en lagerbygning med solcellemoduler på taket. Dette er et bygg som allerede har installert solcellemoduler på store deler av taket. Det kommer frem av figuren at områder uten installasjon er enten områder som lager skygge, områder med struktur, eller områder for fri ferdsel. Denne installasjonen har også en arealutnyttelse på 65%.

Takene vist i Figur 7 og Figur 8 er typiske for denne bygningskategorien, flate tak med noe struktur. Gjennom analysen av arealutnyttelse for takene i kategorien *lager*, ble det estimert en total arealutnyttelse på 60%. Antar man 60% arealutnyttelse tilsvarer det et tilgjengelig totalt takareal fra lagerbygg på 11,7 km² det kan installeres solcellemoduler på.

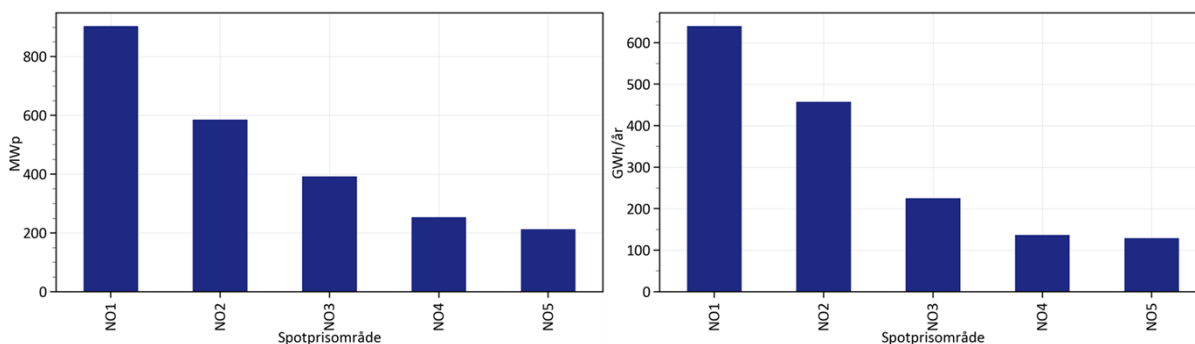
Figur 9 viser potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler installert på tak for bygninger i denne kategorien distribuert på de forskjellige spotprisområdene. Figuren viser at det er klart flest lagerbygninger i NO1 som gir den høyeste installerte kapasiteten. Videre så viser figuren at den årlige kraftproduksjonen blir størst i NO1 og NO2. Nasjonalt så gir dette et potensial for installert kapasitet på 2,3 GWp som gir en mulig årlig kraftproduksjon på 1,6 TWh/år for lagerbygninger.



Figur 7 Solcellemoduler lagt på tak for en lagerbygning. Det oransje området viser bebyggelse på taket som er utelatt fra studien. Bygget har en total arealutnyttelse på 65%.



Figur 8 Allerede montert solcelleinstallasjon på en lagerbygning. Denne installasjonen har en total arealutnyttelse av taket på 65%.



Figur 9 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningskategori lager.

4.2 Potensialet for mulig kapasitet og solkraftproduksjon i Norge

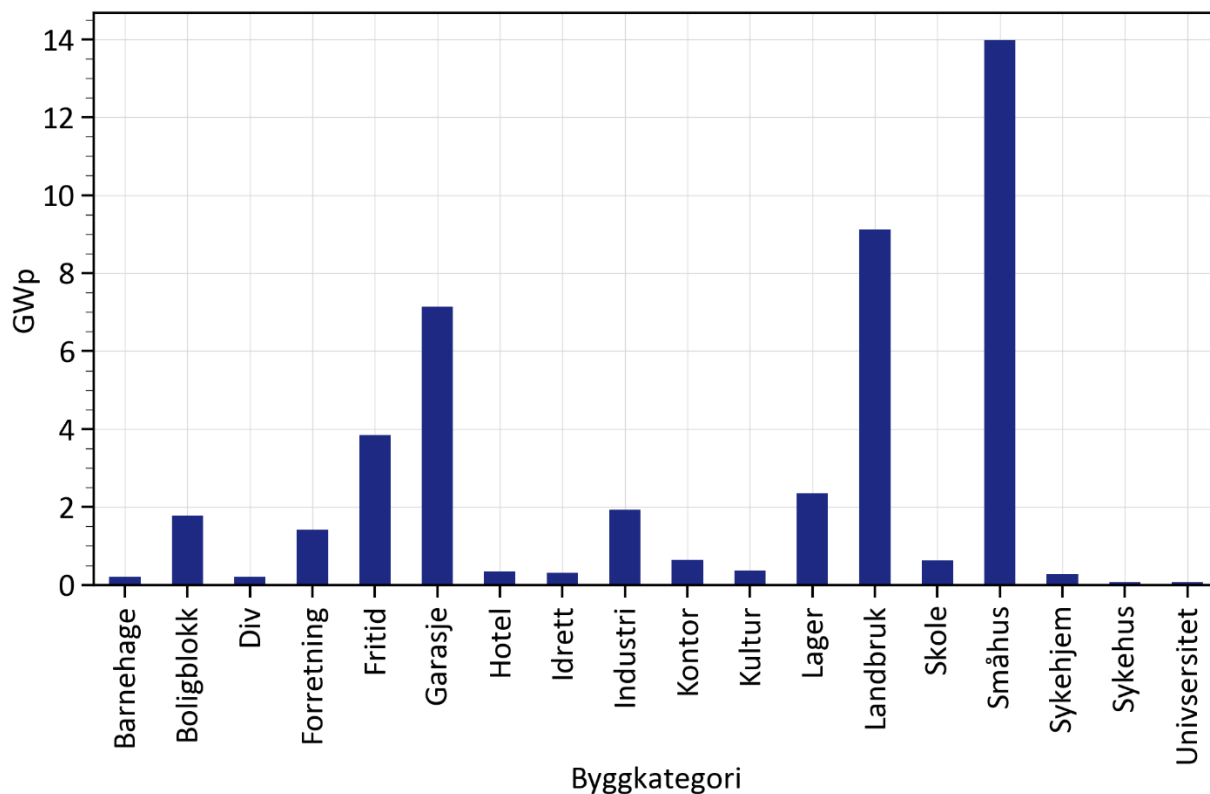
Tabell 5 oppsummerer og viser en oversikt over mulig kapasitet, kraftproduksjon, takareal, utnyttelsesgrad av takarealet og nyttbart areal for de undersøkte bygningskategoriene samt hvordan dette er totalt for Norge. Kun basert på bygningskategorier, er det småhus etterfulgt av landbruk og

garasje som har det høyeste potensialet. Dette henger sammen med det høye takarealet for disse bygningskategoriene samt den høye utnyttelsesgraden for landbrukskategorien. Flerfamiliehus og industri har det laveste potensialet siden begge kategoriene har lav utnyttelsesgrad og lite tilgjengelig takareal. Videre så er det bygningskategoriene garasje, lager og landbruk som har den høyeste utnyttelsesgraden av takarealet, mens de andre har noe lavere utnyttelsesgrad mye på grunn av strukturer på som befinner seg på disse takene (se for mer informasjon om hver bygningskategori). Basert på bygningskategori ligger det største potensialet hos husholdninger.

Tabell 5 Oversikt over potensialet for mulig kapasitet og kraftproduksjon fordelt på bygningskategori.

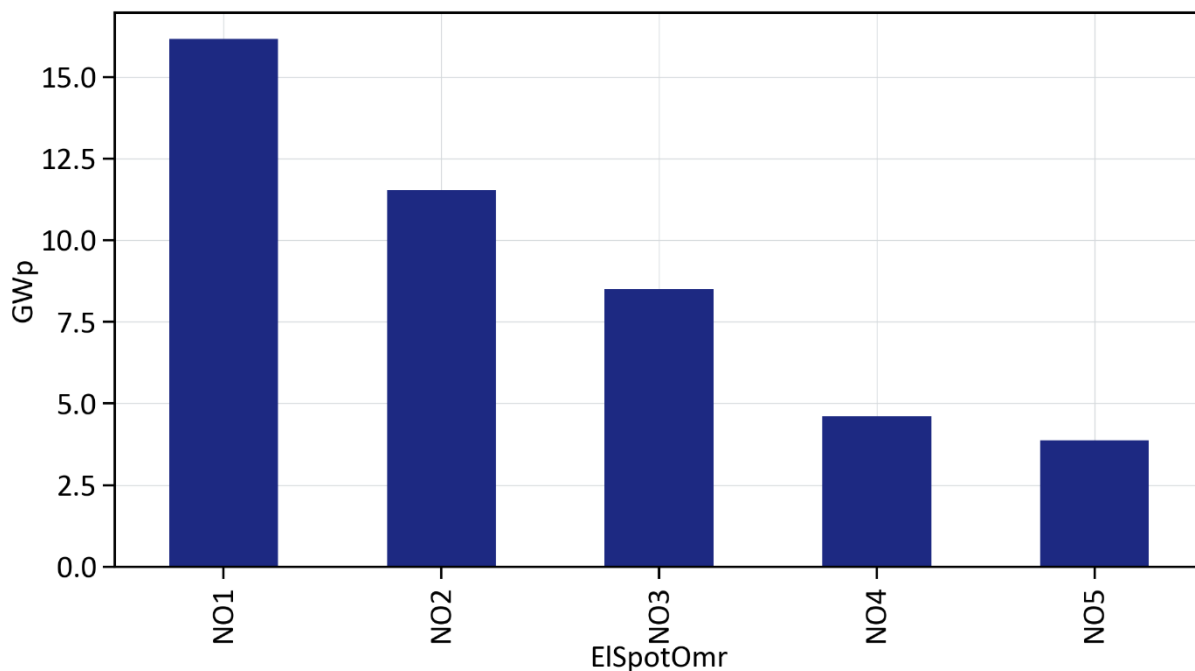
Bygningskategori	Takareal [km ²]	Utnyttelsesgrad	Nyttbart areal [km ²]	Kapasitet [GWp]	Kraftproduksjon [TWh/år]
Bolighus	233	30%	70	14	9,4
Flerfamiliehus	30	30%	9	1,8	1,2
Garasje	60	60%	36	7,1	4,8
Fritidsboliger	64	30%	19	3,9	2,6
Sum husholdninger	<u>387</u>		<u>134</u>	<u>26,8</u>	<u>18,0</u>
Næringsbygg	76	30%	23	4,5	3
Industri	32	30%	10	1,9	1,3
Lager	20	60%	12	2,3	1,6
Landbruk	83	55%	46	9,1	6,1
Sum	<u>211</u>		<u>91</u>	<u>17,8</u>	<u>12,0</u>
Totalt	<u>598</u>		<u>225</u>	<u>44,6</u>	<u>30</u>

Figur 10 illustrerer fordelingen av mulig PV kapasitet på de forskjellige bygningskategoriene for eksisterende tak (se for analyse av de forskjellige bygningskategoriene). Her så er næringsbyggkategorien delt opp for å vise hvordan resultatet fordeler seg på de forskjellige underkategoriene (det er antatt lik utnyttelsesgrad av takarealet for disse underkategoriene hvor arealutnyttelsen for næringsbygg er benyttet). For næringsbyggkategorien er det forretninger som har det største potensialet for PV blant næringsbyggtypene.

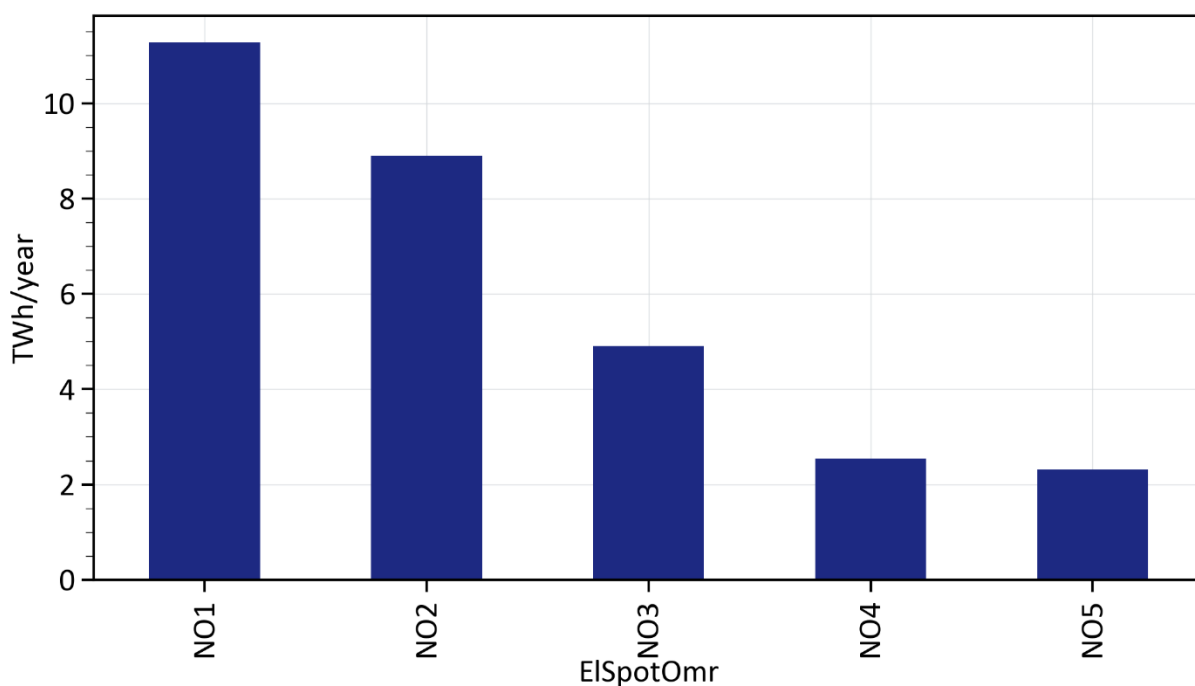


Figur 10 Fordelingen av mulig PV kapasitet på de forskjellige bygningskategoriene. Denne figuren viser hvordan mulig PV kapasitet fordeler seg på de forskjellige underkategoriene til næringsbyggkategoriene.

I Figur 11 og Figur 12 vises installert kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler på eksisterende norske tak fordelt på spotprisområdene. Det er NO1 som har det høyeste potensialet hvor NO2 følger like etter da solinnstrålingen er stor i Sør-Norge. Nasjonalt gir denne analysen et potensiale for mulig kapasitet på 44,6 GWp som kan gi en årlig kraftproduksjon på omtrent 30 TWh/år, noe som også kommer frem av Tabell 5. Den årlige kraftproduksjonen vil kunne variere fra år til år basert på solinnstråling for de forskjellige lokasjonene.



Figur 11 Installert kapasitet fra solcellemoduler på norske tak fordelt på spotprisområder.



Figur 12 Årlig strømproduksjon fra solcellemoduler på norske tak fordelt på spotprisområder.

4.2.1 Resultatet sammenlignet med kraftproduksjon og installert PV i Norge

Det er om lag 299 MW installert solkraft i Norge per 2022. Dette utgjør omtrentlig en årlig strømproduksjon fra solkraft på 0,225 TWh [16]. Sammenliknet med den årlige kraftproduksjonen i Norge som er på om lag 156 TWh, utgjør solkraft kun en promille. Dersom potensialet for installert kapasitet fra PV baseres på denne studien vil den installerte kapasiteten fra PV på eksisterende tak i Norge øke med 44,4 GWp. Dette tilsvarer en økning i installert kapasitet på 14 843%. Videre så fører dette til en betydelig økning i årlig kraftproduksjon fra solkraft som ville utgjort litt under 20% av dagens totale kraftproduksjon i Norge.

Dersom et lignende soltakinitiativ som EU har fremlagt skulle iverksettes i Norge, kan dette i første omgang legge føringer for at nye offentlige-, kommersielle- og industribygg av en gitt størrelse må installere solceller på taket. Denne studien har ikke sett på potensialet for solkraft på nye bygg, kun eksisterende. Soltakinitiativet tar også opp føringer for eksisterende offentlige og kommersielle bygg. Dersom resultatet undersøkes for allerede eksisterende offentlige-, kommersielle- og industribygg, som vil si næringsbygg-, industri- og lagerkategoriene, gir analysen et teknisk potensial for installert PV kapasitet på 8,7 GWp. Dette gir en årlig kraftproduksjon på omtrent 5,9 TWh/år. Sammenlignet med installert PV kapasitet i 2022, utgjør dette en økning på 8,4 GWp. Den årlige kraftproduksjonen fra solkraft vil da bidra med 3,7 % av den totale kraftproduksjonen i Norge per 2022. Dette er betydelig mindre enn det beregnede totale potensialet på 29,7 TWh/år, da mye av solkraftpotensialet finnes hos husholdninger som fremvist i Tabell 5.

Inkluderes landbruksbygninger som en del av kommersielle bygg, vil den installerte kapasiteten mer enn dobles til 17,8 GWp, noe som gir en årlig kraftproduksjon på omtrent 12 TWh/år. Dette tilsvarer at produksjon fra solcellemoduler bidrar med litt under 8% av dagens kraftproduksjon i Norge.

4.3 Sensitivitetsanalyse

Dette avsnittet presenterer forskjellige utførte sensitivitetsanalyser. Først så vises hvordan potensialet for kapasitet og kraftproduksjon endrer seg med endring i arealutnyttelse på takene. Dette er utført for å hensynta feilmargen i beregningene knyttet til beregning av arealutnyttelse av takene. Siden det ikke er analysert for et representativt antall tak i hver bygningskategori, ble det beregnet en feilmargen på omtrent $\pm 20\%$ av resultatet for utnyttelsesgrad av takene. Feilmarginen ble beregnet basert på hvor stor andel av takene i hver kategori som ble undersøkt mot antall tak i hver kategori og sier noe om usikkerheten knyttet til de beregnede verdiene for arealutnyttelse når det ikke er beregnet for et representativt utvalg. Videre presenteres effekten orientering på takene har for resultatene og effekten av å hensynta mulig bæreevne på eldre bygg. Til slutt presenteres det en oppsummering av antagelser og resultater fra sensitivitetsanalysene.

4.3.1 Prosentvis arealutnyttelse av tak

Siden det er usikkerheter tilknyttet analysen utført for å estimere arealutnyttelsen av takene i de forskjellige kategoriene, er en sensitivitetsanalyse utført for å vise hvor sensitivt potensialet er for endring i arealutnyttelse av takene. Her er det forsøkt å hensynta feilmarginen som oppstår ved å kun analysere for et fåtall av alle takene i hver bygningskategori. Det er valgt å kun analysere for et fåtall tak da det er for tidkrevende å analysere for et representativt antall tak fra hver kategori. Med tanke på feilmargen er det valgt å se på hvordan installert kapasitet og årlig kraftproduksjon påvirkes med $\pm 20\%$ forskjell av den estimerte arealutnyttelsen på takene. De beregnede arealutnyttelsene for de forskjellige bygningskategoriene som er presentert i Tabell 5 er benyttet som en basis i studien. Det betyr at arealutnyttelse lik 1 i denne analysen tilsvarer den estimerte arealutnyttelsen som presentert i Tabell 5. Dette vil si at dersom den beregnede arealutnyttelsen er 30% vil arealutnyttelse på 0,95 i denne analysen tilsvare en arealutnyttelse på 28,5%. Resultatet for sensitivitetsanalysen er vist i Tabell 6.

Tabell 6 Mulig kapasitet og årlig kraftproduksjon for forskjellige arealutnyttelser av takene.
Resultatet er vist nasjonalt.

Arealutnyttelse	Kapasitet [GWp]	Kraftproduksjon [TWh/år]
0,8	35,6	23,8
0,85	38,0	25,2
0,9	40,2	26,7
0,95	42,5	28,2
1	44,6	29,7
1,05	46,9	31,2
1,1	49,2	32,7

1,15	51,4	34,2
1,20	53,6	35,6

Basert på resultatet av sensitivitetsanalysen, har den installerte kapasiteten og den årlige effekten et lineært forhold til endring i arealutnyttelse. For hver 5% økning eller minking av arealutnyttelsen, vil den installerte kapasiteten endre seg med omtrent $\pm 2,2$ GWp og den årlige effekten $\pm 1,5$ TWh/år. Sammenlignet med referanseverdiene som representerer den estimerte arealutnyttelsen for hver bygningskategori, tilsvarer dette en endring i mulig kapasitet på totalt ± 8.9 GWp og årlig kraftproduksjon på ± 5.9 TWh/år etter om det er en økning eller minking i arealutnyttelse.

Dersom det legges til grunn en arealutnyttelse på 100% for alle takene, tilsvarer dette en installert kapasitet på 126 GWp og en mulig årlig kraftproduksjon på 83 TWh/år. Det teknisk mulige potensialet som er beregnet i denne studien (44,6 GWp), tilsvarer kun 35% av den mulige kapasiteten dersom 100% arealutnyttelse av takene er antatt.

4.3.2 Orientering på tak og skyggeeffekt

Solinnstråling for nord-, nordøst- og nordvestvendte tak er dårlig, som vist i Figur 2. På grunn av dette, er det utført en analyse hvor disse orienteringene er utelatt fra PV potensialet for eksisterende tak. Hovedgrunnen for denne analysen er å undersøke hvor stor andel av potensialet som ligger i orienteringer med begrenset solinnstråling hvor det ofte ikke er økonomisk å installere solcellemoduler. Denne studien er utført i to deler, 1) hvor kun nordvendte tak er tatt bort og 2) hvor nord-, nordøst- og nordvestvendte tak er utelatt. Her er arealutnyttelsen som presentert i avsnitt Tabell 5 benyttet. Resultatet er vist i Tabell 7.

Resultatet viser at dersom kun nordvendte tak er utelatt fra PV potensialet, minker den installerte kapasiteten med 8,5 GWp som tilsvarer en reduksjon på 19%. Dette vil gi en årlig kraftproduksjon på omtrent 25,3 TWh/år. Dersom alle nordvendte orienteringer tas i betraktning, minker den installerte kapasiteten med 17,9 GWp som tilsvarer en reduksjon på 40%. Dette tilsvarer en årlig kraftproduksjon på omtrent 20,2 TWh som tilsvarer en reduksjon på 32% kraftproduksjon. Dette viser at nesten halvparten av den installerte kapasiteten er tilknyttet tak orientert i nordvendt retning. Siden nordvendte tak har lavere solinnstråling, er det ikke en tilsvarende høy reduksjon i årlig kraftproduksjon, men består fremdeles for en tredjedel av den estimerte produksjonen.

Basert på installasjonsregelen om minst 1 m avstand til kant fra panel på en takflate dersom flere takflater er dekket, kan fjerning av nordvendte tak føre til litt økt antall paneler på takflaten som står igjen dersom det nå kun ender opp med å bli installert solcellemoduler på en takflate. Det kan derfor argumenteres for at reduksjonen i mulig kapasitet og kraftproduksjon i teorien vil være noe mindre enn hva analysen estimerer.

Tabell 7 Installert kapasitet og årlig kraftproduksjon for Norge når nordvendte orienteringer er utelatt.

Orientering tatt bort	Kapasitet [GWp]	Kraftproduksjon [TWh/år]
Nord	36,2	25,3
Nord, nordøst og nordvest	26,8	20,2

Det er vanskelig å estimere hvordan skyggeeffekten fra objekter på takene påvirkes basert på orienteringene av takene. Skyggen til et objekt vil bevege seg i løpet av dagen basert på posisjonen til solen. Når solen står opp i øst, vil det være skygge vest for objektet. Skyggen vil deretter bevege seg og bli mindre ettersom solen skifter posisjon, frem til solen går ned i vest og skyggen vil kaste mot øst. I Tabell 8 er den installerte kapasiteten og årlige kraftproduksjonen for de forskjellige orienteringene vist for 100% arealutnyttelse (om hele arealet av taket kan dekkes). Resultatet viser at det er tak som

er orientert nord som gir det høyeste potensialet for mulig kapasitet. Det er omtrent 36% mer potensiale for installert kapasitet for nordvendte tak enn sørvendte. Sammenliknes dette med årlig kraftproduksjon, er det sørvendte tak som bidra til høyest kraftproduksjon, men kun 1,5% mer enn nordvendte tak.

Tabell 8 Installert kapasitet, P_{ins} , og årlig kraftproduksjon, E , for de forskjellige orienteringene.

Orientering	P_{ins} [GWp] – 100% arealutnyttelse	E [TWh/år] – 100% arealutnyttelse
Nord	24,8	13,0
Nordøst	13,6	7,4
Øst	16,6	11,2
Sørøst	13,0	10,2
Sør	15,8	13,2
Sørvest	13,3	10,6
Vest	16,3	11,2
Nordvest	12,7	7,0

4.3.3 Snølast på eldre bygg

For å undersøke hvor mye av PV potensialet som er knyttet til bygninger som er bygget før 2003, er det utført to sensitivitetsanalyser hvor 1) bygg oppført før 2003 er utelatt fra potensialet og 2) hvor bygg oppført før 2003 har halvert arealutnyttelse som beregnet i og vist i Tabell 5.

Dersom bygg eldre enn 2003 er tatt bort, vil potensialet for mulig kapasitet være 5,9 GWp som tilsvarer en reduksjon på 87%. Dette gir en årlig kraftproduksjon på 3,9 TWh/år. Dette viser at den største andelen av bygg er fra før 2003 som også tilsier at det største potensialet for PV tilhører disse byggene.

For mange bygg oppført før 2003, vil det være mulig å kunne ha solcellemoduler på taket så lenge det er hensyntatt snølast og gitt rom for blant annet måking av snø på takene. Dersom det skal være areal på takene for blant annet snømåking, vil dette resultere i en mindre arealutnyttelse av takene. I denne sensitivitetsanalysen er PV potensialet beregnet for halvert arealutnyttelse for tak på bygg oppført før 2003. Det vil si at den beregnede arealutnyttelsen for hver bygningskategori som vist i Tabell 5 er 50% lavere for bygg oppført før 2003. Som nevnt tidligere i rapporten, varierer bæreevnen fra bygg til bygg som gjør det vanskelig å gi en eksakt verdi på hva arealutnyttelsen av disse takene vil være. Bæreevnen til bygg må evalueres for hvert enkelt bygg individuelt. Tas det i betraktning 50% lavere arealutnyttelse av eldre bygg, gir dette en total mulig installert kapasitet på 22 GWp som er en økning på 16,1 GWp sammenliknet med analysen hvor bygg oppført før 2003 er utelatt. Sammenliknes den installerte kapasiteten med det totale PV potensialet så tilsvarer dette en reduksjon på 22,6 GWp (reduksjon på 51%). Med lavere arealutnyttelse for bygg oppført før 2003, vil den årlige effekten være omtrent 15 TWh/år.

4.4 Oppsummering

En oppsummering av resultater fra studien og sensitivitetsanalysen er presentert i Tabell 9. Her er det også lagt til hvordan potensialet fra fritidsboliger (presentert i Kapittel 7.7) kan reduseres dersom det antas at 50% av alle fritidsboliger har torv på taket hvor det ikke kan installeres solcellepaneler. Hvordan bedret effektivitet av solcellemoduler kan påvirke potensialet er også vist i tabellen. I tillegg er andre usikkerheter knyttet til beregningen av potensialet for solkraftproduksjon på eksisterende norske tak nevnt i rapporten. Disse usikkerhetene er vanskelige å tallfeste, men vil kunne påvirke det totale potensialet. Usikkerheter som kan gi en økning i potensialet er:

- Sørvendte tak kan ha høyere arealutnyttelse på grunn av mindre skyggeeffekter.
- Redusert utnyttelse av nordvendte tak kan gi økt utnyttelse mot andre orienteringer slik som mot sør.

- Analysen har blitt utført med noe konservativ beregning.
- Inkludering av PV potensialet på nye bygg og fasade av bygg.

I tillegg er det noen usikkerheter som kan gi en reduisering i potensialet:

- Inkludering av skygge fra nærliggende bygg og terreng.
- Økt avstand fra takkant, møne og annen bebyggelse som et resultat av forskrifter for installering av solcellemoduler.

Tabell 9 Oppsummering av usikkerheter i analysene (+ og – representerer positiv eller negativ påvirkning som ikke er kvantifisert).

		Kapasitet GWp	Produksjon TWh/år
Beregnet potensial		44,6	30
+/- arealutnyttelse med feilmargin	±20%	± 9	±6
- arealer mot N, NØ, NV		-18	-10
- snølast eldre bygg	alle bygg eldre enn 2003	-39	-26
	50% av bygg eldre enn 2003	-23	-15
- torv på tak	50% av fritidshus har torv på tak hvor det ikke kan legges PV.	-2	-1
+ energitetthet i fremtiden kan øke	+10%	4-5	3

5 Konklusjon

Målet med denne studien er å finne det tekniske potensialet for solcellemoduler på eksisterende norske tak. Studien har systematisk gått igjennom 8 forskjellige bygningskategorier for å estimere potensialet for PV på eksisterende norske tak fordelt på bygningskategorier. I tillegg har det blitt beregnet et solkraftpotensiale for hvert av de forskjellige spotprisområdene i Norge. Den tekniske arealutnyttelsen på norske tak varierer mellom 30-60% basert på de forskjellige bygningskategoriene, hvor bebyggelse på takene er den største begrensende faktoren for installasjon av solcellemoduler. Det er bygningskategoriene lager og garasje tett fulgt av landbruk som har de høyeste arealutnyttelsene for installasjon av PV, hvor bolighus (enfamiliehus) er kategorien som gir høyest potensialet for solkraftproduksjon på eksisterende tak.

Basert på denne studien er det tekniske potensialet for installert kapasitet fra PV i Norge på 44,6 GWp som tilsvarer en årlig kraftproduksjon på omtrent 30 TWh/år. Det er NO1 som har det største potensialet med NO2 like bak. Dersom dette potensialet blir utnyttet, vil solkraftproduksjonen fra eksisterende tak kunne bidra med omtrent 20% av dagens norske kraftproduksjon. Det har også blitt utført sensitivitetsanalyser knyttet til studien for å hensynta blant annet feilmarginen i beregningene. Det tilsvarer en endring i installert kapasitet på ±8.9 GWp dersom feilmarginene på ±20% av arealutnyttelsen blir lagt til grunn. I tillegg ligger omtrent 40% av den installerte kapasiteten fra PV på tak som er vendt nord, nordøst eller nordvest, hvor solforholdene er dårligere og et spørsmål om økonomisk lønnsomhet blir stilt i forhold til om installasjon på disse takene lønner seg. De fleste byggene i Norge er oppført før 2003 og dersom bæreevnen til disse byggene blir hensyntatt vil det tekniske potensialet for PV på eksisterende norske tak synke betraktelig.

Denne studien har vist at det er vanskelig å gi et eksakt svar på hva det teknisk potensial av PV på eksisterende norske tak er. Studien har forsøkt å hensynta flere usikkerheter slik som bebyggelse på tak, skyggeeffekt av objekter på takene og bæreevnene til takene for å gi et mer helhetlig bilde av hvilke begrensninger som kan påvirke mulighetene til å installere PV. Studien har også vist at det er et

betydelig teknisk potensial for PV på norske eksisterende tak som kan bidra inn i den norske kraftmiksen. For å gi et mer helhetlig bilde vil det være interessant å utføre en lignende studie for å estimere det tekniske potensialet for PV på fasade av norske bygg. Dette vil gi et fullstendig bilde av det tekniske potensialet for PV på eksisterende norske bygg. I tillegg kan de beregnede estimatene av arealutnyttelse for de forskjellige bygningskategoriene benyttes sammen med prediksjoner på fremtidig bygningsmasse for å gi et estimat på det tekniske PV potensialet knyttet til fremtidige bygg. Tilslutt er det interessant å utføre en studie på den økonomiske lønnsomheten av å installere PV på eksisterende norske tak og sammenlikne dette med det tekniske potensialet beregnet i studien.

6 Annerkjennelse

Denne analysen har vært en del av prosjektet «Sol i Norge: Potensial og integrasjon av solenergiressursen», et kompetanse- og samarbeidsprosjekt finansiert av forskningsrådet (prosjektnummer 320750). Vi vil veldig gjerne takke Ulrik Rør og Christian Strømberg fra Solcellespesialisten for deres bidrag med å finne gode antagelser for analysen.

7 Referanser

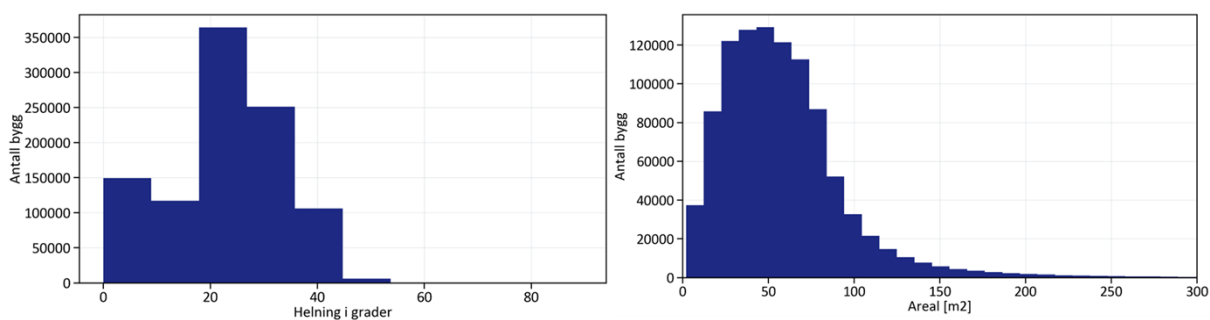
- [1] EU-kommisjonen, «REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe,» [Internett]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en.
- [2] EU-Kommisjonen, «EU Solar Energy Strategy,» EU-Kommisjonen, Brussel, 2022.
- [3] Geovekst, «SOSI-standardisert produktspesifikasjon: FKB-Bygning 5.0,» 1 Januar 2022. [Internett]. Available: <https://sosi.geonorge.no/produktspesifikasjoner/FKB-Bygning/5.0/>.
- [4] Kartverket, «Matrikkelen - Norges eiendomsregister,» 8 September 2022. [Internett]. Available: <https://www.kartverket.no/eiendom/eiendomsgrenser/matrikkelen-norgeseiendomsregister>.
- [5] O. A. Hjelme, B. Thorud, T. Evensen, C. G. Rendall, Ø. Holm, H. Gholami, M. K. Kanestrøm, T. I. Bøhn, H. Ø. Dalen, J. R. Flesjø, S. Nagothu, W. Kampel, M. B. Sevaldsen, T. K. Berentsen og L.-T. Kilde, «Norsk solkraft 2022 - innenlands og eksport,» Multiconsult, 2022.
- [6] Geonorge, «SOSI standardisert produktspesifikasjon: FKB-Bygning 5.0,» 1 Oktober 2021. [Internett]. Available: <http://skjema.geonorge.no/SOSITEST/produktspesifikasjon/FKB-Bygning/5.0/>. [Funnet 3 April 2023].
- [7] SSB, «Befolkning,» [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/statbank/table/11342/tableViewLayout1/>. [Funnet 3 April 2023].
- [8] Geonorge, «Bygningstype,» 3 Januar 2022. [Internett]. Available: <https://register.geonorge.no/sosi-kodelister/fkb/bygning/5.0/bygningstype?page=1>. [Funnet 3 April 2023].
- [9] European Commission, « Photovoltaic geographical information system,» 1 Mars 2022. [Internett]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. [Funnet 4 April 2023].
- [10] HelioScope, «HelioScope,» [Internett]. Available: <https://helioscope.aurorasolar.com/>. [Funnet 4 April 2023].
- [11] IBC SOLAR, «IBC SOLAR,» IBC SOLAR, [Internett]. Available: https://shop.ibcsolar.de/products/en/shop/PV/pv_modules/ibc_modules/.
- [12] Norsk Elektroteknisk Komite, «NEK 400-7-712 Strømforsyning med solcellesystemer (PV-systemer),» NEK, 2018.
- [13] IEA PVPS, «Trends in photovoltaic applications 2022,» IEA , 2022.

- [14] D. Jordan, N. Haegel og T. Barnes, «Photovoltaics module reliability for the terawatt age,» *Progress in Energy*, 2022.
- [15] IRENA, «Future of solar photovoltaic Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects,» IRENA, 2019.
- [16] NVE, «Solkraft,» [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energi/energisystem/solkraft/>.

Appendiks

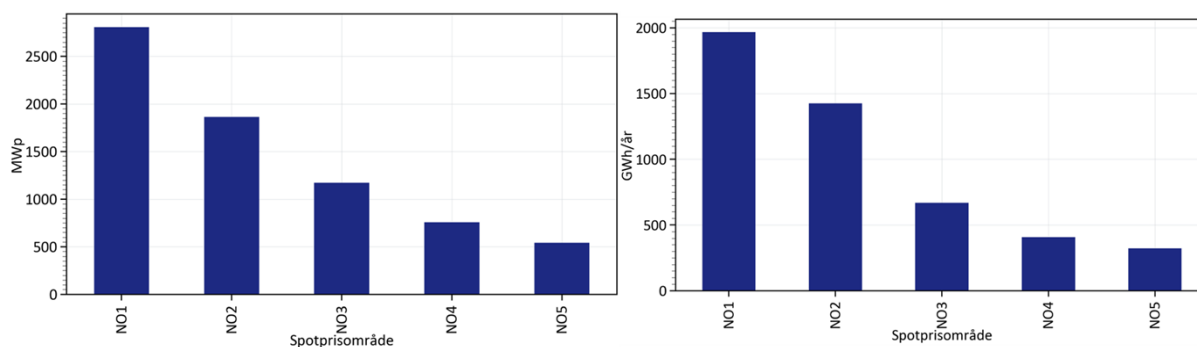
7.1 Garasje

Bygningskategorien *garasje* omfatter det som er oppført som garasje, uthus og anneks til bolig i matrikkelen. Fordelingen av takhelning og areal for kategorien garasje er vist i Figur 13. De fleste takene har en takhelning på mindre enn 30° hvor gjennomsnittet ligger på 24°. Denne kategorien har relativt små takarealer hvor de fleste er mindre enn 60 m² som også ser gjennomsnittlig takareal for garasjebyggene. Det totale takarealet i denne kategorien er 60 km².



Figur 13 Fordeling av helninger og areal for tak i kategorien garasje.

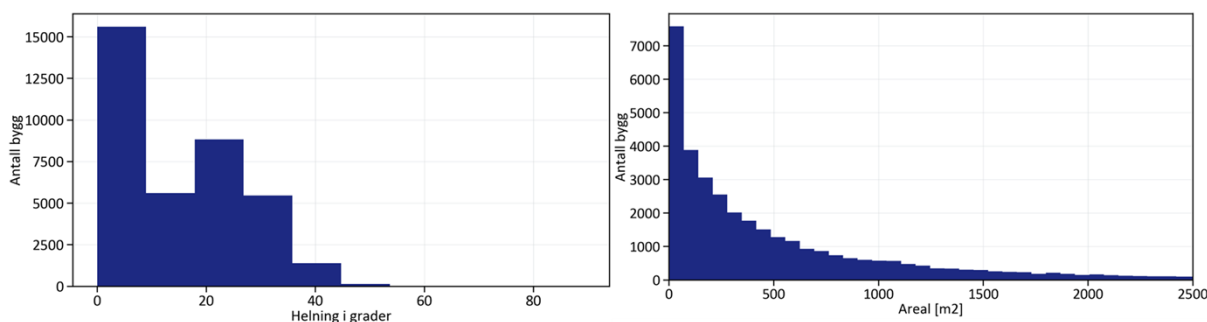
Takflatene i denne bygningskategorien er ofte frie for strukturer og det er heller utformingen av takflatene som begrenser muligheten til å installere solcellemoduler på takene. To eksempler på solcellemoduler lagt på et garasjetak er vist i Figur 14 og Figur 15. Begge takene er strukturfrie og formet rektangulært. Dette gjør takene egnet for solcelleinstallasjoner. Disse to takene har en arealutnyttelse på henholdsvis 63% og 75%.



Figur 17 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningstype garasje.

7.2 Industri

Bygningstypen *industri* omfatter det som er oppført som fabrikkbygning, annen industribygning, verkstedbygning, bygning for rensanlegg og bygning for vannforsyning i matrikkelen. Hvordan typiske egenskaper som helning og areal av industribyggene fordeler seg er vist i Figur 18. De aller fleste takene i kategorien industribygg er flate tak med helning mindre enn 15° med et gjennomsnitt på 8°. De fleste takflatene er mindre enn 350 m² hvor gjennomsnittet av takarealene for industribygningene er på litt under 900 m². Totalt så er det 32,1 km² takareal i denne kategorien.



Figur 18 Fordeling av helning og areal for tak i kategorien industri.

Figur 19 og Figur 20 viser eksempler på solcellemoduler plassert på to industribygg. Byggene i denne kategorien har ofte en del struktur på takene som begrenser muligheten for å installere solcellemoduler. Dette kommer frem i eksemplene ved de oransje områdene. Bygget vist i Figur 19 har mye struktur på taket og taket er delt opp i flere seksjoner noe som skaper flere innskjæringer i taket. Totalt så er arealutnyttelsen for dette taket på 40%. Eksempelet vist i Figur 20 er Norges største industritakflate på 26 000 m². Dette taket har noe mindre struktur som gir mye rom for å installere solcellemoduler. Bortsett fra strukturen, så skaper den spisse formen noen begrensninger. Totalt så er arealutnyttelsen på 60%.



Figur 19 Solcellemoduler lagt på tak for en bygning i kategorien industri. Det oransje området viser bebyggelse på taket som er utelatt fra studien. Dette bygget har en total arealutnyttelse på 40%.



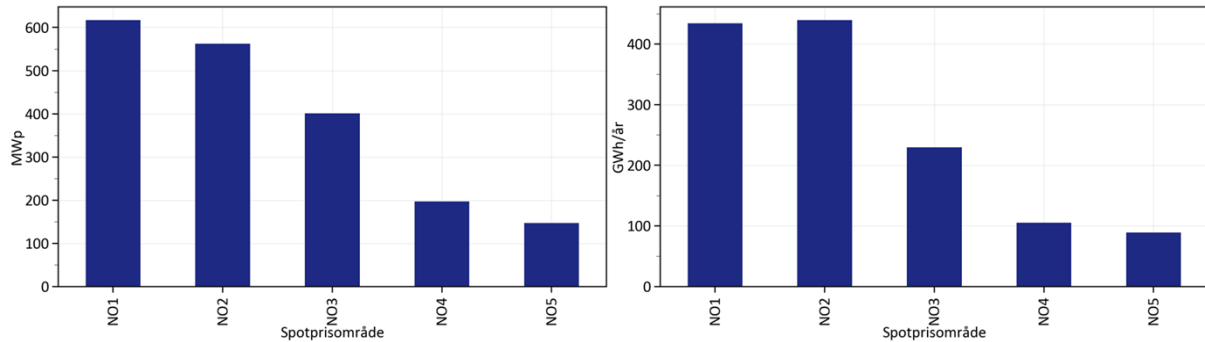
Figur 20 Solcellemoduler lagt på Norges største industri-takflate på 26 000 m². Total arealutnyttelse på 60%.

Det er mange forskjellige type bygg i denne kategorien og noen bygg er nesten uten tilgjengelig areal på grunn av struktur på taket slik som bygget vist i Figur 21. Her er total arealutnyttelse for solcellemoduler 0%. Gjennom analysen ble den totale arealutnyttelsen for tak i kategorien industri estimert til 30%. Antar man 30% arealutnyttelse tilsvarer det et tilgjengelig takareal på 9,6 km² for installering av solcellemoduler.



Figur 21 Industribygg uten tilgjengelig areal for installasjon av solcellemoduler pga. struktur og piper på taket. Total arealutnyttelse 0%.

Potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler på industribygg distribuert på de forskjellige spotprisområdene er vist i Figur 22. Det er NO1 og NO2 som har det største potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon i Norge for industribygg. Nasjonalt så gir dette et potensial for installert kapasitet på 1,9 GWp som gir en årlig kraftproduksjon på 1,3 TWh/år for industribygg.

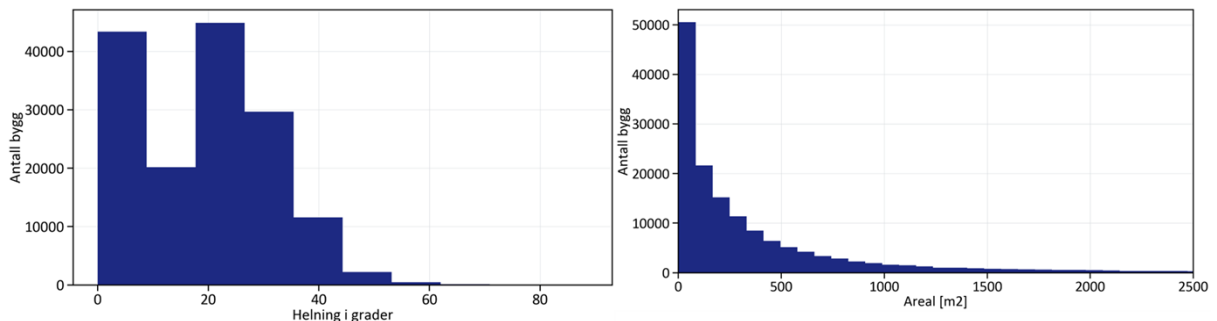


Figur 22 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningstype industri.

7.3 Næringsbygg

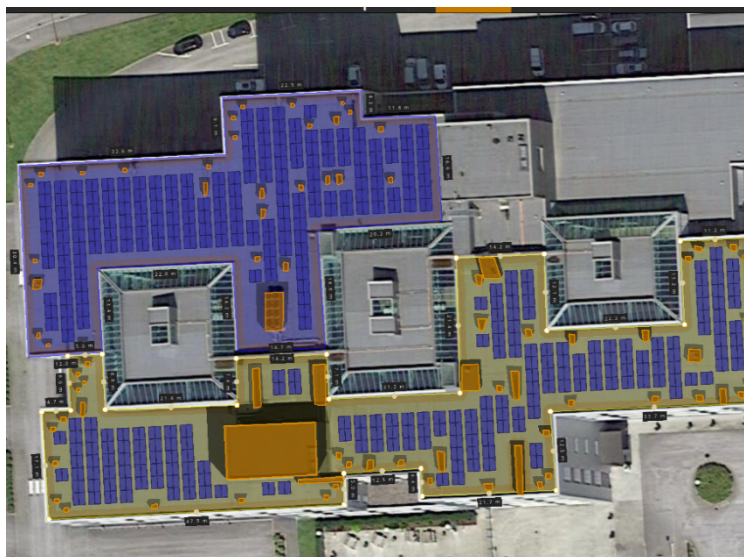
Bygningstypen *næringsbygg* omfatter det som er oppført som kontorbygning, skolebygning, kjøpesenter, idrettsbygning, samfunnshus, barnehage, kulturhus og andre kulturbygninger, butikkbygning, restaurant- og kafebygning, lekeparks, sykehjem, sykehus og andre helsebygg, kirke, synagoge, parkeringshus, jernbane- og T-banestasjon, svømmehall, universitet, hotellbygning, offentlig toalett, diskotek, krematorium, zoologisk og botanisk hage i matrikkelen. Her er ikke alle underkategoriene tilhørende enkelte av bygningstypene nevnt. Dette er den største kategorien sett i antall forskjellige type bygg.

Fordeling av helning og areal av næringsbyggtakene er vist i Figur 23. De aller fleste takene i kategorien næringsbygg er flate tak hvor medianen av takhelning er på omtrent 20° og gjennomsnittet er på 13°. De fleste takflatene er mindre enn 200 m² hvor gjennomsnittet av takarealene for næringsbyggene er på litt under 500 m². Totalt så er det 75,7 km² takareal i denne kategorien.

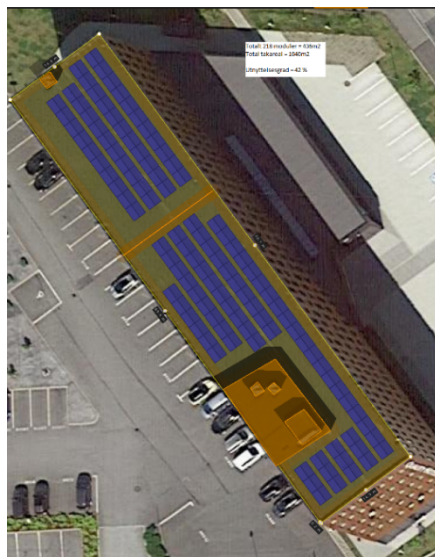


Figur 23 Fordeling av helning og areal for tak i kategorien næringsbygg.

Figur 24 og Figur 25 viser solcellemoduler plassert på taket til tre forskjellige næringsbygg. Takene i kategorien næringsbygg er varierende og har ofte en del struktur på taket som vist i figurene. Dette begrenser området det kan plasseres solcellemoduler. For disse byggene er total arealutnyttelse på 40%. Et annet eksempel er vist i Figur 26. Hovedandelen av dette taket er brukt som parkeringsplass noe som gir lite rom for å installere solcellemoduler. Videre så inneholder denne kategorien mange forskjellige bygningstyper som ofte har varierende takstruktur.



Figur 24 Solcellemoduler lagt på to næringsbygg tak. Det oransje området viser bebyggelse på taket som er utelatt fra studien. Begge byggene har en total arealutnyttelse på 40%.



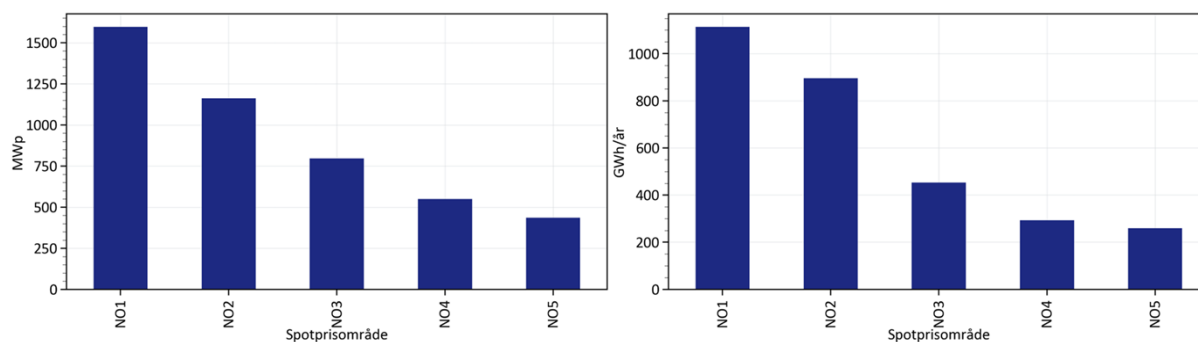
Figur 25 Solcellemoduler lagt på et hotell med flatt tak og enkelt ventilasjonshus. Total arealutnyttelse på 40%.

Gjennom analysen ble den totale arealutnyttelsen for tak i kategorien næringsbygg estimert til 30%. Siden det inngår så mange forskjellige bygningskategorier, er det vanskelig å si med sikkerhet hvordan arealutnyttelsen fordeler seg på de forskjellige byggene. 30% arealutnyttelse er derfor et realistisk estimat for denne bygningskategorien. Antar man 30% arealutnyttelse tilsvarer det et tilgjengelig takareal på 22,7 km² der det kan installeres solcellemoduler.



Figur 26 Næringsbygg med parkeringsplass på taket. Hovedandelen av takarealet går med til parkeringsplass. Total arealutnyttelse er veldig lav.

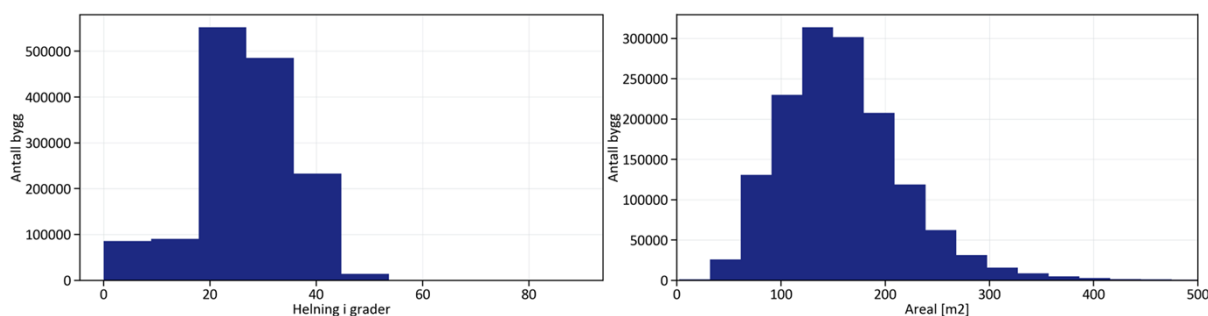
Potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler installert på næringsbyggtak fordelt på de forskjellige spotprisområdene er vist i Figur 27. Det er NO1 og NO2 som har det største potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon i Norge. Nasjonalt så gir dette et potensial for installert kapasitet på 4,5 GWp som gir en årlig kraftproduksjon på 3 TWh/år for næringsbygg.



Figur 27 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningskategori næringsbygg.

7.4 Bolighus (enfamiliehus)

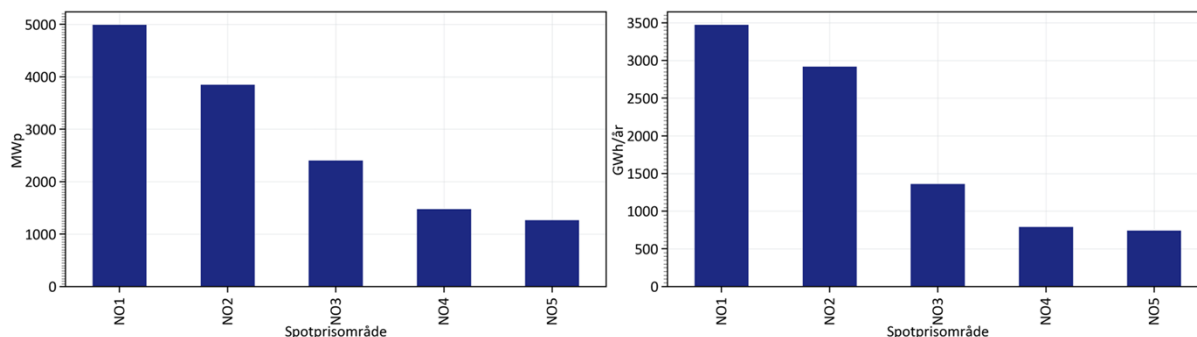
Bygningskategorien *bolighus* omfatter det som er oppført som rekkehus, tomannsbolig, enebolig, kjede/atriumhus, tomannsbolig og våningshus i matrikkelen. 70% av byggene i datasettet er eneboliger. Hvordan takhelning og areal er fordelt for bolighus er vist i Figur 28. De fleste takene har en helning på mindre enn 30° hvor gjennomsnittet er på 27°. De fleste takflatene har et areal under 155 m² hvor gjennomsnittet ligger på 160 m². Totalt så er det 233 km² takareal i denne kategorien og utgjør dermed den kategorien med høyest takareal.



Figur 28 Fordeling av helninger og areal for tak i kategorien bolighus (enfamiliehus).

To eksempler på solcellemoduler lagt på tak på bolighus er vist i Figur 29 og Figur 30. Begge disse takene har strukturer som begrenser hvor det kan legges solcellemoduler og som kan skape skygge. Taket vist i Figur 29, har struktur på begge sider som begrenser hvor det kan plasseres solcellemoduler. Total arealutnyttelse for dette taket er 35%. I Figur 30 er det to takvinduer som skaper skygge på hele den ene takflaten. Dette fører til at dette bygget har en arealutnyttelse på 28%. Denne gruppen har ofte mange tak assosiert med hvert bygg og takstrukturer av forskjellige slag. Det er i hovedsak piper, vinduer og takterrasser som begrenser takarealet for installasjon av solcellemoduler. Et eksempel på dette er vist i Figur 31. Dette taket har mange takflater hvor kun deler av takflatene kan benyttes. I tillegg har bygget en pipe som skaper skyggeeffekt ned mot to takflater. Dette bygget har en arealutnyttelse på 36%.

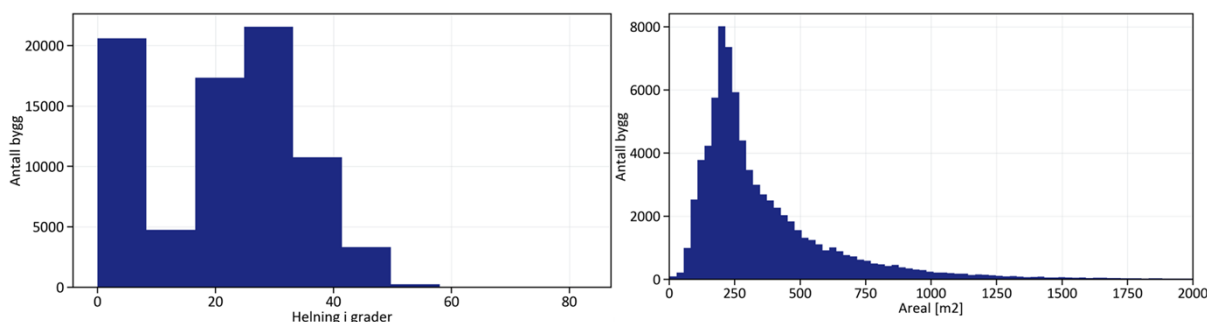
Potensialet for kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler installert på bolighus fordelt på de forskjellige spotprisområdene er vist i Figur 32. Det er NO1 og NO2 som har det største potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon i Norge. Nasjonalt så gir dette et potensial for installert kapasitet på 14 GWp som gir en årlig kraftproduksjon på 9,35 TWh/år for bolighus. Dette er den høyeste kapasiteten og energien av alle bygningskategoriene.



Figur 32 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningskategori bolighus (enfamiliehus).

7.5 Flerfamiliehus

Bygningskategorien *flerfamiliehus* omfatter det som er oppført som stort frittliggende boligbygg på 2 etasjer eller mer, andre småhus med 3 boliger eller flere, terrassehus, store sammenbygde boligbygg på 2 etasjer eller mer, studenthjem/studentboliger, bo- og servicesenter og annen bygning for bofellesskap i matrikkelen. Figur 33 viser hvordan takhelning og areal fordeler seg for flerfamiliehus. De fleste takene har en helning på mindre enn 30° hvor gjennomsnittet ligger på 17°. Takarealene er noe større enn for bolighus og de fleste er mindre enn 300 m² med et gjennomsnitt på 377 m². Det totale takarealet i bygningskategorien flerfamiliehus er på 30 km².



Figur 33 Fordeling av helninger og areal for tak i kategorien flerfamiliehus.

Mange av byggene i denne kategorien har mye struktur på takene som vist i Figur 34 og Figur 35. Her er to boligblokker fremvist. Disse har mange takflater og mye struktur fordelt utover takene. Dette er med på å begrense mulighetene for installasjon av solcellemoduler. Boligblokken vist i Figur 34 har en total arealutnyttelse på 30%, mens boligblokken i Figur 35 har en arealutnyttelse på 26%.

Et annet eksempel for solcellemoduler lagt på en boligblokk er vist i Figur 36. Dette er en blokk med mye mindre struktur på taket enn eksemplene vist i Figur 34 og Figur 35. Dette bygget har en høy arealutnyttelse på 70%.



Figur 34 Solcellemoduler lagt på tak for en blokk på 3-4 etasjer. Det oransje området viser bebyggelse på taket som er utelatt fra studien, her synes også skyggeeffekten av objektene på taket. Dette bygget har en total arealutnyttelse på 30%.



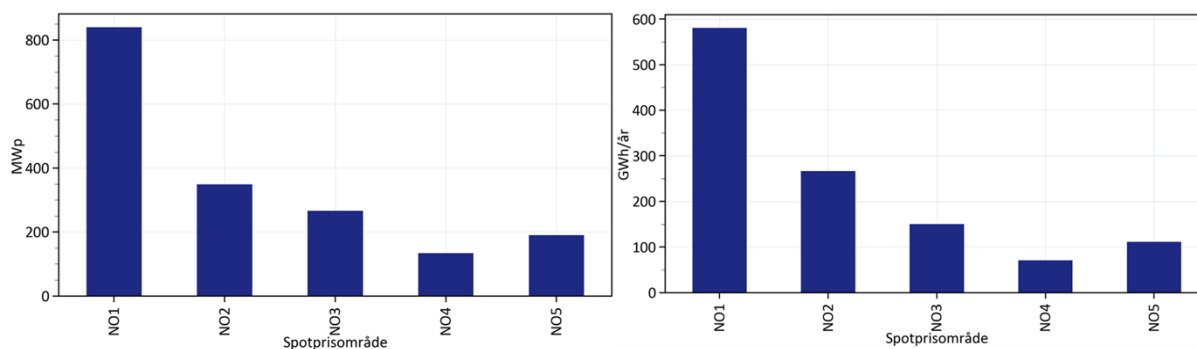
Figur 35 Terrassehus i mange deler, skrått tak med forskjellig helling og vinkling. Total arealutnyttelse på 26 %

For hele bygningskategorien ble det samlet estimert en total arealutnyttelse på 30%. De største begrensningene for solcellemoduler for flerfamiliehus er struktur på taket. Med en arealutnyttelse på 30% er det tilgjengelige takarealet for installasjon av solcellemoduler på flerfamiliehus 8,89 km².



Figur 36 Boligblokk på 3-4 etasjer med takstruktur vist i oransje. Total arealutnyttelse på 70%.

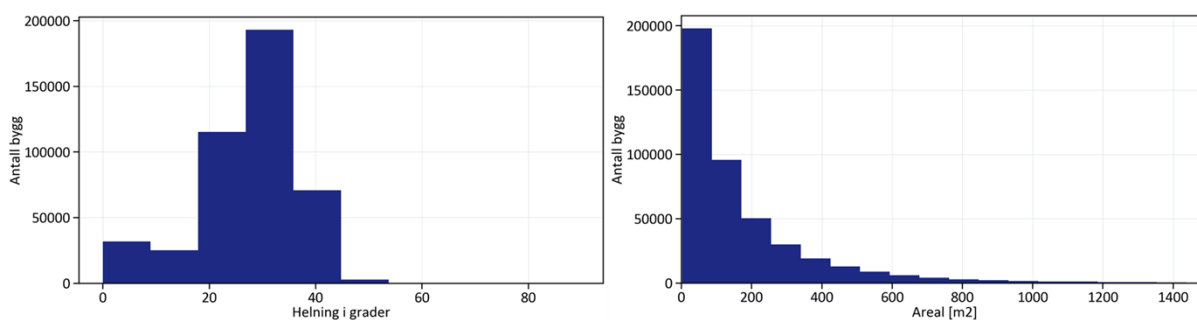
Dette gir et potensial for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler på flerfamiliehus fordelt på de forskjellige spotprisområdene som vist i Figur 37. Det er NO1 som har det største potensialet for installert kapasitet og årlig kraftproduksjon i Norge. Nasjonalt så gir dette et potensial for installert kapasitet på 1,78 GWp som gir en årlig kraftproduksjon på 1,18 TWh/år for flerfamiliehus.



Figur 37 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningskategori flerfamiliehus.

7.6 Landbruk

Bygningskategorien *landbruk* omfatter det som er oppført som veksthus, annen landbruksbygning, hus for dyr/landbruk, lager/silo, driftsbygning fiske/fangst/oppdrett, naust, redskapshus for fiske og annen fiskeri-og fangstbygning i matrikkelen. Figur 38 viser hvordan takhelning og areal fordeler seg for landbruksbygg. De fleste takene har en helning mindre enn 30° hvor gjennomsnittet ligger på 28°. De fleste takene har et areal på under 100 m² hvor gjennomsnittet er på 189 m². Totalt så gir alle byggene i kategorien landbruk et tilgjengelig takareal på 83 km².



Figur 38 Fordeling av helninger og areal for tak i kategorien landbruk.

De fleste byggene i denne kategorien har tak uten bebyggelse og det er ofte lange tak med helning som forekommer. Et eksempel fra denne bygningskategorien er vist i Figur 40. Dette er et lite tak, men et tak uten noen strukturer. For dette taket er arealutnyttelsen på 66%. I Figur 39 er et annet eksempel med solcellemoduler lagt på et landbrukstak vist. Dette taket har en pipe som skaper noe skygge som begrenser installasjonen noe. For dette bygget er den totale arealutnyttelsen på 53%. Denne kategorien inneholder også veksthus hvor hele taket er dekket av glass. Et eksempel på dette er vist i Figur 41. For dette bygget blir arealutnyttelsen 0%.



Figur 39 Solcellemoduler lagt på tak for et bygg i bygningskategorien landbruk. Det oransje området viser bebyggelse på taket som er utelatt fra studien, her synes også skyggeeffekten av objektet på taket. Dette bygget har en total arealutnyttelse på 53%.



Figur 40 Solcellemoduler lagt på et lite landbruksbygg. Dette taket har ingen takstruktur. Total arealutnyttelse er 66%.

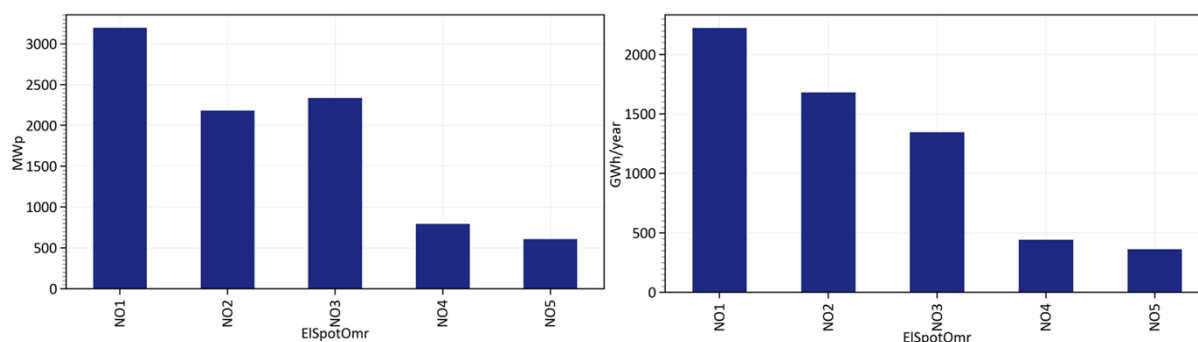
Gjennom analysen ble den totale arealutnyttelsen for landbruksbygg beregnet til å være 55%. Kategorien har mye likheter med lager og garasje, med noen flere begrensninger slik som veksthus og litt mer struktur på takene. Med denne arealutnyttelsen tatt i betraktning gir dette et tilgjengelig takareal fra landbruksbygg på 45,6 km².



Figur 41 Eksempel på veksthus hvor hele taket er glass. Total arealutnyttelse på 0%.

Fordelingen av installert kapasitet og årlig kraftproduksjon fra solcellemoduler for de forskjellige spotprisområdene for landbruksbygg er vist i Figur 42. Det største potensialet er for NO1, hvor NO2

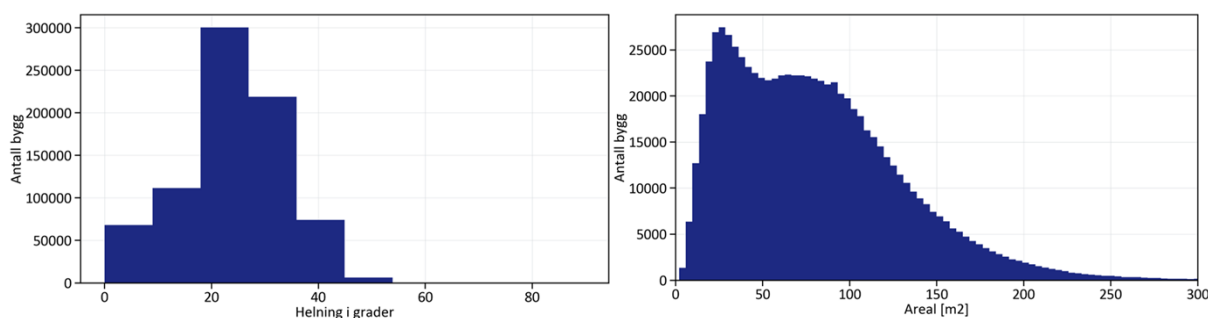
og NO3 også har et høyt potensial. Potensialet for installert kapasitet fra solceller på landbrukstak for Norge er 9,12 GWp som gir en årlig kraftproduksjon på 6,05 TWh. Dette gir det nest høyeste potensialet basert på alle bygningskategoriene.



Figur 42 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningskategori landbruk.

7.7 Fritidsboliger

Bygningskategorien *fritidsboliger* omfatter det som er oppført som boligbrakker, annen boligbygning (sekundærbolig reindrift), hytter, skogs- og utmarkskoie, uthus og anneks til fritidsbolig, våningshus som benyttes som fritidsbolig, helårsbolig som benyttes som fritidsbolig, naust, båthus og sjøbu og seterhus, sel og rorbu i matrikkelen. Figur 43 viser hvordan takhelning og areal fordeler seg for takene i kategorien fritidsboliger. De fleste takene har en helning på mindre enn 25° som også er gjennomsnittlig takhelning for kategorien. Det gjennomsnittlige takarealet er på 83 m² hvor de fleste takene er mindre enn 75 m². Totalt så er takarealet på 64,2 km² for fritidsboliger.

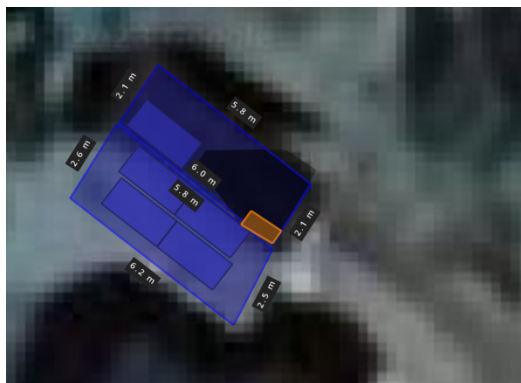


Figur 43 Fordeling av helning og areal for tak i kategorien fritidsboliger.

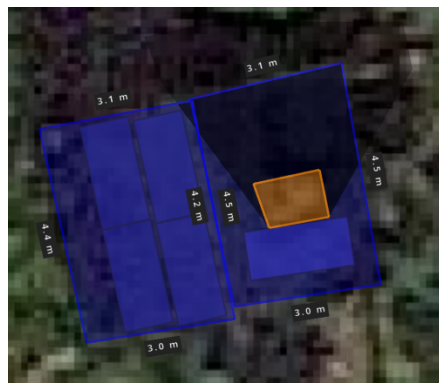
Denne kategorien er den mest utfordrende å analysere da mange av satellittbildene er veldig dårlige. Dette gjorde at flere av byggene var vanskelige å analysere, noe som gir en litt økt usikkerhet knyttet til resultatene for av denne kategorien. Et eksempel på typisk dårlig satellittbilde av en hytte er vist i Figur 47. Her er det vanskelig å få oversikt over takene og objekter på takene.

To eksempler på solcellemoduler lagt på små hytter er vist i Figur 44 og Figur 45. Her kommer det frem at satellittbildene også er dårlig, men bedre enn i Figur 47, noe som gjør det utfordrende å markere takene og se om det er objekter på takene eller ikke. Begge disse hyttene ser ut til å ha pipe på taket som skaper skygge og begrensninger for installasjon av solcellemoduler. Bygget vist i Figur 44 har en arealutnyttelse på 30%, mens bygget i Figur 45 har en arealutnyttelse på 20%.

En annen spesiell egenskap ved denne kategorien er at flere av byggene har torv på taket som vist i Figur 46. Det er teknisk mulig å legge solcellemoduler på torvtak, men det er en økt kostnad knyttet til dette i tillegg til at det kan være føringer i enkelte hyttefelt på om det er lov å installere solceller på torvtak eller ikke med tanke på estetiske forhold. I denne analysen har vi valgt å inkludere torvtak.



Figur 44 Solcellemoduler lagt på tak for en liten hytte. Det oransje området viser bebyggelse på taket som er utelatt fra studien, her synes også skyggeeffekten av objektet på taket. Dette bygget har en total arealutnyttelse på 30%.



Figur 45 Solcellemoduler lagt på en hytte. Det oransje området viser en pipe som kaster skygge. Total arealutnyttelse 20%.

Gjennom analysen ble det beregnet en total arealutnyttelse for fritidsboliger på 30%. Takene i denne kategorien har flere likhetstrekk med bolighus, hvor det ofte er skråtak med noe struktur som piper på takene. Det er også flere bygg i denne kategorien som ikke har struktur på taket hvor større andel av takflaten kan benyttes til solcellemoduler. Tas en arealutnyttelse på 30% i betraktning gir dette et tilgjengelig takareal for solcellemoduler på 19,4 km² for fritidsboliger.

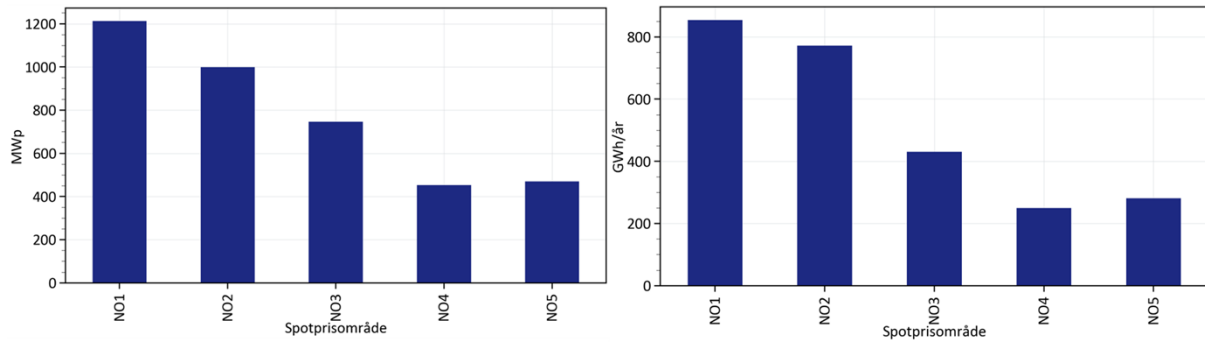


Figur 46 Eksempel på hytte med torv på taket.



Figur 47 Eksempel på typisk satellittbilde i denne bygningskategorien.

Kapasitet fra solcellemodulene med mulig årlig kraftproduksjon fordelt på de forskjellige spotprisområdene for fritidsboliger er vist i Figur 48. Det er NO1 og NO2 som gir det største potensialet og den høyeste årlige effekten med NO3 like bak. Nasjonalt gir dette et potensiale for installert kapasitet på 3,9 GWp som gir en årlig kraftproduksjon på 2,6 TWh/år fra fritidsboliger.



Figur 48 Mulig kapasitet og kraftproduksjon fra solcellemodulene distribuert på de forskjellige spotprisområdene for bygningskategori fritidsboliger.



Tittel: Potensialet for solkraftproduksjon på eksisterende norske tak

Dokumentklasse:

Signaturer:

Author: Stine Fleischer Myhre 2023-08-21 10:10:28 (UTC+00:00)
ife.no\stine.myhre

Review Approval: Mari Øgaard 2023-09-15 09:24:28 (UTC+00:00)
ife.no\Mari.Ogaard

Content Approval: Pernille Merethe Sire Seljom 2023-09-18 10:51:58 (UTC+00:00)
ife.no\Pernille.Seljom

**Kjeller**

Postboks 40, NO-2027 Kjeller

Besøksadresse

Instituttveien 18, Kjeller, Norway

Tel.: +47 63 80 60 00

Halden

Postboks 173, NO-1751 Halden

Besøksadresse

Os allé 5, Halden, Norway

Besøksadresse reaktor

Tistedalsgata 20, Halden, Norway

Tel.: +47 69 21 22 00

firmapost@ife.no | www.ife.no | [f facebook.com/energiteknikk/](https://www.facebook.com/energiteknikk/) | [@energiteknikk](https://twitter.com/energiteknikk)