

# Bruk av bygningsintegreerte solceller (BIPV) i Norge

KUNNSKAPSSTATUS



SINTEF Fag

Nora Schjøth Bunkholt, Berit Time, Lars Gullbrekken, Steinar Grynning og Tore Kvande

# **Bruk av bygningsintegrerte solceller (BIPV) i Norge**

Kunnskapsstatus

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 82

Nora Schjøth Bunkholt<sup>1)</sup>, Berit Time<sup>1)</sup>, Lars Gullbrekken<sup>1)</sup>, Steinar Grynning<sup>1)</sup>  
og Tore Kvande<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> SINTEF Community, [www.sintef.no/community](http://www.sintef.no/community)

<sup>2)</sup> NTNU, [www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)

## **Bruk av bygningsintegrerte solceller (BIPV) i Norge Kunnskapsstatus**

Emneord: Bygningsintegrerte solceller, BIPV, klimatilpasning, byggeprosess,  
byggeteknikk

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1711-4 (pdf)

Prosjektnummer: 102023807-5

Omslag: *ZEB-laboratoriet*, [www.zeblab.no](http://www.zeblab.no).

Foto: Nicola Lolli, SINTEF Community



© Forfatterne. Utgitt av SINTEF akademisk forlag

Denne rapporten er publisert med åpen tilgang etter CC BY-lisensen

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

[www.sintef.no/community](http://www.sintef.no/community)

[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

## **Forord**

Denne rapporten samler erfaringer og gir en status for bruk av bygningsintegrerte solceller (BIPV) i Norge gjennom kartlegging av kunnskapsnivå og kunnskapsbehov hos aktører i byggenæringen og dokumentasjon av løsninger for integrasjon av solceller i ZEB-laboratoriet ([www.zeblab.no](http://www.zeblab.no)) i Trondheim.

Prosjektet er finansiert over den ekstraordinære bevilgningen SINTEF har mottatt som en del av "den grønne krisepakken" fra Forskningsrådet, som kom i kjølvannet av Covid-19-pandemien, og gjennom SFI Klima 2050 – Risk reduction through climate adaptation of buildings and infrastructure. Takk til Remy Eik-Nikolaisen for utarbeidelse av detaljtegninger av ZEB-laboratoriet og til Odne Oksavik for informasjon om og framstilling av målinger fra ZEB-laboratoriet.

Trondheim, juni 2021

Lars Gullbrekken  
Forskningsleder  
SINTEF Community

Nora Schjøth Bunkholt  
Prosjektleder  
SINTEF Community

## **Sammendrag**

SINTEF har gjennomført et prosjekt med hovedmål å kartlegge praksis, kunnskapsnivå og kunnskapsbehov hos aktører som jobber med anskaffelse, prosjektering og utførelse av bygninger med bygningsintegrerte solceller (BIPV). I tillegg har prosjektet dokumentert løsninger for integrasjon av solceller på tak og fasader i ZEB-laboratoriet i Trondheim. Hovedfokus har vært på byggeprosess og de byggetekniske aspektene ved bruk av BIPV. Vi har særlig lagt vekt på BIPV i takkonstruksjoner fordi problemstillinger i forbindelse med avrenning, regntetthet og bruk av snøfangere kan knyttes spesielt til denne bruken. I tillegg gir bruk på tak som regel best forutsetninger for å kunne høste solenergi. Erfaringer er hentet inn fra forskningslitteratur, gjennom intervjuer med 15 aktører i byggenæringen og fra pilotprosjektet ZEB-laboratoriet. Løsningene som er brukt på ZEB-laboratoriet, er vist gjennom detaljtegninger, et utvalg måledata og fotografier.

Rapporten samler erfaringer og gir en status om bruk av BIPV i Norge. Den kan danne grunnlag for videre forskning og være et underlag for framtidig utarbeidelse av anbefalinger for bygging med BIPV.

# Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>1 BAKGRUNN</b> .....	<b>6</b>
<b>2 FORMÅL OG OMFANG</b> .....	<b>7</b>
<b>3 LITTERATUR</b> .....	<b>8</b>
3.1 BARRIERER FOR IMPLEMENTERING AV BYGNINGSINTEGRERTE SOLCELLER (BIPV).....	8
3.2 BIPV I NORSK KLIMA.....	8
3.3 TEMPERATURAVHENGIGHET OG LUFTING .....	9
3.4 REGNTETTHET OG AVRENNING .....	10
3.5 SNØ- OG ISDEKKE .....	12
<b>4 ERFARINGER FRA AKTØRER I BYGGENÆRINGEN I NORGE</b> .....	<b>14</b>
4.1 OM INFORMASJONSINNHEITINGEN .....	14
4.2 AKTØRENE ERFAINGER MED BIPV .....	14
4.3 ORGANISERING AV PROSESSEN .....	14
4.4 PROSJEKTERING.....	16
4.5 OPPSUMMERING .....	18
<b>5 ERFARINGER FRA ZEB-LABORATORIET</b> .....	<b>19</b>
5.1 EKSEMPLER PÅ BYGGETEKNISKE LØSNINGER .....	19
5.2 BYGGING MED SOLSTRØM.....	25
5.3 FELTMÅLINGER FRA ZEB-LABORATORIET.....	26
<b>6 KONKLUSJONER OG VIDERE ARBEID</b> .....	<b>32</b>
<b>7 REFERANSER</b> .....	<b>33</b>
<b>VEDLEGG: A INTERVJUGUIDE</b> .....	<b>36</b>



## 1 Bakgrunn

Lokal energiproduksjon har blitt et viktig tiltak for å oppnå energieffektive bygninger og er essensielt i utviklingen mot nullutslipps- og nullenergibygninger. I en slik sammenheng er bruken av solceller (PV) for produksjon av elektrisitet til bygninger en godt utprøvd teknologi som har hatt stor vekst de siste årene. Solcellepaneler, eller solcellemoduler, består av en plate med flere solceller. Solcelleanlegg monteres i hovedsak utenpå bygninger, men integrering av solceller i bygningselementer kan gi fordeler som redusert materialbruk og flere arkitektoniske muligheter. Slike bygningsintegreerte solceller (BIPV) produserer elektrisitet samtidig som de erstatter et bygningsmateriale eller en bygningskomponent, og de har funksjoner og egenskaper som materialet/komponenten skal oppfylle. Typiske eksempler på slik bruk av solceller er i rekkverk, fasadekledning, taktekning og vinduer. I denne rapporten ser vi primært på solcellepaneler som erstatter den tradisjonelle taktekningen, se figur 1.

Interessen for BIPV er sterkt stigende. Imidlertid fins det få omforente og anbefalte løsninger for oppbygging av konstruksjoner med BIPV. Per i dag er temaet ikke inkludert i Byggforskserien<sup>1</sup>, som er en viktig nasjonal informasjonskanal, kunnskapsbase og kvalitetsnorm for byggmestere, entreprenører, rådgivere og arkitekter. Kunnskapshull inkluderer råd om oppbygging av konstruksjonen, inkludert for eksempel valg av undertak og vindsperre. Behovet for kunnskap både for fasader og skrå tak er stort og stadig etterspurt fra aktører i næringen. BIPV-systemer må tilfredsstille de samme bygningstekniske kravene og ytelsene som elementene de erstatter. Det stiller spesielle krav til regntetthet og lufting av paneler for å gi god fuktsikkerhet og sikre god produksjonseffektivitet fra solcelleanlegget. Effektiviteten til solceller reduseres med økende celletemperatur. Derfor er det viktig at de ventileres slik at temperaturøkningen på cellene blir så liten som mulig i perioder med mye sol og dermed høy produksjon. I tillegg er det utfordringer knyttet til generell avrenning av regn og snø fra tak med BIPV. Blant annet trengs det tydelige råd for utforming og valg av fuktsikre løsninger for renner og bruk av utvendige og innvendige renner og nedløp for ulike tak. Videre er det behov for å utvikle gode prinsipp-løsninger for snøfangere som reduserer produksjonen så lite som mulig samtidig som man ivaretar sikkerheten til de som ferdes ved bygget. Ved valg av BIPV er det viktig å kunne forutsi hvilke konsekvenser valget vil ha for blant annet bygningsfysikk og brann. I tillegg vil valget ha store konsekvenser for planlegging av prosess og utførelse på byggeplassen for å sikre god funksjonalitet over tid, fremme enkel FDV og hindre framtidige skader og problemer.



Figur 1. Eksempler på boliger med BIPV på tak. Foto: Karen Byskov Lindberg (venstre) og Gaute Klyve (høyre)

<sup>1</sup> [www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no)

## 2 Formål og omfang

SINTEF har gjennomført et prosjekt med hovedmål å kartlegge praksis, kunnskapsnivå og kunnskapsbehov hos aktører som jobber med anskaffelse, prosjektering og utførelse av bygninger med bygningsintegreerte solceller (BIPV). I tillegg har prosjektet dokumentert løsninger for integrasjon av solceller på tak og fasader i ZEB-laboratoriet i Trondheim. Hovedfokus har vært på byggeprosess og de byggetekniske aspektene ved bruk av BIPV. Vi har særlig lagt vekt på BIPV i takkonstruksjoner fordi problemstillinger i forbindelse med avrenning, regntetthet og bruk av snøfangere kan knyttes spesielt til denne bruken. I tillegg gir bruk på tak som regel best forutsetninger for å kunne høste solenergi. Erfaringer er hentet inn fra forskningslitteratur, gjennom intervjuer med 15 aktører i byggenæringen og fra pilotprosjektet ZEB-laboratoriet<sup>2</sup>. Løsningene som er brukt på ZEB-laboratoriet, er vist gjennom detaljtegninger, et utvalg måledata og fotografier.

Rapporten samler erfaringer og gir en status om bruk av BIPV i Norge. Den kan danne grunnlag for videre forskning og være et underlag for framtidig utarbeidelse av anbefalinger for bygging med BIPV.

---

<sup>2</sup> [www.zeblab.no](http://www.zeblab.no)



### 3 Litteratur

#### 3.1 Barrierer for implementering av bygningsintegreerte solceller (BIPV)

Integrering av solceller i bygninger som erstatning for kledning, tekning og vinduer kan redusere materialbruk og potensielt kostnader. Likevel monteres solceller per i dag i hovedsak utenpå andre bygningselementer, spesielt på tak, og tilfører dermed bygningen et ekstra materiallag. Eksisterende forskning [1–12] peker på en rekke barrierer som begrenser utviklingen og implementeringen av BIPV. Barrierene kan sammenstilles i kategoriene vist i figur 2, som viser at det er utfordringer i flere ledd i byggeprosessen hvis bruk av BIPV skal øke.

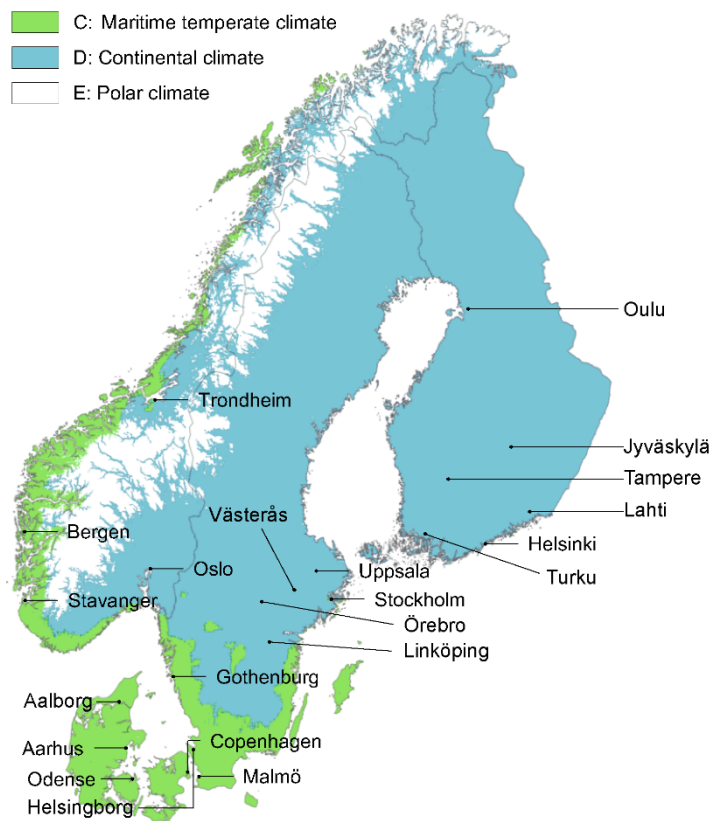
Barriere	Inkluderer for eksempel utfordringer knyttet til:	Påvirker:							
		Produsenter	Investorer	Arkitekter	Rådgivere	Eiere	Entreprenører	Montører	Sluttbrukere
Ytelse	Effektivitet, systemets ytelse, stabilitet og pålitelighet	■	■	■	■	■	■	■	■
Estetikk	Integrasjon med arkitektoniske kvaliteter	■	■	■	■	■	■	■	■
Standardisering og tilgjengelighet	Mangel på standarder, retningslinjer og preaksepterte løsninger	■	■	■	■	■	■	■	■
Tilpasning til klima	Vanntetthet, håndtering av regn, snø og is, vindlaster	■	■	■	■	■	■	■	■
Vedlikehold og levetid	Reparasjoner, utskifting	■	■	■	■	■	■	■	■
Verktøy for design og oppfølging	Systemer og programvare for design og oppfølging av anlegg	■	■	■	■	■	■	■	■
Kostnadseffektivitet	Direkte kostnader, installasjonskostnad og strømpris	■	■	■	■	■	■	■	■
Politikk	Støtteordninger, insentiver, reguleringer og politiske holdninger	■	■	■	■	■	■	■	■
Kunnskap	Utdanning, ekspertise, kunnskap i befolkningen og hos aktører	■	■	■	■	■	■	■	■
Sikkerhet	Brannsikkerhet, mekanisk styrke	■	■	■	■	■	■	■	■

Figur 2. Oppsummering av barrierer for bruk av BIPV på bakgrunn av ulike utfordringer nevnt i litteraturen [1–12] samt en antydning om hvilke aktører de påvirker

#### 3.2 BIPV i norsk klima

Klima og værforhold har stor betydning for den mengden solenergi et solcelleanlegg kan produsere. Forholdene i Norge skiller seg vesentlig fra klimaet i Sentral- og Sør-Europa, og dermed fra *standardforholdene* som vanligvis ligger til grunn for vurderinger og diskusjoner om fordeler og ulemper ved solenergi. Fra et internasjonalt perspektiv fokuserer man gjerne på midlere breddegrader og de delene av verden der solinnstrålingen er størst.

I Norge har vi tre av Köppens fem klimasoner, se figur 3. I motsetning til i resten av Norden, der inndelingen i klimasoner skifter med lengde-/breddegrad, er inndelingen i klimasoner i Norge i stor grad påvirket av kystområdene, topografi og høyde over havet. Norsk klima kjennetegnes av markerte geografiske forskjeller og store årsvariasjoner i temperatur og solinnstråling. Det bidrar til at vi må sette tydelige krav til bygninger, og også BIPV-installasjoner. Klimaskallet, spesielt tak, kan bli utsatt for betydelige laster knyttet til vind og nedbør (spesielt til snø), fryse-tine-sykluser og temperatursvingninger. Dessuten er de fleste BIPV-systemene utviklet for andre klimaforhold enn de norske, noe som kompliserer ytterligere. Nøkkelfordringer når man skal integrere solceller i klimaskjermen, ser ut til å være mangel på praktiske retningslinjer for installasjon og lufting av takintegreerte solceller [13]. Lufting er avgjørende for å oppnå god ytelse, redusere forringelse av panelene og tørke ut eventuell kondens på baksiden av panelene og dermed gi akseptable fuktforhold i taket. I tillegg kommer utfordringer knyttet til snødekke og snølast samt tilgjengelighet til BIPV-systemer med tilstrekkelig regntetthet [13].



Figur 3. Inndeling av Norden basert på Köppen-Geigers klimaklassifikasjon [14]

### 3.3 Temperaturavhengighet og lufting

Virkningsgraden til solceller er avhengig av solcellens temperatur, der synkende temperatur gir økt virkningsgrad. Virkningsgraden reduseres med omtrent 0,5 % per °C temperaturøkning i solcellene [15]. En temperaturøkning på for eksempel 20 °C reduserer da virkningsgraden med 10 relative prosent. Det vil si at et solcellepanel med virkningsgrad på 20 % ved 25 °C (STC) vil ha en virkningsgrad på 22 % ved 5 °C. Gitt tilstrekkelig solinnstråling kan til dels lave opptredende temperaturer en del steder i Norge altså være gunstig med tanke på solcellenes temperaturavhengighet sammenliknet med for eksempel kontinentale forhold.

For å maksimere energiproduksjon, gi god fuktsikkerhet og redusere forringelse av BIPV-paneler er det nødvendig med god lufting av panelene. Temperaturen på panelene vil variere med tilførsel av varme fra solinnstråling, varmeavgivelse til omgivelsene og nedkjøling fra vind. Ved bruk av BIPV på tak vil redusert effektivitet på grunn av oppvarming kunne være en utfordring. Skrå tak med BIPV blir derfor ofte utført som luftede tak med en luftespalte på undersiden av panelene [16, 17]. Dagens anbefalinger for lufting av skrå tak i Norge [18, 19] inkluderer imidlertid ikke tak med integrerte systemer for energiproduksjon som for eksempel BIPV. Simuleringer av effekten av monteringsmetode og luftespaltens geometri på temperaturen til et solcellepanel har vist at både vinkel og høyde på luftespalten under solcellepanelene påvirker temperaturen og dermed effektiviteten til panelene [20]. Større takvinkler og kortere luftespalte med større høyde kan gi høyere effektivitet på grunn av lavere temperatur. Det er også vist at høyere luftespalte og takhelning kan gi større luftstrømning forårsaket av naturlig konveksjon i luftespalten [21]. En studie av naturlig konveksjon i solfangere viste også at økt takvinkel ga lavere temperaturer i luftespalten på grunn av økt lufthastighet og luftstrømning i spalten [22]. Det kan likevel være utfordrende å gi anbefalinger for hvor høy luftespalten bør være. En numerisk studie (CFD-beregninger) gjennomført av Misiopceki mfl. [23] omhandlet luftespaltehøyder for avkjøling av tak med BIPV. Resultatene viste at en spaltehøyde på 50 mm ikke var nok til å avkjøle et 70 m langt tak med BIPV.

Figur 4 viser eksempel på oppbygning av luftespalte under BIPV på tak og bak BIPV på fasader på ZEB-laboratoriet i Trondheim.



Figur 4. Oppbygning av luftespalte under BIPV på tak (høyre) og bak BIPV på fasader (venstre). Eksempel fra ZEB-laboratoriet i Trondheim

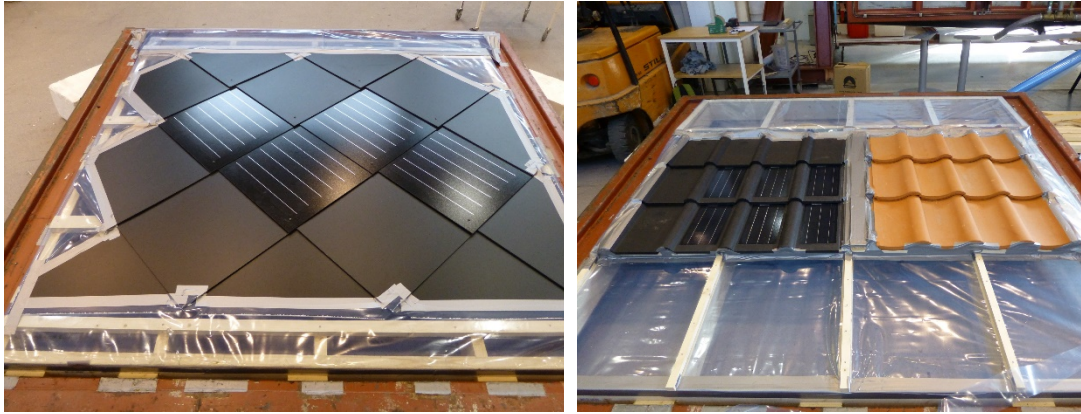
### 3.4 Regntetthet og avrenning

BIPV må oppfylle alle relevante krav for det bygningselementet det erstatter. Spesielt regntettheten i BIPV-systemet er kritisk fordi slagregn er en av de viktigste faktorene som påvirker ytelsen og holdbarheten til fasader og tak i Norge. Likevel er det gjennomført lite forskning på ytelsen til BIPV-systemer når det gjelder tetthet mot slagregn.

Breivik mfl. [24] gjennomførte storskalatester for avrenning og motstand mot inntrenging av vann som følge av slagregn for et kommersielt BIPV-system. Systemet ble testet ved to ulike helningsvinkler ( $15^\circ$  og  $30^\circ$ ). Studien viste at regntettheten til systemet ved påføring av vann uten vindtrykk var god og at forsøket sikret godt mot inndrev av slagregn. Det ble observert lekkasjer, men studien konkluderte med at lekkasjene var av en slik størrelse at de sannsynligvis ikke ville ført til fuktproblemer gitt en konstruksjon med tilstrekkelig vanntett undertak og god nok lufting. Det ble anbefalt at beslagene som omgir BIPV-paneler, bør utføres så tett som mulig (uten mulighet for ventilering) dersom luftingen under panelene gir god nok avkjøling til at panelenes celleeffektivitet ikke reduseres på grunn av temperaturøkning.

Andenæs [25] testet slagregntettheten til tre forskjellige BIPV-systemer (figur 5) gjennom laborieforsøk. Studien viste at solcelletakstein kan ha en vanntetthet som kan sammenliknes med vanlige takstein. Det ble foreslått at en profilert underside på solcelletaksteinen kan gi bedre tetthet mot inntrenging av vann, og at en bedre renneløsning i horisontale skjøter vil kunne forbedre regntettheten. Et BIPV-system basert på paneler festet med klemmer hadde større paneler som er regn- og vindtette i seg selv, men med den ulempen at det gir spalter mellom panelene. Det gjør det nødvendig med forsegling eller en robust underkonstruksjon som er vanntett og UV-bestandig. Dersom systemet skal kunne defineres som bygningsintegret, kan man ikke bruke en slik underkonstruksjon. Værbestandigheten til BIPV-systemet basert på overlappende plater med gjennomtrengende skruer ble i stor grad styrt av festesystemet. Utstikkende skruer forhindret overlappingen av elementene fra å være ordentlig lukket, noe som ga sprekker/spalter i fasade- eller takkonstruksjonen slik at vind og vann slapp gjennom.





Figur 5. BIPV testet for slagregnstetthet av Andenæs [25]. Foto: Erlend Andenæs

BIPV-paneler har lav friksjonskoeffisient, noe som resulterer i at tak med BIPV utgjør en stor, glatt og tett overflate. Korte, intense nedbørshendelser er forventet å øke i hyppighet og intensitet. Det kan føre til avrenning av store mengder regnvann på tak med BIPV som må håndteres. Johansen [26] studerte optimalisering av takrenneløsning for det 20 meter lange BIPV-taket på ZEB-laboratoriet for å maksimere arealet av BIPV-paneler på taket samtidig som man sikret tilstrekkelig oppsamling og drenering av avrenningsvann fra takflaten. Studien begrenset seg til å se på utforming av takrenna med hensyn til kortvarige regnhendelser med høy intensitet. Laboratorietester gjennomført ved en takhelning på 30° og ulike bredder på takrenna viste at smalere renneåpning økte sjansen for overslag av vann over kanten på renna. Studien konkluderte med at en rennebredde på 240 mm var tilstrekkelig for den gitte bygningen. Med rist over åpningen (løvsamler) blir regnvannet lettere samlet opp og åpningen kan reduseres ytterligere. Se figur 6 fra laboratorieprøvingen. Figur 7 viser utført løsning basert på resultatene fra forsøkene.



Figur 6. Kraftige regnskyll på glatt taktekning gir mye vann som renner i stor fart nedover taket. Med for smal takrenneåpning vil ikke vannet bli fanget av takrenna. Bruk av rist kan lede vannet ned i renna og samtidig hindre at løv blokkerer taknedløpene [27].

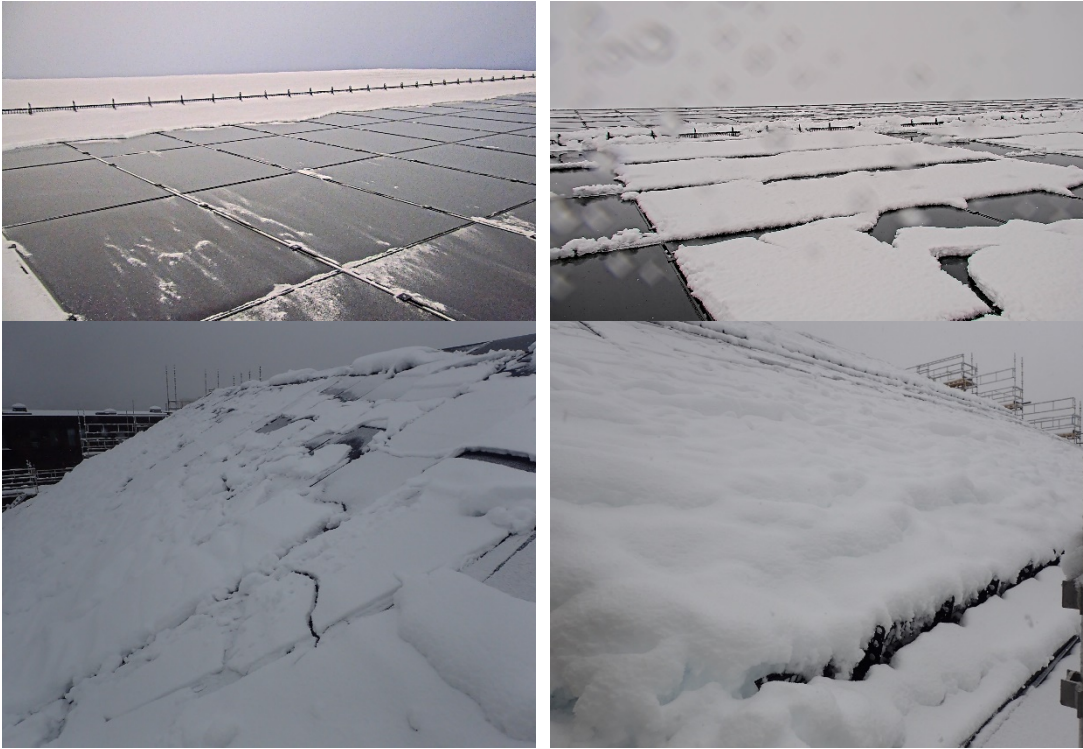


Figur 7. Takavslutning for ZEB-laboratoriet med "varm" takrenne, snøfangere, løvsamler og nødoverløp

### 3.5 Snø- og isdekke

Om vinteren kan man oppleve at snø og is dekker hele eller deler av overflaten på tak med solcellepaneler (figur 8). Snøen skygger for solcellene og hindrer effektiv energiproduksjon, og kan i tillegg virke negativt på BIPV-panelenes levetid. Mekanisk fjerning av snø og is kan slite på installasjonen. Snø- og isdannelse kan komme av normalt snøfall, regn som fryser, kondensering og frysing av fuktighet fra omgivende luft. Under gitte klimaforhold kan snø og is feste seg til solceller og andre glassoverflater opp mot 90° helningsvinkel [28]. Fordi snø er høyt reflekterende, kan selv et tynt lag snø redusere innstrålingen til snøens underlag betydelig. Avhengig av snødekkets tykkelse er det bare en liten del av solinnstrålingen som treffer solcellepanelenes overflate. I følge Andenæs mfl. [29] vil ethvert snølag, uansett tykkelse, i stor grad redusere potensiell energiproduksjon om vinteren. Med et snødekke tykkere enn 10 cm, vil energiproduksjonen synke til omtrent null. Snø og is som smelter og sklir nedover BIPV på tak, kan føre til skader på personer eller utstyr som befinner seg på bakken nedenfor taket, men nedfall av snø og is kan stoppes med montering av snøfangere. Snøfangere kan imidlertid føre til at snø og is akkumuleres på deler av BIPV-flaten og dermed redusert energiproduksjon.

Utfordringer med snø- og isdekke på solcellepaneler og strategier for å møte disse utfordringene har blitt diskutert i flere studier [28, 30-32]. Man har lagt stor vekt på passive strategier for å hindre at snø og is fester seg på paneler, slik som spesielle materialoverflater. For eksempel kan selvrensende overflateteknologier muligens brukes for å unngå at snø og is fester seg på panelene, i tillegg til at det kan være fordelaktig med tanke på å fjerne støv og andre forurensninger på panelenes overflate [32]. Materialoverflater som diskuteres spesielt, er hydrofile overflater (tiltrekker seg vann), hydrofobe overflater (frastøter vann) og ru overflater med mikro-/nanostruktur. Ruheten til en overflate på mikro- eller nanonivå har en direkte innvirkning på overflatenes avstøtende og hydrofobe egenskaper [32]. Ingen av de nevnte studiene gir noen tydelige anbefalinger for design for å unngå is- eller snødekke. En løsning kan være en kombinasjon av aktive og passive tiltak, for eksempel en kombinasjon av oppvarming og en hydrofob materialoverflate.



Figur 8. Snødekke på BIPV-taket på ZEB-laboratoriet i Trondheim

## 4 Erfaringer fra aktører i byggenæringen i Norge

### 4.1 Om informasjonsinnhenting

For å kartlegge kunnskapsnivå og kunnskapsbehov ved prosjektering og utførelse av bygninger med BIPV i Norge har vi hentet inn erfaringer fra aktører i byggenæringen. I informasjonsinnhenting la vi vekt på å kartlegge hvilke erfaringer ulike aktører har med bygging med BIPV. Til sammen ble det gjennomført 15 intervjuer (totalt 23 personer) med offentlige byggherrer (2), private byggherrer (3), entreprenører (2), rådgivere (3), leverandører av solceller (4), arkitekt (1) og brann- og redningstjeneste (1). De ulike aktørene ble i hovedsak valgt ut basert på prosjektets kjennskap til aktører som kunne ha erfaring med BIPV. Intervjuene ble gjennomført som digitale møter. I forkant av intervjuene ble det lagd en intervjuguide (se vedlegg 0) som ble delt med intervjuobjektene før intervju. Intervjuene hadde fokus på BIPV med tanke på solceller som et bygningselement, byggetekniske løsninger og prosjektering og byggeprosess. Spørsmålene til de ulike aktørene varierte noe, men hadde som mål å avdekke erfaringer og eventuelle problemstillinger som de ville ha synspunkter på. Intervjuene skulle belyse de viktigste erfaringene med beslutning om anskaffelse, prosjektering og bygging med BIPV. Intervjuobjektens svar ble notert av 2–3 personer underveis i intervjuet. Svarene ble sammenstilt og sammenliknet i etterkant, med mål om å trekke ut fellesnevner blant intervjuobjektene. Hovedfunn fra informasjonsinnhenting er presentert i pkt. 4.2–4.5.

### 4.2 Aktørenes erfaringer med BIPV

#### Begrepet bygningsintegreerte solceller

Blant de intervjuede aktørene var det stor grad av felles oppfatning av begrepet BIPV. Nesten alle svarte at de i begrepet BIPV la at solcellene (PV) også skulle dekke en byggeteknisk funksjon som kledning på vegg eller taktekning i tillegg til å være et element som produserte strøm. Mange presiserte at solcellene skulle erstatte klimaskjermen og fungere som bygningens "værhud". Det kom imidlertid også tydelig fram at det per i dag ikke fins et omforent krav til regntetthet for solceller som taktekning og fasadekledning (BIPV). Flere oppfattet dette som problematisk. Vi erfarte også at noen aktører legger vekt på integrering som del av formspråket. Flere av de intervjuede nevnte at det er en gråsone i markedet og at ulik tolkning av begrepet er et problem, for eksempel i anbudsrunder der man ser at ordinære PV-anlegg omtales som BIPV og utkonkurrerer produkter som er ment for integrering og som har en høyere pris.

#### Intervjuobjektens erfaringer med BIPV

Alle de intervjuede hadde erfaring fra prosjekter med BIPV (premiss for å bli intervjuet). Noen hadde erfaring fra flere prosjekter, andre bare fra ett eller et lite antall. Intervjuobjektene hadde erfaring både fra næringsbygg og boliger, og både nybygg og oppgradering/renovering. Leverandørene hadde typisk mest erfaring med PV, men leverer gjerne BIPV som et nisjeprodukt. Aktørenes bakgrunn, motivasjon for deltakelse i prosjekter med BIPV og erfaring varierte, men de intervjuede hadde det til felles at motivasjonen for solstrøm og bygningsintegrasjon av solceller var sterkt til stede. Flere nevnte også at BIPV var vurdert i flere prosjekter de hadde vært involvert i, men at det ofte blir valgt bort i løpet av prosessen. I intervjuene kom det fram at det ikke nødvendigvis er økonomi som er driver for å benytte BIPV, men fokus på miljø og at man ønsker å få til energieffektive bygg. Det er ofte et premiss i store prosjekter at man skal satse på grønne løsninger, men det er ikke nødvendigvis lagt til rette for dette økonomisk.

### 4.3 Organisering av prosessen

#### Informasjon om integrasjonsmuligheter for solceller

I intervjuene kom det fram at aktørene som ønsker å benytte BIPV i sine prosjekter, som oftest får informasjon om muligheter for integrasjon gjennom kontakt med ulike solcelleleverandører. I store prosjekter med totalentreprise er det gjerne entreprenøren som leter etter



produkter og løsninger for integrasjon. Noen benytter også egne rådgivere eller arkitekter med erfaring fra prosjekter med solceller. De private selvbyggerne vi intervjuet hadde alle en helt spesiell interesse for å få til BIPV og tok kontakt med leverandører selv. Selv om det fins flere leverandører av BIPV i Norge, anses det fortsatt som et nisjeprodukt. En av de intervjuede leverandørene foreslår sjelden bruk av BIPV med mindre det er et spesielt ønske fra byggherren.

### **Organisering av anskaffelsen**

Intervjuene avdekket at det er liten grad av standardisering/samordning i forbindelse med anskaffelse og organisering av en byggeprosess med BIPV som leveranse. Flere nevner at det er viktig å tenke på BIPV tidlig i planleggingsprosessen for byggeprosjektet, og det kom tydelig fram at organiseringen varierer mellom prosjekter. For større prosjekter og nybygg organiseres ofte anskaffelsen gjennom en totalentreprenør. Som privat byggherre må man som regel selv ta ansvar for all koordinering og grensesnittet mellom byggmester og solcelleleverandør, noe som av flere blir beskrevet som utfordrende. Det ble uttrykt at bestiller-/innkjøpskompetanse mangler spesielt hos denne gruppen.

### **Roller og ansvar**

Det varierer hvordan man organiserer prosjektering av konstruksjoner med BIPV, men flere av de intervjuede sier at prosjekteringen ofte blir et samarbeid mellom aktører, for eksempel leverandør, arkitekt og rådgivere. Hvilken erfaring aktørene i et gitt prosjekt har fra før, har betydning for hvordan rollene bekles. Både leverandør, rådgiver og arkitekt oppgir at de ofte er involvert i hele byggeprosessen – fra planlegging til ferdigstilling. Den prinsipielle oppbygningen av konstruksjonen og utformingen av anlegget ligger i mange tilfeller i tegninger fra arkitekt, men leverandørene, som kjenner produktene, må være medvirkende i opptegningen. Ofte gjøres hele prosjekteringen og opptegningen av solcelleanlegget av solcelleleverandøren. Da blir oftest prosjekteringsgrunnlaget kommentert og/eller sjekket av byggtekniske rådgivere til slutt. Fra en leverandør ble det påpekt at de nå erfarer at de ikke har nok byggteknisk kompetanse i bedriften, og at det er noe de bør bygge opp for å få bedre prosesser og leveranser.

Leverandørene kan prosjektere solcelleanlegget selv eller levere tilbud i henhold til kravspesifikasjoner (ferdig prosjektert underlag) fra prosjektet. Både en rådgiver og en leverandør mener det kan knyttes utfordringer til slike kravspesifikasjoner. Rådgiveren mener at de er vanskelige å utforme for BIPV fordi det er få forhåndsgodkjente løsninger. Dersom man setter for strenge krav, er det mange produkter som vil være uaktuelle. Leverandøren mener at det i kravspesifikasjonen ofte settes urealistiske krav til energiytelse, og at det ikke blir tatt tilstrekkelig hensyn til at man må følge regelverk som TEK17<sup>3</sup> og NEK 400<sup>4</sup>.

Noen produsenter har egne prosjekteringsverktøy for produktet, som leverandør, installatør eller elektriker må ha opplæring i (kurs) for å bruke. Ofte kan det være en rådgiver (elektroingeniør) som har ansvar for den tekniske prosjekteringen av selve solcelleanlegget. Rådgivere (RIB) utfører den byggtekniske prosjekteringen. Normalt må leverandører hente inn konsulenter eksternt for å gjøre statiske beregninger for solcelleanlegget, for eksempel i forbindelse med snøfangere eller vindlast. En av leverandørene oppgir også at de ser det som den beste løsningen at solcelleleverandøren ikke har ansvar for byggtekniske aspekter. Hva gjelder bygningsfysikk for konstruksjonen (under BIPV) oppgir flere at dette gjerne kontrolleres av RIB etter detaljtegninger fra arkitekt.

Generelt gir intervjuene inntrykk av at det ikke foreligger en omforent måte å gjennomføre byggteknisk planlegging og prosjektering av BIPV-anlegg. En av de mer erfarne intervjuede

---

<sup>3</sup> <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>

<sup>4</sup> NEK 400: 2018. Elektriske lavspenningsinstallasjoner, utgave 6.0

mente også at mangel på kunnskap og standardiserte prosesser og løsninger er en grunn til at prisene for BIPV synes å være kunstig høye.

### **Montering**

Montering utføres som oftest av solcelleleverandøren, som gjerne har egne installatører. Det blir også gitt eksempler på at leverandører bruker andre solcelleleverandører som underleverandører for montering eller leier inn eksterne installatører. Den største utfordringen med montering blir ansett å være at installatører ofte ikke har byggeteknisk kompetanse. Elektriker har ansvar for tilkobling og godkjenning av anlegget. Intervjuene ga inntrykk av at det i flere tilfeller var en del arbeid og uklarheter i forbindelse med overganger mot andre bygningsdeler eller kledning/taktekning, med potensielt store kostnader knyttet til blikkenslagerarbeid.

## **4.4 Prosjektering**

### **Generelt**

Flere av de intervjuede aktørene savnet relevante anvisninger for detaljer og anbefalinger for prinsipiell oppbygning av tak- og veggkonstruksjoner med BIPV. Aktørene som hadde vært involvert i flere prosjekter, benyttet i noen tilfeller tidligere brukte løsninger ved prosjektering, men mente at det ofte er behov for tilpasning til hvert enkelt prosjekt. Flere aktører presiserte at prosjekter med BIPV i dag er "learning by doing" og mener det mangler kunnskap. På grunn av lite standardisering og forhåndsgodkjente/dokumenterte løsninger må også mye løses på byggeplass, noe som fører til en prosess som er mer kostnadskreven og mindre effektiv enn ønskelig.

### **Format og estetikk**

Formatet til solcellepaneler blir av flere ansett som en utfordring i forbindelse med prosjektering. På grunn av manglende standard på formater må produktet som skal benyttes bestemmes tidlig i planleggingen, og det er utfordrende å bytte produkt på et senere tidspunkt. I tillegg er formatet på solceller vanskelig å tilpasse til en gitt flate og andre bygningselementer. Tilpasning til vinduer på fasader blir nevnt som et eksempel. En aktør sier også at kompromisset mellom størst mulig solcelleareal og innslipp av dagslys kan være en utfordring ved planlegging. Det understrekes at størrelsen på panelene blir veldig styrende for prosjektering og bygningens utforming/formspråk. For å utnytte mest mulig solenergi får ofte bygninger med BIPV plasskrevende former/geometrier, for eksempel store skråflater.

Større variasjon i solcellenes utseende ble nevnt som et ønske av flere. Det ble gitt et eksempel på at det kan være vanskelig å kombinere ønsket om å være klimanøytral med krav til arkitektur, for eksempel ved føringer fra byantikvar. Vernerestriksjoner for et bygg eller et område kan legge premisser for hvordan BIPV-anlegget kan se ut.

### **Regnetthet og fuktsikkerhet**

Basert på de intervjuede aktørenes oppfatning av begrepet BIPV var de fleste enige om at BIPV brukt som takteknikk må være regntett. To av leverandørene presiserte at systemene de leverer er regntette, og at de har dokumentasjon på dette fra produsent. Andre mente imidlertid at det var vanskelig å få tak i god dokumentasjon på regnetthet fra leverandør, spesielt med tanke på om systemene var egnet for bruk i norsk klima. Det ble gitt eksempler på prosjekter der man var såpass usikre på om BIPV-systemet var tett at det ble valgt å legge en (fullverdig) takteknikk på undersiden av PV-panelene.

### **Lufting (ventilering)**

Aktørene hadde varierende fokus på lufting av BIPV. Leverandørene mente at lufting var viktig, men ga inntrykk av at temperatur og lufting ikke er en problemstilling for tak på småhus. Denne holdningen hos leverandørene ble også bekreftet av en av byggherrene. Det ble nevnt at leverandører garanterer en gitt kWp (toppeffekten som solcellepanelet kan produsere under gitte forutsetninger) for et anlegg, men ikke total energiproduksjon (kWh) i løpet av året, og at dette kan bidra til at fokuset på lufting blir mindre (ingen insentiver for å

sikre god lufting). Det ble uttrykt at løsninger for lufting ble vurdert fra prosjekt til prosjekt, der den resulterende luftespalten gjerne er et kompromiss mellom visuelt uttrykk og teknisk ytelse og derfor blir til i et samarbeid mellom arkitekt, entreprenør og leverandør. Det ble gitt eksempel på at lufting ble prosjektert av leverandør basert på anbefalinger fra produsent og kvalitetssikret av en rådgiver, men at det var arkitekt som ofte ble førende for resulterende utforming. Intervjuene ga inntrykk av at det er usikkert hvor stort luftesjiktet må være, spesielt på større bygg. På småhus blir det ofte benyttet luftespaltebredder som for annen tekning og kledning.

En problemstilling for BIPV i fasader er ofte et ønske om noe avstand mellom paneler i planet (for å sikre mer lufttilgang og dermed kjøling av panelet), men på værutsatte fasader med mye slagregn kan dette føre til for dårlig regntetthet.

### **Snø og is**

Generelt ga intervjuobjektene inntrykk av at snødekke på tak med BIPV ikke var et problem ifølge deres erfaringer. Noen sa at det til tider kunne legges seg snø på panelene, men at det sjelden ble liggende over lang tid. Det ble gitt eksempler på at det er mulig å benytte systemer for snøsmelting ved hjelp av oppvarming. Bruk av snøfangere ble av flere sett på som en utfordring, i hovedsak fordi de opptar areal som man ønsker til strømproduksjon eller fører til oppsamling av snø på de nederste panelene. En aktør oppga at de prosjekterer strenginndeling på taket slik at man kan forvente noe snø nederst på taket. Ved installering på eksisterende bygg med for eksempel takstein er det ofte et ønske å la en rekke takstein ligge igjen nederst på taket og ut mot kantene av takflaten om mulig.

### **FDV**

Vedlikehold og eventuell utskifting av paneler ble sett på som en utfordring blant flere av aktørene – både med tanke på kostnader og hvordan det skal utføres. Det ble spesielt lagt vekt på at utskifting kan bli et problem når det ikke fins standardløsninger for systemer med BIPV (det vil si at det er vanskelig å kombinere systemer). En av de intervjuede gir eksempel på et prosjekt der solcellepanelene har 30 års garanti, men leverandøren av panelene er konkurs. Det ble av flere poengtert at de ikke vet hvordan de eventuelt skal løse en slik situasjon. Praktisk utførelse av vedlikehold og utskifting ble også nevnt som en utfordring fordi det i mange prosjekter er vanskelig med enkel tilkomst til takflater med BIPV. En privat byggherre mente at det også var stort behov for løsninger som overvåker anlegg og varsler ved feil fordi man selv som eier er ansvarlig for å følge opp anlegget og ha kontroll på at det fungerer slik det er ment.

### **Brann**

Mange av aktørene ga inntrykk av at de legger vekt på brannsikkerhet ved planlegging av bygninger med BIPV. Flere intervjuobjekter, både byggherre, rådgiver og leverandører, hadde kjennskap til regelverk og enkelte krav, spesielt NEK 400<sup>5</sup> som omhandler prosjektering og utførelse av elektriske lavspenningsinstallasjoner, deriblant solcelleanlegg. Brannrådgivere har ansvar for brannprosjektering av bygningen generelt, men det kom også fram i intervjuene at flere hadde mer dialog med brannvesen under planlegging av bygninger med PV. Dette ble bekreftet av intervjuobjektet fra brannvesenet som hadde vært involvert i mange prosjekter med PV-installasjoner. BIPV hadde de mindre erfaring med, og mente dette kom av at BIPV blir mest brukt på småhus. Der blir brannvesenet sjelden involvert i prosjektering, hverken av utbyggere eller av privatpersoner. Brannvesenet blir i større grad involvert ved større bygg/prosjekter, spesielt næringsbygg. For brannvesenet er det av betydning å bli involvert tidlig, spesielt i større prosjekter, slik at de kan påvirke utformingen av anlegget og for å diskutere og avklare løsninger for atkomst ved slukking. Både fjerning/demontering av paneler for å gi tilkomst for brannslukking samt håndtering av de løse panelene ble nevnt som utfordringer med BIPV-anlegg. I intervjuet kom det også fram at det for bygninger med BIPV

---

<sup>5</sup> NEK 400: 2018. Elektriske lavspenningsinstallasjoner, utgave 6.0

bør være tilgjengelig en orienteringsplan for solcelleanlegget med informasjon om for eksempel plassering av viktige komponenter som paneler, brytere og vekselrettere, om det er batterier tilknyttet anlegget, hvor det er innfestingspunkter for fallsikring og hvilket spenningsnivå som kan forventes. Bryter for å skru av strømmen på solcellepanelene bør plasseres ved hovedangrepsveien for brannvesenet.

#### 4.5 Oppsummering

Blant de intervjuede aktørene var det i stor grad en felles oppfatning av begrepet BIPV: BIPV skal dekke en byggt teknisk funksjon som for eksempel kledning eller taktekning i tillegg til å være et element som produserer strøm. Intervjuene avdekket at det er liten grad av standardisering/samordning i forbindelse med anskaffelse og organisering av en byggeprosess med BIPV som leveranse. Hvordan man organiserer prosjektering av konstruksjoner med BIPV varierer, men flere av de intervjuede sier at prosjekteringen ofte blir et samarbeid mellom aktører, for eksempel leverandør, arkitekt og rådgivere. Hvilken erfaring aktører i et gitt prosjekt har fra før, har betydning for hvordan rollene bekles. Generelt gir intervjuene inntrykk av at det ikke foreligger en enhetlig omforent måte å gjennomføre byggt teknisk planlegging og prosjektering av BIPV-anlegg.

Flere byggt tekniske og forvaltningsmessige utfordringer ble tatt opp av de intervjuede:

- vedlikehold, utskifting og drift av paneler
- risiko for nedfall av paneler
- ferdsel på paneler er ikke mulig
- sikkerhetsaspekter (f.eks. fukt, brann og elteknikk)
- atkomst og slukking ved en brannsituasjon
- BIPV og lave takvinkler
- PV-formater som ikke er tilpasset norsk byggformat
- håndverkere har liten erfaring og kompetanse med solceller
- leverandører og installatører har ikke byggt teknisk kompetanse
- manglende anvisninger for løsninger for nye og eksisterende bygg

Intervjuene hadde i liten grad fokus på sol som energikilde og ordninger mot kraftselskapene, men regelverket for deling og levering av strøm og plusskundeordningen ble likevel trukket fram som et utfordrende moment både blant private byggherrer og de andre aktørene.

I intervjuene kom det tydelig fram at bygging med BIPV er umodent i Norge. Løsninger og prosess er lite standardisert, og det er tydelige kunnskapshull knyttet til både prosjektering og prosess. Det er utfordringer knyttet til at BIPV er en el-/energileveranse, men også en byggt teknisk leveranse. Det er behov for klare råd hva angår ansvarsfordeling i prosjekter der man bruker BIPV. Leverandørene erfarer imidlertid at det er mange forespørsler i markedet og sterke ønsker om utvikling/innovasjon. Intervjuobjektene var alle positive til BIPV, og byggherrer, arkitekter, rådgivere og entreprenører tror at de kommer til å vurdere å bruke det i flere prosjekter, men både lønnsomhet, bedre kunnskap i næringen, bedre produkter og mer samordnede og gode prosesser i anskaffelsen vil gjøre det enda mer aktuelt.

## 5 Erfaringer fra ZEB-laboratoriet

ZEB-laboratoriet,<sup>6</sup> se figur 9, er et nullutslippsbygg oppført på Gløshaugen i Trondheim, der blant annet deler av fasader, komponenter og tekniske systemer kan endres eller byttes ut. Bygget skal være et verktøy i utviklingen av klimavennlige bygninger og brukes til utprøving og utvikling av nye løsninger og teknologi samtidig som det er i full drift som et kontor- og undervisningsbygg. ZEB-laboratoriet skal demonstrere et klimatilpasset ZEB-COM-bygg [33], der ZEB-COM oppnås ved at fornybar energiproduksjon fra BIPV skal kompensere for klimagassutslipp fra bygging, materialframstilling og drift over en livssyklus på 60 år.

Erfaringer fra ZEB-laboratoriet kan bidra i utviklingen av løsninger for konstruksjoner med BIPV. Eksempler på byggetekniske løsninger valgt i ZEB-laboratoriet og oppsummering av feltmålinger som gjennomføres i forbindelse med solcelleanlegget, er derfor beskrevet i pkt. 5.1 og 5.3.



Figur 9. ZEB-laboratoriet på Gløshaugen i Trondheim. Foto: m.c.herzog / visualis-images

### 5.1 Eksempler på byggetekniske løsninger

ZEB-laboratoriet har integrerte solceller på hele takflaten og hele eller deler av alle fire fasader. Bygningen har skrått tretak og isolerte bindingsverksvegger. Den utvendige formen og orienteringen til bygningen er i stor grad bestemt av ønsket om å maksimere høstingen av solenergi og dermed energiproduksjon over året.

Taket på ZEB-laboratoriet er utført som et ca. 20 m langt skrått, kompakt tretak med takfall på 32°. Som teknisk løsning er det montert BIPV med 126 mm luftespalte mellom undertaket og BIPV-panelene. Taket består ellers av 450 mm høye K- og I-bjelker med glassull (blåseisolasjon) i bjelkelaget og taktro i kryssfiner teknet med asfalt undertaksbelegg. Innvendig er det benyttet smart dampspærre og nedlektede himlingsplater eller lydabsorbent. Tabell 1 viser en oversikt over oppbygning av takkonstruksjonen med BIPV som luftet teknisk løsning og hvilke bygningstekniske løsninger som er valgt.

Figur 10–Figur 12 viser ulike tverrsnitt av taket. Figur 14 viser bilder fra byggingen av taket.

Den valgte BIPV-teknisk løsningen har tette skjøter og skal gi liten lekkasje av regnvann ned på undertaksbelegget. I avslutningen mot mønet og på oversiden av snøfangerne er det benyttet polymerkomposittplater som dummy-paneler (det vil si plater som likner solcellepanelene, men som ikke produserer strøm, se figur 11 og figur 12). Disse platene er montert med åpne

---

<sup>6</sup> [www.zeblab.no](http://www.zeblab.no)

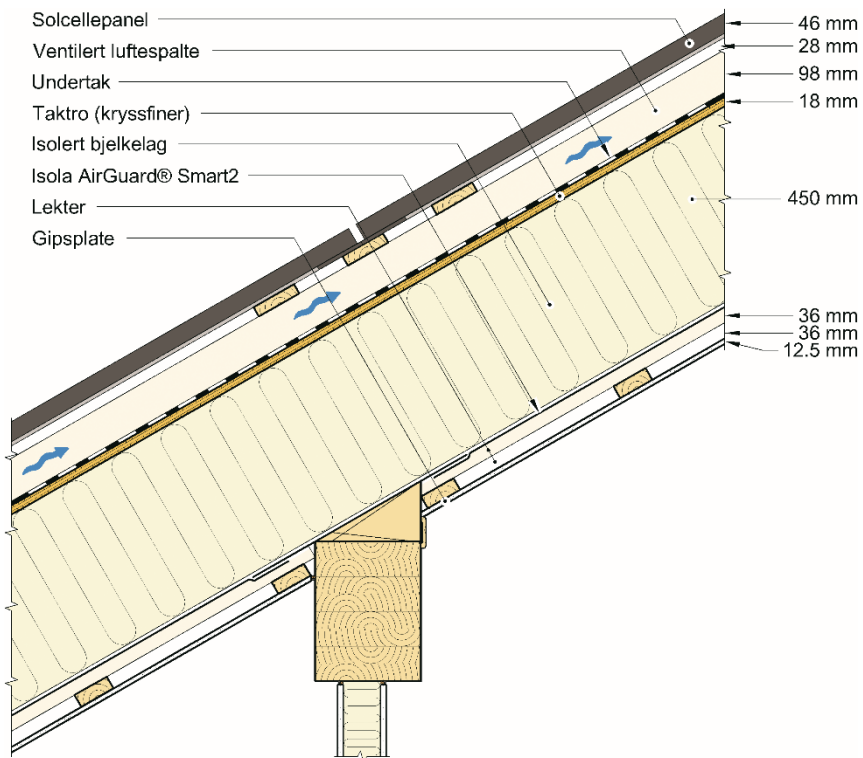
skjøter, men med regntett beslag under som vist i figurene. Ettersom taket er utført med BIPV med tette skjøter, utgjør takflaten en stor, tett og glatt overflate som ved kraftig regn kan samle store mengder vann som strømmer med høy fart mot takfoten. En tradisjonell utvendig takrenne ville blitt stor og dermed skygget for solcellepanelene på fasaden. I tillegg ville et takutstikk ødelagt det arkitektoniske uttrykket for bygget. Taket er derfor utført med en "varm" takrenne integrert i takflaten og innvendige nedløp. Dimensjoneringen av takrenna er basert på en masteroppgave [26] som studerte optimalisering av takrenneløsningen for å maksimere arealet av BIPV-paneler på taket samtidig som man sikret tilstrekkelig oppsamling og drenering av avrenningsvann fra takflaten. Oppgaven så på utforming av takrenna med hensyn til kortvarige regnhendelser med høy intensitet, med en vannpåføring som tilsvarer forventet dimensjonerende regnvær i Trondheim om 100 år, og testet ulike utforminger gjennom laborieforsøk. Funksjonaliteten til den utførte løsningen overvåkes, og vi ser at takrenna tar imot vannet på samme måte som dokumentert i laborieforsøkene.

Figur 13 viser utførelse av ZEB-laboratoriets sørfasade med BIPV som luftet kledning. BIPV-kledningen er montert med 15 mm åpne fuger slik at luft kan strømme inn mellom panelene og bidra til avkjøling. For å redusere regn- og UV-påkjenningen på vindsperra er det derfor benyttet en ekstra dyp luftespalte mellom BIPV-panelene og vindsperra på bakveggen. Ulike innfestingsløsninger er benyttet på de ulike fasadene, men alle består av en kombinasjon av trelekter, metallekter og innfestingsskinner. Figur 15 viser bilder av montering av BIPV på fasadene.

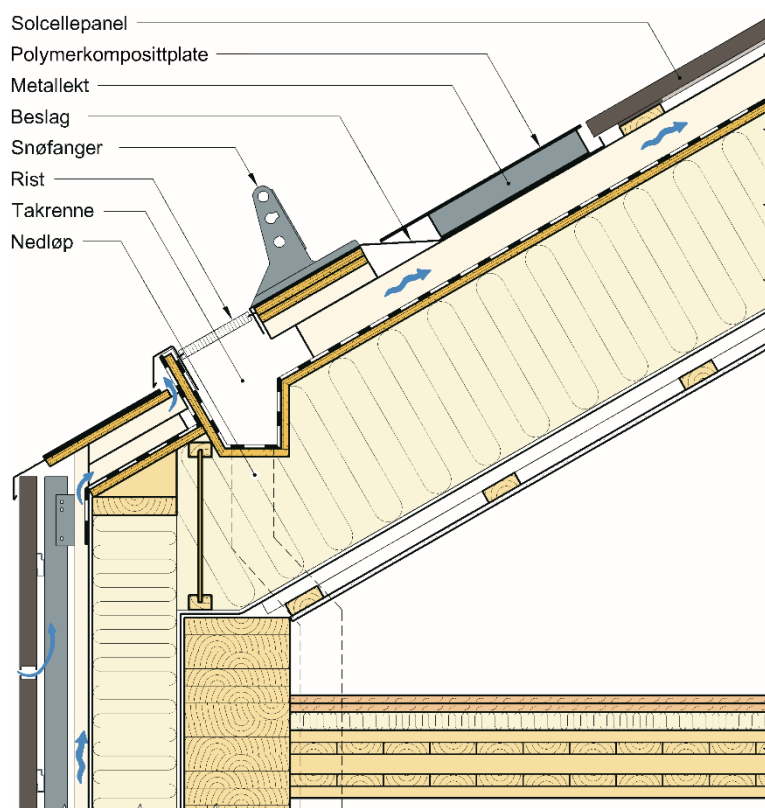
Valg av vindsperre var utfordrende fordi det på innkjøpstidspunktet ikke fantes teknisk godkjente vindsperrrefolier med nødvendig branndokumentasjon for bruk bak solcellepaneler som fasadekledning. Brannproblematikken er tilsvarende for luftespalten under BIPV i taket. Derfor ble det brukt et taktekningsbelegg med brannklassifisering som undertaksbelegg.

Tabell 1. Oversikt over løsninger benyttet på taket med BIPV-teknik på ZEB-laboratoriet

Type solceller	Sunpower X21-350-BLK
Solcelleareal	450 m <sup>2</sup>
Installert effekt	98 kWp
Taktype	Kompakt skrått tretak
Taklengde	20 m
Takfall	32°
Oppbygning av taket (utenfra og inn)	BIPV som luftet takteknik 126 mm (28 mm + 98 mm) luftespalte Undertaksbelegg (ett lag Isola Mestertekk Kombi takbelegg) 18 mm taktro (kryssfiner) 450 mm K-/I-bjelker og mineralullisolasjon (blåseull) Smart dampsperre (Isola AirGuard® Smart2) 72 mm (36 mm + 36 mm) luftespalte Gipsplater med dampåpen overflatebehandling og lydabsorbent
Lufting	Krysslufting i 126 mm luftespalte under BIPV
Avrenning av vann	På utvendig overflate av BIPV
Takrenne og nedløp	"Varm" takrenne med innvendige nedløp ved takfot
Håndtering av snø	Snøfangere montert midt på takflaten og ved takfot
Regntetthet solcellepaneler	Panelene er montert med tette skjøter og skal utgjøre et regntett sjikt.
Kabelføring	Kabler er ført på baksiden av panelene og fram til vestfasaden der alle kabler er trukket gjennom yttervegg direkte til teknisk rom for å unngå hulltaking i takkonstruksjonen.
Innfesting	Integrert festesystem fra IRFTS. Består av overlappende rammer festet med braketter til underliggende trelekter

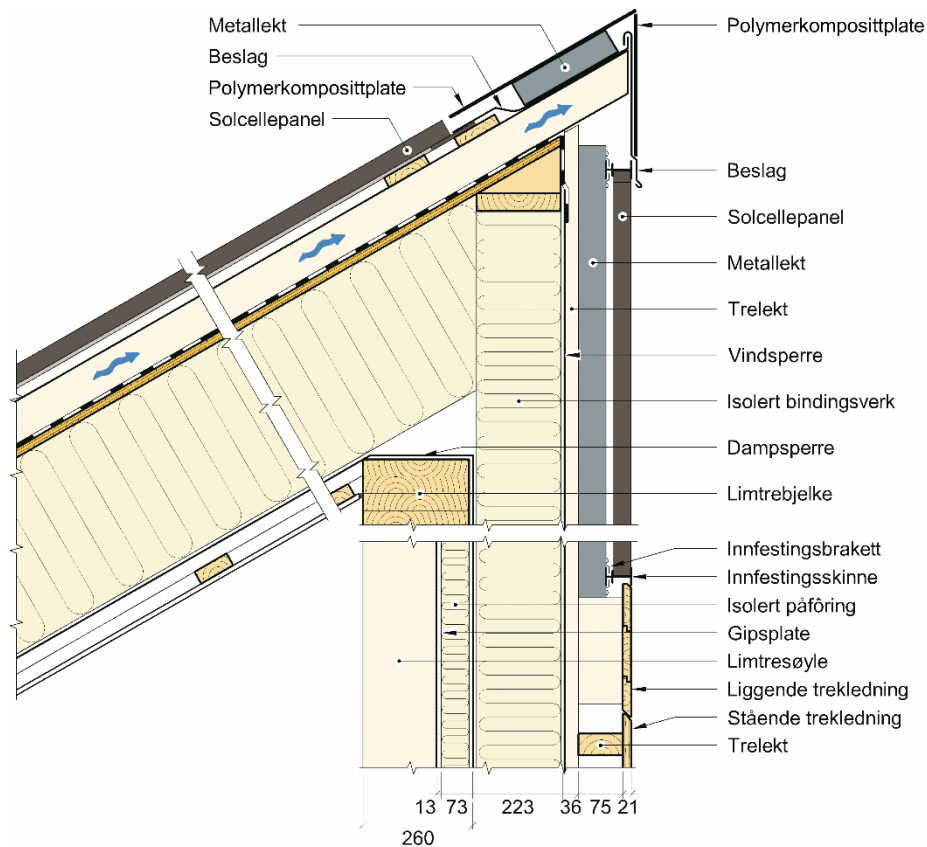


Figur 10. Eksempel på oppbygning av skrått tak med BIPV som luftet tekning. Figuren viser utførelse av taket på ZEB-laboratoriet.

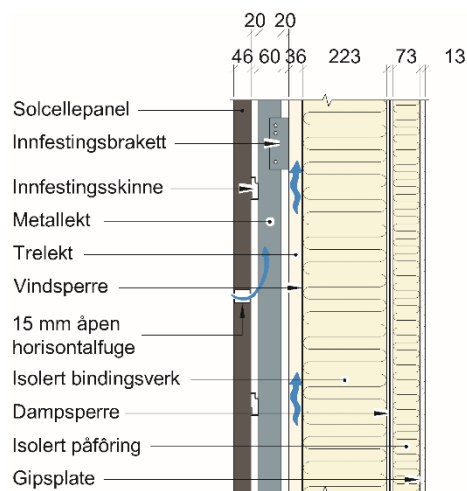


Figur 11. Eksempel på utførelse av takfot på skrått tak med BIPV som luftet tekning. Figuren viser oppbygning av taket på ZEB-laboratoriet. Figuren viser også avslutning av BIPV-kledning på bygningens sørfasade.





Figur 12. Eksempel på utførelse av møne på skrått tak med BIPV som luftet tekning. Figuren viser oppbygning av taket på ZEB-laboratoriet. Figuren inkluderer løsningen som er benyttet for PV-paneler på ZEB-laboratoriets nordfasade.



Figur 13. Eksempel på oppbygning av yttervegg med BIPV som luftet kledning. Figuren viser utførelse av sørfasaden på ZEB-laboratoriet.



Kassettsystem for montering av solcellepaneler på taket



Underlag for innfesting av snøfanger ved takfot



Beslag montert som ekstra fuksikring under dummy-panel ved takfot



Avslutning av beslag under solcellepaneler



Montering av dummy-panel mellom snøfanger og nederste solcellerekke. Takrenne med rist i underkant av snøfanger



Nedfelt "varm" takrenne ved takfot





Beslag montert som ekstra fuktsikring under dummy-panel ved møne. Øverste rekke med solcellepanel er vist til venstre i bildet.



Ferdig BIPV på tak. Øverste platerække er dummy-paneler.

Figur 14. Bilder fra montering av BIPV på taket til ZEB-laboratoriet



Oppbygning av luftespalte bak solcellekledning på sør- og østfasade. Innerste lekt er brannimpregnert trevirke.



Utlekking bak solcellekledning i toppen av veggen på nordfasade



Utlekking av solcellekledning på vestfasade. Øvre del av veggen har BIPV montert på horisontale metallskinner. Nedre del av veggen har dummy-paneler på vertikale metallekter.



Innfesting av solcellepaneler på vestfasade



Ferdig montert BIPV på nordfasade



Ferdig montert BIPV på sørfasade og pergola før ferdigstilling av utomhusarbeid

Figur 15. Bilder fra montering av BIPV på ZEB-laboratoriets fasader

## 5.2 Bygging med solstrøm

ZEB-laboratoriet skal demonstrere et klimatilpasset ZEB-COM-bygg der ZEB-COM oppnås ved at fornybar energiproduksjon fra BIPV på taket og fasadene skal kompensere for klimagassutslipp fra bygging, materialframstilling og drift over en livssyklus på 60 år. For å oppnå denne ambisjonen var utnyttelse av egenprodusert elektrisitet i byggefasen et viktig tiltak.

I gjennomføringen av byggeprosjektet ble det lagt vekt på å ferdigstille takkonstruksjon med installert solcelleanlegg på et tidlig tidspunkt. Innovativ tenking, god planlegging og godt samarbeid mellom aktørene gjorde det mulig å koble takets solcelleanlegg på byggestrømsanlegget et halvt år før ferdigstilling av bygningen, se figur 16 og figur 17. Dermed kunne egenprodusert elektrisitet benyttes de siste månedene av byggeprosjektet. På taket ble det produsert 54 000 kWh i løpet av sommerhalvåret 2020, mens det totale strømforbruket gjennom hele byggeperioden på 18 måneder var omtrent 288 000 kWh [34]. I periodene med overskuddsstrøm fra BIPV-anlegget ble elektrisiteten overført til NTNUs strømnett. Det utgjorde 12 000 kWh, noe som bidro positivt i klimagassregnskapet. Erfaringen fra ZEB-laboratoriet er at løsningen som ble benyttet, reduserte både CO<sub>2</sub>-utslippene og kostnadene.



Figur 16. Montering av solcellepanelene på taket av ZEB-laboratoriet ble gjort vinteren 2019/2020 slik at vi kunne starte høsting av solenergi i slutten av april – et halvt år før bygget var ferdig.





Figur 17. BIPV på taket produserer strøm til drift av byggeheisen, belysning, oppvarming, lading av batterimaskiner og alt annet elektrisk utstyr som var nødvendig for fullføring av ZEB-laboratoriet.

### 5.3 Feltmålinger fra ZEB-laboratoriet

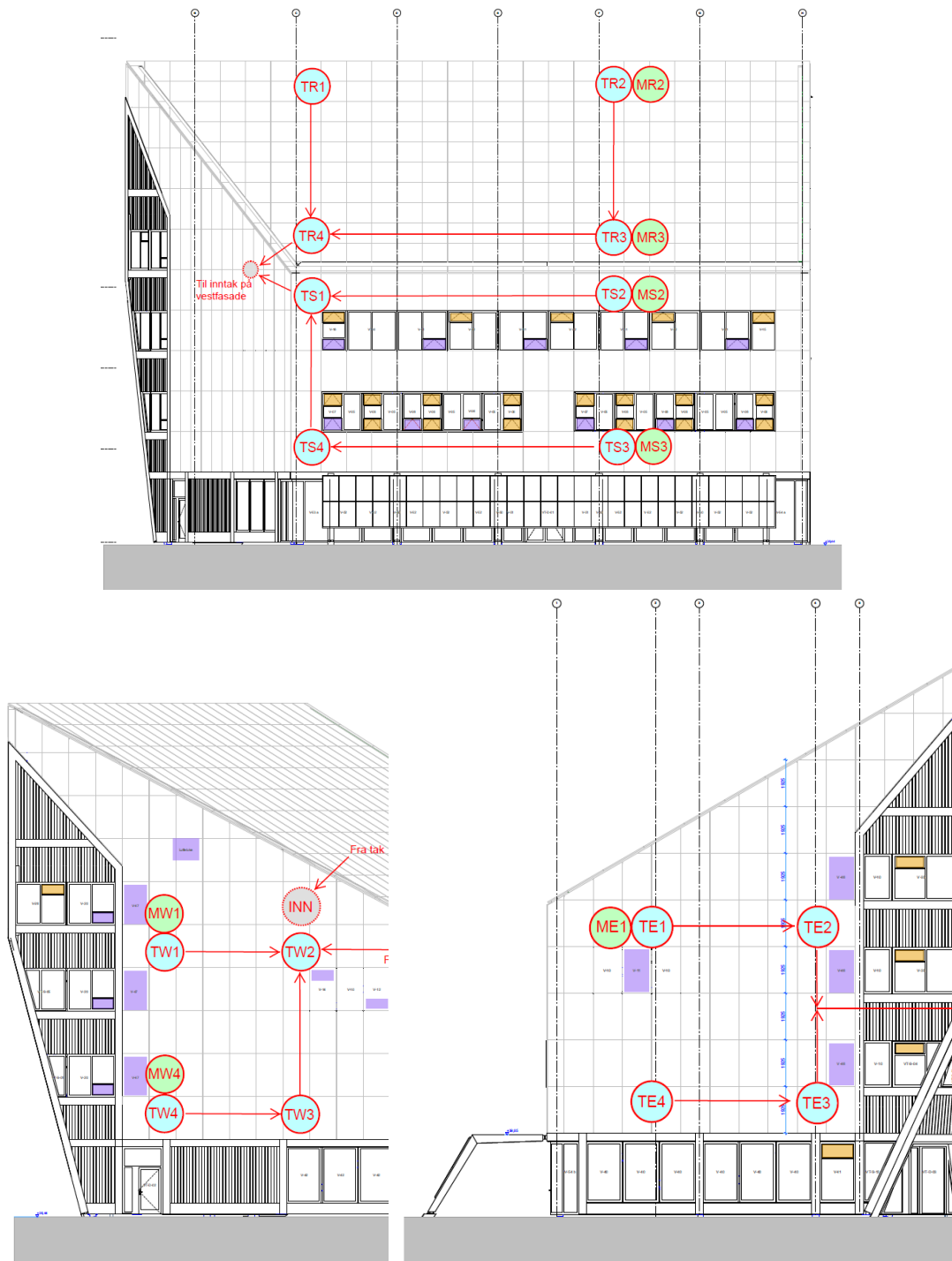
#### Instrumentering

I ZEB-laboratoriet er luftespaltene bak kledning og tekning instrumentert med termoelementer (temperatursensorer) og fuktsensorer for overvåking og analyse av mikroklima i luftespaltene. Til sammen 7 trefuktsensorer og 48 termoelementer er montert i luftespaltene bak BIPV-kledning og -tekning. En oversikt over sensorer er gitt i tabell 2, figur 18 og figur 19. Sensorer med samme nummer i taket eller fasade, for eksempel TR2 og MR2, er plassert på samme sted. De 48 termoelementene er fordelt på 16 plasseringer. Det er tre termoelementer i hver plassering, der ett termoelement er montert på vindspærre/undertak, ett midt i luftespalten og ett på baksiden av BIPV-kledning eller -tekning. For eksempel: I TR1 er sensorene TR1-1 (undertak), TR1-2 (midt i luftespalte) og TR1-3 (bakside av BIPV) montert. De 7 trefuktsensorene er skrudd inn i trelekter som ligger mot vindsperra eller undertaket. I tillegg til sensorene i luftespaltene er taket på bygningen utstyrt med et kamera som blant annet kan overvåke avrenning og snøforhold på takets solcellepaneler, se figur 20.

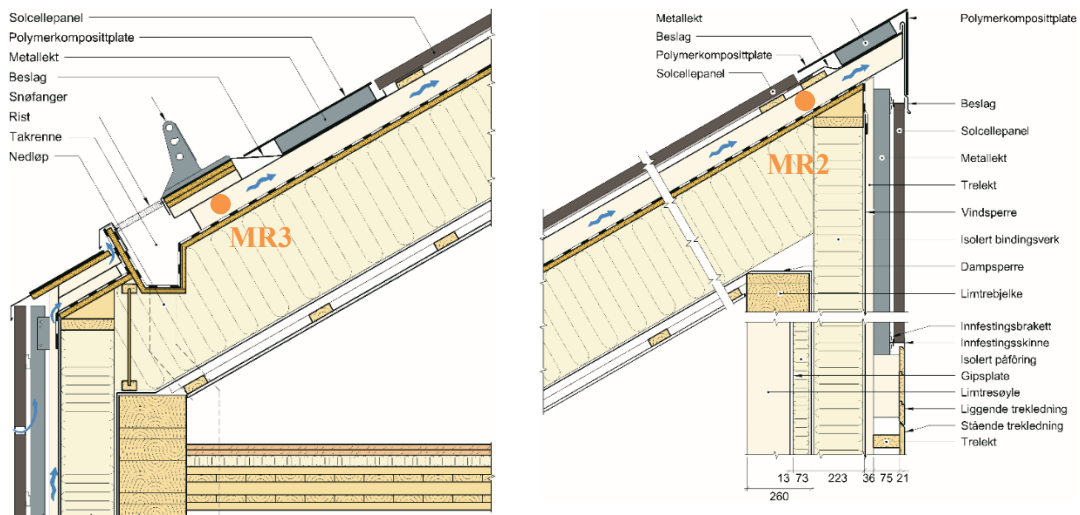
Tabell 2. Termoelementer og fuktsensorer i luftespaltene bak BIPV-tekning og -kledning på ZEB-laboratoriet. Sensorer med samme nummer i taket eller fasade er plassert på samme sted (for eksempel TR2 og MR2). T = termoelement, M = fuktsensor (moisture), R = tak (roof), S = sørfasade, W = vestfasade, E = østfasade.

Bygningsdel	Termoelementer <sup>1)</sup>	Fuktsensorer
Tak	TR1, TR2, TR3, TR4	MR2, MR3
Fasade sør	TS1, TS2, TS3, TS4	MS2, MS3
Fasade vest	TW1, TW2, TW3, TW4	MW1, MW4
Fasade øst	TE1, TE2, TE3, TE4	ME1

<sup>1)</sup> Gir oversikt over de 16 plasseringene med termoelementer. Tre sensorer er montert i hver plassering. Eksempel: I TR1 er sensorene TR1-1 (undertak), TR1-2 (midt i luftespalte) og TR1-3 (bakside av BIPV) montert.



Figur 18. Oversikt over plassering av termoelementer og fuktsensorer bak BIPV på ZEB-laboratoriet. T = termoelement, M = fuktsensor (moisture), R = tak (roof), S = sørfasade, W = vestfasade, E = østfasade



Figur 19. Plassering av fuktsensorer i luftespalten under BIPV-tekingen på ZEB-laboratoriet. Termo-elementer med tilsvarende nummerering (TR3 og TR2) er plassert på samme sted i taket.

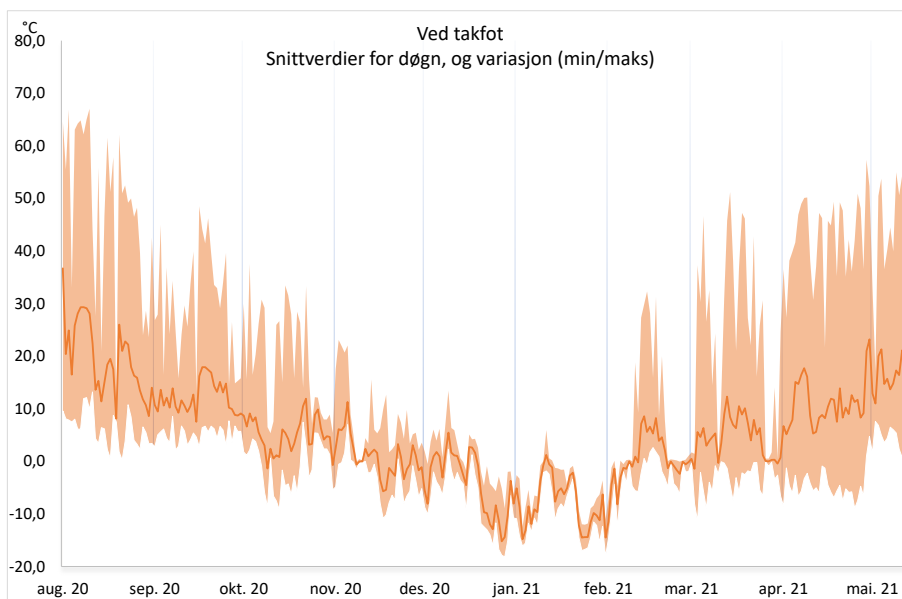


Figur 20. Et kamera på taket av ZEB-laboratoriet gjør det mulig å overvåke for eksempel avrenning og snøforhold på taket. Kameraet blir også brukt til å observere snøras fra taket.

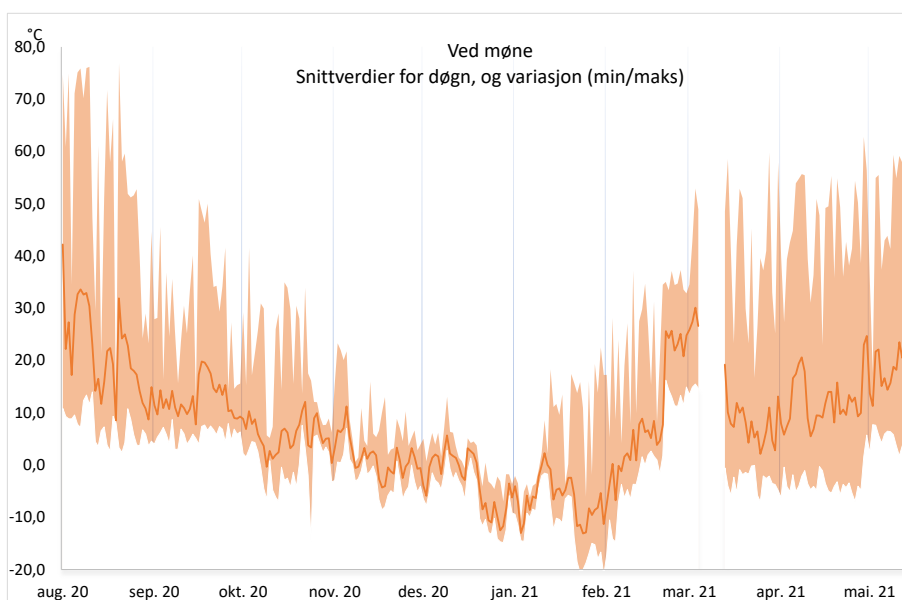
### Erfaringer fra feltmålingene

Temperaturer og trefuktighet måles kontinuerlig i luftespaltene på ZEB-laboratoriet. Figur 21 og figur 22 viser eksempler på variasjon i temperaturer i luftespalten under BIPV på taket. Figur 21 viser temperaturmålinger fra sensorer på baksiden av BIPV-panel ved takfot og møne. Grafene inkluderer gjennomsnittstemperatur per dag og variasjonsområde mellom målte minimums- og maksimumstemperaturer. I perioden august 2020–mai 2021 (figur 21) er temperaturer opp til ca. 75 °C målt på undersiden av BIPV-panel ved takets møne og opp til ca. 65 °C målt på undersiden av BIPV-panel ved takets raft. Målingene i figur 22 viser at det i en tilfeldig måned (april 2021) har vært 25–30 °C høyere temperatur og opp mot 10 °C lavere temperatur på baksiden av BIPV-panelene enn på undertaket. Snødekke på taket kan påvirke temperaturen på BIPV-panelene. Som vist i innfelt sirkel i figur 22 (c) ble det på dagtid i en periode målt vesentlig lavere temperatur ved takfot (TR3) enn ved raft (TR1 og TR2). Om natten var temperaturen lik eller høyere ved takfot enn ved møne. I denne perioden lå det mye snø ved snøfanger ved takfot, mens BIPV-panelene ved mønet var snøfrie. Se foto i figur 23.



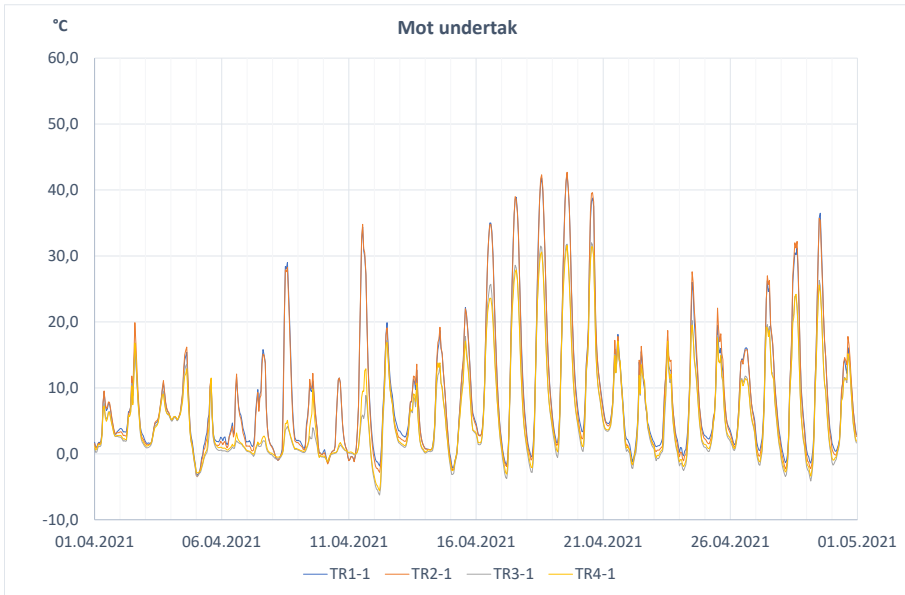


(a)

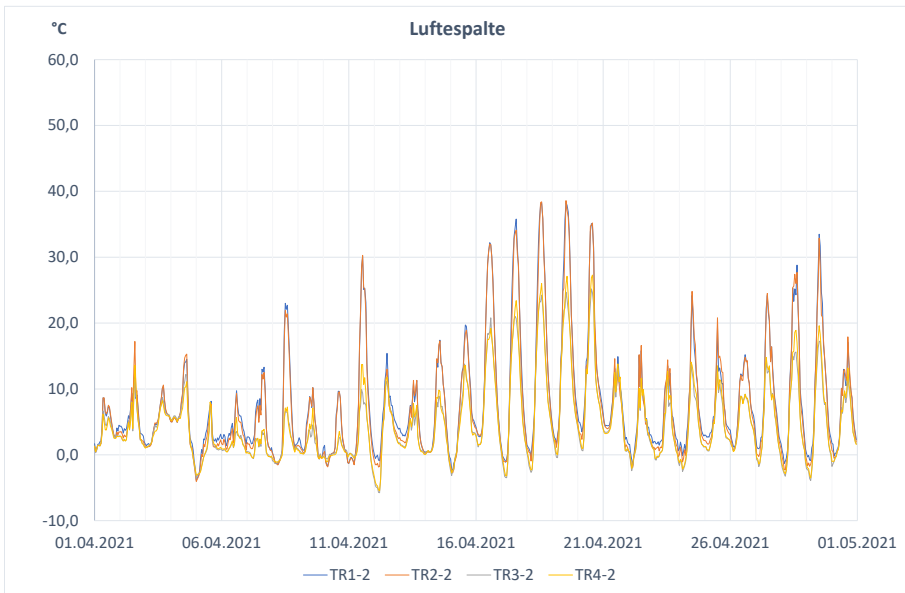


(b)

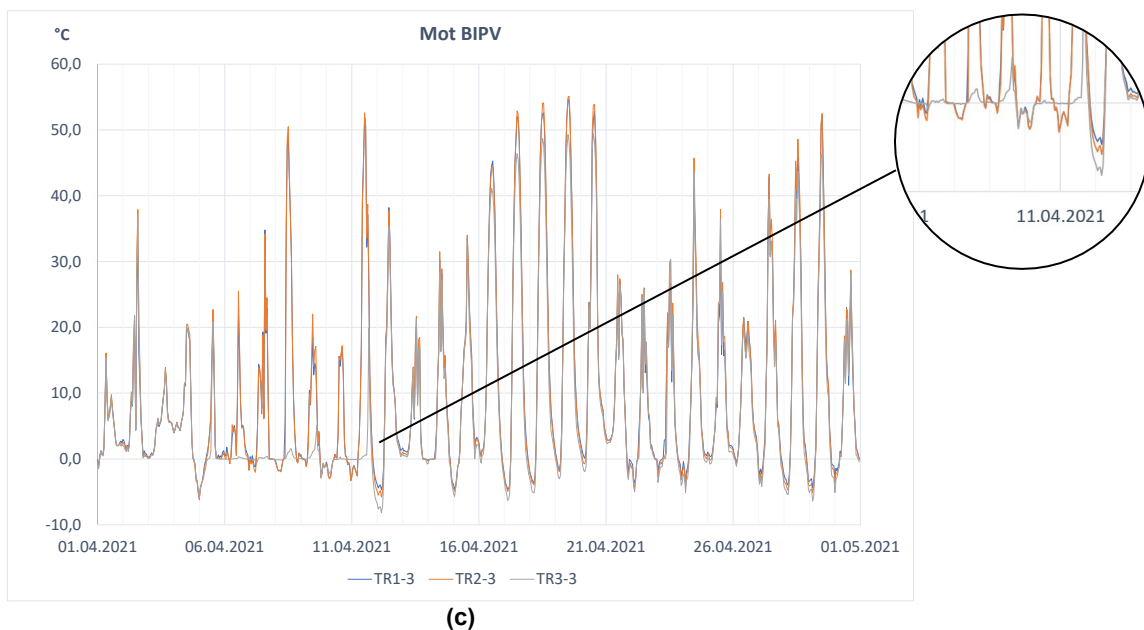
Figur 21. Temperaturer målt på undersiden av BIPV-panel på taket til ZEB-laboratoriet i perioden august 2020–mai 2021. Sensorer er plassert ved takfot **(a)** og ved mønet **(b)**. Grafen viser gjennomsnittstemperatur per dag og variasjonsområde mellom målt minimums- og maksimumstemperatur.



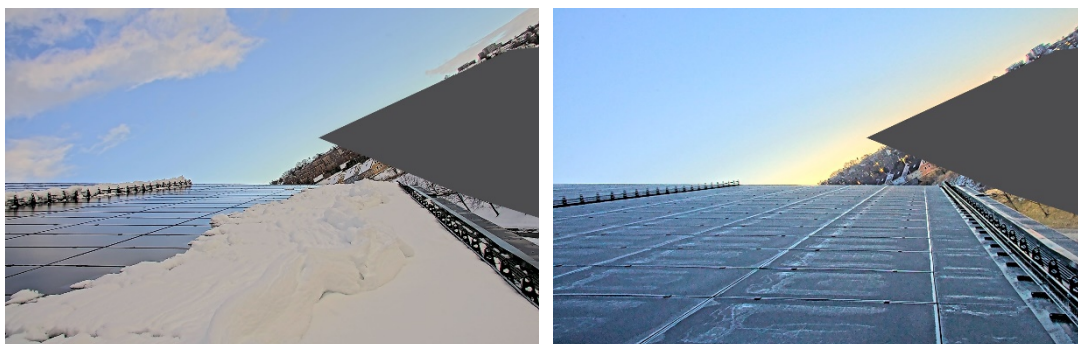
**(a)**



**(b)**



Figur 22. Temperaturer målt i luftespalten under BIPV på taket til ZEB-laboratoriet i april 2021. Sensorer er plassert **(a)** mot undertaket (TR\*-1), **(b)** midt i luftespalten (TR\*-2) og **(c)** på undersiden av BIPV (TR\*-3). TR1 og TR2 er plasseringer ved mønet. TR3 og TR4 er plasseringer ved takfot.



Figur 23. Snødekke på taket påvirker temperaturene på BIPV-panelene. Bildet til høyre er tatt 10. april 2021. Bildet til venstre er tatt 17. april 2021.

## 6 Konklusjoner og videre arbeid

Dette prosjektet har hatt som hovedmål å kartlegge kunnskapsnivå og kunnskapsbehov ved bygging med integrerte solceller, og avdekke erfaringer med slike byggeprosjekter i den norske byggenæringen. Det har blitt gjort gjennom en litteraturstudie og en serie med intervjuer av aktører i byggenæringen som har erfaring med bygging med BIPV. I tillegg har vi i prosjektet dokumentert løsninger for integrasjon av solceller på tak og fasader i ZEB-laboratoriet i Trondheim. Løsningene som er brukt på ZEB-laboratoriet, er vist gjennom detaljtegninger, måledata og fotografier.

Litteraturen avdekker flere barrierer som begrenser bruken av BIPV og avdekker kunnskapsbehov på flere områder. Det er generelt lite kunnskap om bygningsfysiske utfordringer. Dette kom også tydelig fram gjennom intervjuer med aktører i byggenæringen i Norge. Bygging med BIPV er umodent, løsninger og prosess er lite standardisert, og det er tydelige kunnskaps-hull og mangler knyttet til både prosjektering og prosess. Prosessen involverer mange aktører, det er uklare grensesnitt mellom ulike fag, og det er utfordringer knyttet til at BIPV både er en el-/energileveranse og en byggteknisk leveranse. Det er behov for klare råd hva angår ansvarsfordeling i prosjekter der man bruker BIPV. Leverandørene erfarer imidlertid at det er mange forespørsler i markedet og sterke ønsker om utvikling/innovasjon. Erfaringsinnhentingene ga inntrykk av generell positivitet til bygging med BIPV, men at både lønnsomhet, bedre kunnskap i næringen, bedre og dokumenterte produkter og mer samordnede og gode prosesser i anskaffelsen vil gjøre det enda mer aktuelt. Flere byggtekniske og forvaltningsmessige utfordringer ble nevnt i intervjuene som punkter det er behov for mer kunnskap om. Flere av disse nevnes også i litteraturen:

- vedlikehold, utskifting og drift av paneler
- risiko for at paneler faller ned
- ferdsel på paneler
- sikkerhetsaspekter (eks. fukt, brann og elteknikk)
- atkomst og slukking ved en brannsituasjon
- BIPV og lave takvinkler
- PV-formater er ikke tilpasset norske byggformater
- håndverkere har liten erfaring med og kompetanse på solceller
- leverandører og installatører har ikke byggkompetanse
- manglende anvisninger for løsninger for nye og eksisterende bygg

Rapporten samler erfaringer og gir en status om bruk av BIPV i Norge. Den kan danne grunnlag for videre forskning og være et underlag for framtidig utarbeidelse av anbefalinger for bygging med BIPV.

## 7 Referanser

- [1] R.A. Agathokleous og S.A. Kalogirou, "Status, barriers and perspectives of building integrated photovoltaic systems". *Energy*, **191**, 2020, pp. 116471
- [2] M.A. Alim mfl., "Is it time to embrace building integrated Photovoltaics? A review with particular focus on Australia". *Solar Energy*, **188**, 2019, pp. 1118–1133
- [3] D.E. Attoye, K.A.T Aoul, og A. Hassan, "A review on building integrated photovoltaic façade customization potentials". *Sustainability*, **9**(12), 2017, pp. 2287
- [4] F. Azadian, og M.A.M. Radzi, "A general approach toward building integrated photovoltaic systems and its implementation barriers: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **22**, pp. 2013, 527–538
- [5] H.C. Curtius, "The adoption of building-integrated photovoltaics: barriers and facilitators". *Renewable Energy*, **126**, 2018, pp. 783–790
- [6] K.C. Goh mfl., "Barriers and Drivers of Malaysian BIPV Application: Perspective of Developers". *Procedia Engineering*, **180**, 2017, pp. 1585–1595
- [7] P. Heinsteins, C. Ballif, og L.E. Perret-Aebi, "Building integrated photovoltaics (BIPV): Review, potentials, barriers and myths". *Green*, **3**(2), 2013, pp. 125–156
- [8] Y. Lu mfl., "The implementation of building-integrated photovoltaics in Singapore: drivers versus barriers". *Energy*, **168**, 2019, pp. 400–408
- [9] A. Prieto mfl., "Solar façades – Main barriers for widespread façade integration of solar technologies". *Journal of Facade Design and Engineering*, **5**(1), 2017, pp. 51–62
- [10] A.K. Shukla mfl., "Solar PV and BIPV system: Barrier, challenges and policy recommendation in India". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**, 2018, pp. 3314–3322
- [11] R.J. Yang, "Overcoming technical barriers and risks in the application of building integrated photovoltaics (BIPV): Hardware and software strategies". *Automation in Construction*, **51**, 2015, pp. 92–102
- [12] R.J. Yang og P.X.W. Zou, "Building integrated photovoltaics (BIPV): Costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy". *International Journal of Construction Management*, **16**(1), 2016, pp. 39–53
- [13] L. Gullbrekken, T. Kvannd og B. Time, "Roof-integrated PV in Nordic climate - Building physical challenges", in *6th International Building Physics Conf*, 2015, pp. 1962–1967.
- [14] B. Thodesen mfl., "Adapting green-blue roofs to Nordic climate". *Nordic Journal of Architectural Research*, **2**, 2018, pp. 99–126
- [15] M. Mattei mfl., "Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance". *Renewable Energy*, **31**(4), 2006, pp. 553–567
- [16] B. Norton mfl., "Enhancing the performance of building integrated photovoltaics". *Solar Energy*, **85**(8), 2011, pp. 1629–1664
- [17] A.K. Shukla, K. Sudhakar, og P. Baredar, "A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system". *Energy and Buildings*, **128**, 2016, pp. 99–110
- [18] *Isolerte skrå tretak med lufting mellom vindsperre og undertak*, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge, 2007
- [19] *Isolerte skrå tretak med kombinert undertak og vindsperre*, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge, 2012
- [20] M.J. Wilson, og M.C. Paul, "Effect of mounting geometry on convection occurring under a photovoltaic panel and the corresponding efficiency using CFD". *Solar Energy*, **85**(10), 2011, pp. 2540–2550
- [21] M. Sandberg og B. Moshfegh, "Ventilated-solar roof air flow and heat transfer investigation". *Renewable Energy*, **15**(1-4), 1998, pp. 287–292

- [22] T. Bunnag mfl., "Experimental investigation of free convection in an open-ended inclined rectangular channel heated from the top". *International Journal of Ambient Energy*, **25**(3), 2004, pp. 151–162
- [23] C. Misiowiecki, A. Gustavsen, og B. Time, "Cooling of PV panels by natural convection", ZEB Project Report 6. SINTEF Academic Press, Trondheim, Norge, 2012
- [24] C. Breivik mfl., "Large-scale experimental wind-driven rain exposure investigations of building integrated photovoltaics". *Solar Energy*, **90**, 2013, pp. 179–187
- [25] E. Andenæs, "Wind-driven Rain Exposure and Assessment of Building Integrated Photovoltaic Systems". Masteroppgave, NTNU. Trondheim, Norge, 2016
- [26] K.S. Johansen, "Internal Rain Gutter for BIPV Dimensioning the Internal Rain Gutter for ZEB Laboratory's BIPV Roof". Masteroppgave, NTNU. Trondheim, Norge, 2019
- [27] K.S. Johansen og A.E. Stagrum, "Takrenne for BIPV-tak", *Byggeindustrien*, **10**, 2019
- [28] B.P. Jelle, "The challenge of removing snow downfall on photovoltaic solar cell roofs in order to maximize solar energy efficiency—Research opportunities for the future". *Energy and Buildings*, **67**, 2013, pp. 334–351
- [29] E. Andenæs mfl., "The Influence of Snow and Ice Coverage on the Energy Generation from Photovoltaic Solar Cells". *Solar Energy*, **159**, 2018, pp. 318–328
- [30] P.-O. Andersson, B.P. Jelle og Z. Zhang, "Passive Snow Repulsion: A State-of-the-art Review Illuminating Research Gaps and Possibilities". *Energy Procedia*, **132**, 2017, pp. 423–428
- [31] P.-O.A. Borrebæk, B.P. Jelle og Z. Zhang, "Avoiding snow and ice accretion on building integrated photovoltaics – challenges, strategies, and opportunities". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **206**, 2020, pp. 110306
- [32] B.P. Jelle mfl., "Avoiding Snow and Ice Formation on Exterior Solar Cell Surfaces – A Review of Research Pathways and Opportunities". *Procedia Engineering*, **145**, 2016, pp. 699–706
- [33] S.M. Fufa mfl., "A Norwegian ZEB Definition Guideline", ZEB Project Report 29. SINTEF Academic Press, Trondheim, Norge, 2016
- [34] T. Kvande, B. Time og R. Tällberg, "Å bygge med egen solstrøm". *Byggeindustrien*, **3**, 2021





## Vedlegg: A Intervjuguide

Hva legger du i begrepet BIPV (byggningsintegreerte solceller)?
Har din bedrift vært med på prosjektering/installering av byggningsintegreerte solceller på tak/vegg/rekkverk?
Hvor hentet dere informasjon om integrasjon/integreringsmulighet for solcellene?
Hvordan ble anskaffelsen, prosjekteringen, byggeprosessen/-produksjon organisert?
Hvem bidro med/gjorde hva?
Hvordan ble arbeidet koordinert?
Hvilke (evt.) barrierer støtte/du dere på i anskaffelsen/arbeidet?
Hvilke viktige erfaringer gjorde dere?
Er det aktuelt å gjennomføre lignende prosjekt også i framtida?
Hvordan skaffet dere kunnskap/prosjekteringsgrunnlag/dokumentasjon for <ul style="list-style-type: none"><li>• Brannsikkerhet</li><li>• Statikk (last, innfesting m.m.)</li><li>• Bygningsfysikk (regntetthet, lufting av panelene, fuktforhold, skyggeproblematikk, avslutninger og beslagsløsninger, avrenning, renner og taknedløp, kabling og gjennomføringer..)</li><li>• Eventuelt nedfall av snø og is</li><li>• FDV-rutiner</li></ul>
Finnes det i dag kunnskapshull innenfor temaene ovenfor?
Hvordan gikk dere/andre fram under montering?
Hvilke utfordringer støtte dere på? Hvordan ble utfordringene løst?
Har dere tegninger/prosjekteringsmateriell dere kan dele med oss? (Vi vil ikke dele det videre)

# BRUK AV BYGNINGSINTEGRERTE SOLCELLER (BIPV) I NORGE KUNNSKAPSSTATUS

Denne rapporten kartlegger praksis, kunnskapsnivå og kunnskapsbehov hos aktører som jobber med anskaffelse, prosjektering og utførelse av bygninger med bygningsintegreerte solceller (BIPV) i Norge. I tillegg har vi samlet erfaringer med BIPV gjennom dokumentasjon av løsninger for integrering av solceller på tak og fasader i pilotprosjektet ZEB-laboratoriet i Trondheim.

Rapporten samler erfaringer og gir en status om bruk av BIPV i Norge. Den kan danne grunnlag for videre forskning og være et underlag for framtidig utarbeidelse av anbefalinger for bygging med BIPV.