



DEL 1: HOVEDRAPPORT

EBOB – Solcelleinstallasjoner på bygg

**Brannspredning og sikkerhet for
brannvesen**

RISE RAPPORT 2022:82

Ragni Fjellgaard Mikalsen

Janne Siren Fjærestad

Reidar Stølen

Ole Anders Holmvaag

EBOB – Solcelleinstallasjoner på bygg. Brannspredning og sikkerhet for brannvesen.

Ragni Fjellgaard Mikalsen, Janne Siren Fjærestad,
Reidar Stølen, Ole Anders Holmvaag

Abstract

EBOB - Solar cell installations on buildings. Fire spread and safety for fire services.

The aim of the project has been to answer the following four research questions:

1. How do wind speed and air gap size affect the fire development in the cavity between the solar cell module and the underlying roof structure, and how do these factors affect the extent of damage to the underlying roof structure?
2. How do solar cell modules affect a fire on a realistic, Norwegian, pitched roof?
3. What work is ongoing in Europe and internationally to developing test methods for fire technical documentation of photovoltaic modules, and how should this be implemented in Norway?
4. How should fire service personnel be secured in their work when the fire includes solar cell installation? In this research question, larger installations beyond residential houses and detached houses are also relevant, including larger buildings, flat roofs and BIPV.

To answer research questions 1 and 2, a total of 29 experiments were performed with fire spread in the cavity behind solar cell modules on pitched roof surfaces. The experiments were performed at RISE Fire Research's laboratory in Trondheim in 2021. This main report (RISE report 2022:82) summarizes the entire project, and additional details from the experiments performed are given in a separate technical report (RISE report 2022:83).

The main findings from the experiments are that solar cell modules mounted parallel to the roof surface on pitched roofs can affect the fire dynamics of a fire on the roof surface. It was found that both the length of the damaged area on the roof and the temperature rise inwards in the roof (below the chipboard) increased when the distance between the simulated solar cell module and the roof surface decreased. Furthermore, the findings indicate that there is a relation between the size of the gap between the roof surface and the solar cell module, and how large initial fire is needed for the fire to spread. A larger distance between the roof surface and the solar module requires a larger initial fire for the fire to spread. The temperature increase inwards in the roof structure was not large enough in the experiments performed to pose a danger of immediate fire spreading inwards in the structure.

Work is ongoing internationally on the development of test methods for fire technical documentation of solar cell modules. This work has so far not resulted in new standards or procedures that can be implemented in Norway.

Information has been found from various guidelines and reports on what equipment and expertise the fire service needs to secure their efforts. It is important that the fire service has sufficient knowledge about the working principle of a solar cell installation, so that they understand that parts of the installation can conduct electricity, even if the switch-off switch is activated. The fire service must also be given training in how to handle a fire in a building with a solar cell installation, as well as what protective equipment and tools are needed. The answers from the various fire services to a questionnaire show that solar cell installations rarely are

included in the risk and vulnerability analyses (ROS analyses). As a consequence, they do not currently have good enough training and knowledge about handling fires in buildings with solar cell installations.

The questionnaire also shows that it seems somewhat unclear to the fire service what responsibility they have in the event of a fire in solar cell installations. This should be clarified, and in cases where solar cell installations pose an increased risk, the fire service must be provided with resources so that they have the right equipment, the right competence, and the right staff to handle such fires.

Key words: BAPV, PV, PV module, PV installation, PV panel, PV system, Photovoltaics

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2022:82

ISBN: 978-91-89711-22-8

Prosjektnummer: 20569-4

Kvalitetssikring: Anne Steen-Hansen (RISE)

Finansiert av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK)

Forsidebilde: Bildet er tatt av Ulrike Leone fra Pixabay
Trondheim 2022

Innhold

Abstract	2
Innhold	4
Forord	6
Sammendrag	7
1 Introduksjon	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Målsetting og forskningsspørsmål	12
1.3 Avgrensninger	12
1.4 Metodebeskrivelse	13
1.5 Finansiering	13
1.6 Ethiske vurderinger	14
1.7 Ordliste	14
2 Regelverk	15
2.1 Byggesaksbehandling	15
2.2 Byggtekniske krav og krav til byggevarer	16
2.3 NEK 400-7-712	16
3 Pågående arbeid internasjonalt relevant for standardisering og dokumentasjon	17
3.1 Oppdatering fra IEA Task 15	17
3.2 Oppdatering fra CEN/TC 127	18
3.3 Annet pågående arbeid internasjonalt relevant for standardisering og dokumentasjon	20
3.4 Implementering i Norge	20
4 Resultat fra brannforsøk	20
4.1 Småskala forsøk	21
4.1.1 Forsøksoppsett	21
4.1.2 Resultat	22
4.2 Mellomskala forsøk	23
4.2.1 Forsøksoppsett	23
4.2.2 Resultat	24
4.3 Storskala forsøk	25
4.3.1 Forsøksoppsett	25
4.3.2 Resultat	26
5 Brannvesenet	28
5.1 Resultater fra spørreundersøkelse til brannvesener	28
5.2 Fare forbundet med skade på solcelleinstallasjon	31
5.3 Nødvendig utstyr og kompetanse hos brannvesenet	31
5.4 Tilgjengelig rømningstid	33

5.5	Seksjonering	34
5.6	Prosjektering av solcelleinstallasjoner	34
6	Konklusjoner	35
7	Referanser	37
	Vedlegg A: Spørreundersøkelse til norske brannvesen	39

Forord

RISE Fire Research har de siste årene gjennomført flere studier på brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner, som en del av en prosjektserie om energieffektive bygg og brannsikkerhet (EBOB).

Dette prosjektet er finansiert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), og er utført som en del av prosjektporteføljen under forskningsavtalen mellom DSB og RISE Fire Research. Prosjektet har også mottatt finansiering fra prosjekt 4-4 i Fire Research and Innovation Centre (FRIC). FRIC er finansiert av alle partnerne samt Norges Forskningsråd (program BRANNSIKKERHET, prosjektnummer 294649).

Vi vil gjerne takke representanter fra solcellebransjen, brannvesen, myndigheter og forskningsinstitutt som har bidratt med viktige innspill til prosjektet. En særlig takk til Peter Kovacs i RISE Samhallsbyggnad og prof. Grunde Jomaas og PhD-kandidat Jens Kristensen ved University of Edinburgh for god dialog og samarbeid underveis i prosjektet. Takk til Vidar Stenstad for bidrag og innspill i slutføringen av prosjektet.

Takk til masterstudentene Tobias Rød og Joacim Skogseide som har vært tilknyttet prosjektet fra Høgskulen på Vestlandet, fakultet for ingeniør- og naturvitenskap, institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag, master of science i brannsikkerhet.

Denne studien består av to deler. Denne hovedrapporten (RISE rapport 2022:82) oppsummerer hele studien, og utfyllende detaljer fra småskala til storskala eksperimenter som er utført er gitt i en egen teknisk rapport (RISE rapport 2022:83).

Ragni Fjellgaard Mikalsen, prosjektleder

Trondheim, juni 2022

Sammendrag

Dette prosjektet er utført på oppdrag fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) som en del av forskningsavtalen mellom DSB og RISE.

Målsetningen med prosjektet har vært å belyse de fire følgende forskningsspørsmålene:

1. Hvordan påvirker vindhastighet og luftspaltestørrelser brannutviklingen i hulrommet mellom solcellemodul og underliggende takkonstruksjon, og hvordan påvirker disse faktorene skadeomfanget på underliggende takkonstruksjon?
2. Hvordan påvirker solcellemoduler brann på et realistisk, norsk, skråstilt hustak?
3. Hva foregår i Europa og internasjonalt med tanke på utvikling av testmetoder for brannteknisk dokumentasjon av solcellemoduler, og hvordan bør dette implementeres i Norge?
4. Hvordan trygge innsats til brannvesen ved en brann som inkluderer solcelleinstallasjon?

For å besvare forskningsspørsmål 1 og 2 er det utført i alt 29 forsøk med brannspredning i hulrommet bak solcellemoduler på skrå takflater ved RISE Fire Research sitt laboratorium. Denne hovedrapporten (RISE rapport 2022:82) oppsummerer hele prosjektet, og utfyllende detaljer fra forsøkene som er utført er gitt i en egen teknisk rapport (RISE rapport 2022:83).

Hovedfunnene fra forsøkene er at solcellemoduler montert parallelt med takoverflata på skråtak kan påvirke brannodynamikken i en brann på takoverflata. Det ble funnet at både lengden på det skadede området på taket og temperaturstigningen innover i taket (under sponplata) økte når avstanden mellom den simulerte solcellemodulen og takoverflata avtok. Videre tyder funnene på at det er en sammenheng mellom hvor stor avstand det er mellom takoverflata og solcellemodulen, og hvor stor brann det trengs for at brannen skal spre seg. En større avstand mellom takoverflata og solcellemodulen krever større startbrann for at brannen skal spre seg. Temperaturøkningen innover i takkonstruksjonen var i de utførte forsøkene ikke stor nok til at det var fare for umiddelbar brannspredning innover i konstruksjonen.

Det pågår arbeid internasjonalt på utvikling av testmetoder for brannteknisk dokumentasjon av solcellemoduler. Dette arbeidet har foreløpig ikke resultert i nye standarder eller prosedyrer som kan implementeres i Norge.

Fra ulike veiledere og rapporter er det funnet informasjon om hva som er nødvendig både av utstyr og kompetanse for å trygge brannvesenets innsats. Det er viktig at brannvesen har tilstrekkelig kunnskap om virkemåten til en solcelleinstallasjon, slik at de har forståelse for farene for at deler av installasjonen kan lede strøm, selv om utkoblingsbryteren er aktivert. Brannvesen må også gis opplæring i hvordan de praktisk skal håndtere en brann i et bygg med solcelleinstallasjon, samt hva som er nødvendig verneutstyr og verktøy. Svarene fra de ulike brannvesenene på en utsendt spørreundersøkelse viser at de i liten grad inkluderer solcelleinstallasjoner i sine ROS-analyser og som følge av dette har de i dag ikke god nok opplæring og kunnskap om håndtering av branner i bygninger med solcelleinstallasjoner.

Spørreundersøkelsen viser også at det virker noe uklart for brannvesenene hvilket ansvar de har ved brann i solcelleinstallasjoner. Dette bør avklares, og i de tilfellene hvor solcelleinstallasjon

utgjør en forhøyet risiko må brannvesenet tilføres ressurser slik at de har riktig utstyr, riktig kompetanse og riktig bemanning for å håndtere slike branner.

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Denne studien er en fortsettelse av de tidligere studiene på temaet, *Solcelleteknologi og brannsikkerhet* fra 2018 [1] og *Energieffektive bygg og brannsikkerhet* fra 2019 [2], kortform «EBOB». Her ble det funnet at det var et behov for eksperimentelle studier av brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner, både i liten, medium og stor skala. I tillegg til eksperimentelle studier, vil det også bli sett nærmere på trygging av brannvesenets innsats, samt hva som pågår internasjonalt som kan ha betydning for byggeregler og standardiseringsarbeid på temaet i Norge.

Denne studien har fokus på utenpåmonterte solcelleinstallasjoner på bygg («building attached photovoltaics», BAPV), men begrenset til bolighus/småhus med skråstilte tak. Bakgrunnen for dette fokuset er beskrevet nedenfor.

Risiko inkluderer sannsynlighet og konsekvens. Det ble gjennomført en liten, indikativ studie i 2013 [3] som antyder at konsekvensene knyttet til materielle skader per hendelse kan være større for bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner («building integrated photovoltaics», BIPV) sammenlignet med utenpåmonterte solcelleinstallasjoner («building attached photovoltaics», BAPV). Utover dette er det ikke funnet relevante studier, erfaringer eller statistikk.

For potensielle konsekvenser for personer, kan det antas at fasadebranner kan ha større innvirkning enn takbranner, siden fasadebranner kan spre seg inn i bygget raskere eller i større grad enn takbranner. Dette taler for et fokus på BIPV og fasadebranner.

Det er likevel to faktorer som taler imot å fokusere på BIPV og fasadebranner spesielt i denne studien. BIPV er langt mindre utbredt enn BAPV i Norge i dag [4], og det pågår allerede omfattende arbeid (nasjonalt og internasjonalt) på fasadebranner, som kan ha betydning for solcelleinstallasjoner på fasader. Det foregår ikke tilsvarende arbeid som omhandler takbranner, særlig ikke takbranner tilknyttet solcelleinstallasjoner.

Vi antar dessuten at den akkumulerte sannsynligheten for en hendelse, samt den samlede potensielle konsekvensen, vil være størst for den typen solcelleinstallasjoner som er mest utbredt til enhver tid. Dette gjelder både risiko for personer (innbyggere og brannvesen) og materielle skader. Ut fra disse vurderingene har vi i denne studien fokusert på utenpåmonterte solcelleinstallasjoner på skråstilte tak.

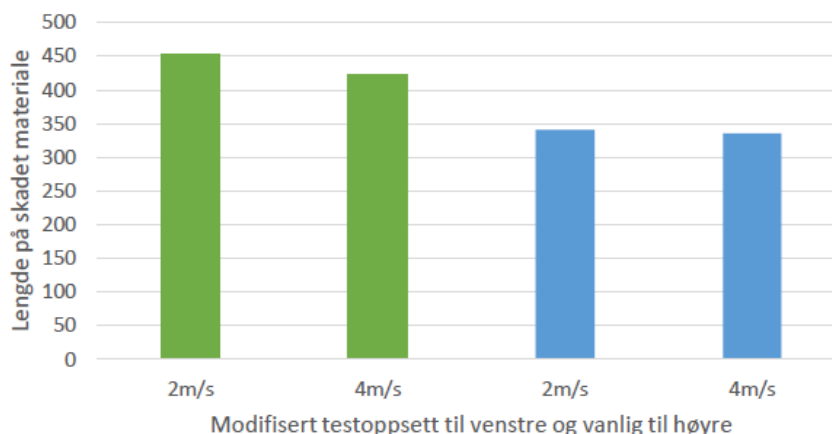
Utover forskningsstudiene som er presentert i de tidligere RISE-rapportene [1,2], har det de siste årene vært utført forskning av en forskningsgruppe ved University of Edinburgh, som har hatt fokus på brannsikkerhet ved utenpåmonterte solcelleinstallasjoner på flate industritak. Resultater fra disse studiene [5–7] gir god informasjon om brannodynamikken i hulrommet mellom solcellemodul og underliggende konstruksjon, og viser at både hastighet for brannspredning, og varmestråling mot takoverflata er faktorer som påvirkes. Ut fra at det allerede er gjort omfattende studier av BAPV på flate industritak, fokuserer vår studie på

takbranner på bolighus og småhus. I Norge har majoriteten av bolighus og småhus skråstilte tak, typisk mellom 30° og 40° for boliger med innredede loftsrom [8].

Et av få eksperimentelle forskningsarbeider på kombinasjonen av solcelleinstallasjoner og skråstilte tak som er gjort, er en masteroppgave fra NTNU fra 2016 [9]. Testoppsett fra testmetode 2 i *CEN/TS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs* [10] (Figur 1-1) ble brukt til en indikativ undersøkelse av skadeomfang med og uten solcellemodul på et tak. Underliggende materialer bestod av takbelegg med mineralull under. I testene ble det ikke brukt en ekte solcellemodul, men en imitasjon. Testomfanget var svært begrenset, og resultatene var derfor kun indikative, men tydet på at solcellemoduler kan øke skadeomfanget på underliggende takkonstruksjon (Figur 1-2).



Figur 1-1 Testoppsett, testgjennomføring og skadeomfang etter test, fra masteroppgave av Smeplass [9].



Figur 1-2 Testdata som viser lengde på skade på taktekking og underliggende materiale for testoppsett med en imitert solcellemodul (venstre/grønn), vs. oppsett uten imitert solcellemodul (høyre/blå). Hentet fra masteroppgave av Smeplass [9].

Disse interessante, indikative testresultatene ligger til grunn for utvelgelsen av forskningsspørsmål for småskala forsøk i vår studie (se avsnitt 0), for derved å kunne bidra til ny kunnskap som er relevant for norske forhold.

Det er også gjennomført en serie med forsøk av Backstrom et.al. ved UL i USA, som også viser at solcellemoduler montert over takbelegg påvirker brannspredningen på takoverflata. Disse

forskene er basert på amerikanske testmetoder og materialer, men baserer seg likevel på tilsvarende geometri for solcelleinstallasjonen som vi bruker i våre mellom- og storskalaforsk [11–13].

1.2 Målsetting og forskningsspørsmål

Målsettingen i prosjektet har vært å belyse fire forskningsspørsmål som beskrevet nedenfor.

Forskningsspørsmål 1:

Hvordan påvirker vindhastighet og luftspaltestørrelser brannutviklingen i hulrommet mellom solcellemodul og underliggende takkonstruksjon, og hvordan påvirker disse faktorene skadeomfanget på underliggende takkonstruksjon?

- **Delspørsmål 1-1:** Fins det en kritisk nedre grense for luftspaltestørrelse og en kritisk øvre grense for vindhastighet, hvor skadeomfanget blir uproporsjonalt større?

Forskningsspørsmål 2:

Hvordan påvirker solcellemoduler brann på et realistisk, norsk, skråstilt hustak?

- **Delspørsmål 2-1:** Blir brannspredningen langs taket raskere og vil brannen ha høyere temperaturer enn uten solcellemoduler?
- **Delspørsmål 2-2:** Blir brannpåkjenningen på taket og underliggende konstruksjon verre enn uten solcellemoduler?

Forskningsspørsmål 3:

Hva foregår i Europa og internasjonalt med tanke på utvikling av testmetoder for brannteknisk dokumentasjon av solcellemoduler, og hvordan bør dette implementeres i Norge?

Forskningsspørsmål 4:

Hvordan trygge innsats til brannvesen ved en brann som inkluderer solcelleinstallasjon? I dette forskningsspørsmålet er også større installasjoner utover bolighus og småhus relevante, herunder større bygg, flate tak og BIPV.

- **Delspørsmål 4-1:** Bidrar solcellemoduler til en hurtigere brannutvikling eller en brann som truer konstruksjonens integritet på en måte som gjør at *tilgjengelig rømningstid*¹ blir påvirket?
- **Delspørsmål 4-2:** Er det mulig å gi en anbefalt størrelse på seksjonering av solcelleinstallasjoner på tak for å lette (og trygge) innsatsen fra brann- og redningsvesenet, og er anbefalingene fra NEK 400 gode nok?
- **Delspørsmål 4-3:** Hvordan ivaretar prosjektering av solcelleinstallasjoner innsats til brann- og redningsvesenet?
- **Delspørsmål 4-4:** Hva slags utstyr og kompetanse må brann- og redningsvesenet ha som et minimum for å håndtere brann i eller ved utepåmonterte solcelleinstallasjoner? Relevante stikkord: spenning, bryter, verktøy, bekledning, angrepsmåte, vann, nedfall etc.
- **Delspørsmål 4-5:** Kan skade på solcelleinstallasjon (endret geometri, strømføring eller annet) ifm. vedlikehold, snørydding etc. påvirke brannvesenets innsats?

1.3 Avgrensninger

Som beskrevet i avsnitt 1.1 har fokus i det eksperimentelle arbeidet i denne studien vært på utepåmonterte solcelleinstallasjoner på bygg (BAPV), på norske bolighus og småhus med skråstilte tak. Fokus er altså *ikke* på bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner på bygg (BIPV),

¹ Tilgjengelig rømningstid: *Tid fra brannstart til ett eller flere kritiske forhold inntreffer*. Kilde: <http://kbt.no> [14]

eller på solcelleinstallasjoner som er montert andre steder enn på bygg, ei heller på flate tak (f.eks. industritak) eller vertikal montering på fasader. De delene av rapporten som omhandler brannvesenets innsats spenner likevel over alle typer solcelleinstallasjoner på alle typer bygg.

1.4 Metodebeskrivelse

Forskningsspørsmål 1 og 2:

For å besvare forskningsspørsmål 1 og 2 er det utført en serie forsøk med brannspredning i hulrommet bak solcellemoduler på skrå takflater. Detaljert metodebeskrivelse for disse forsøkene finnes i en egen teknisk rapport [15].

Forskningsspørsmål 3:

Dette forskningsspørsmålet handler om hva som foregår i Europa og internasjonalt med tanke på utvikling av testmetoder for brannteknisk dokumentasjon av solcellemoduler. Informasjon til å svare på dette er samlet gjennom e-post korrespondanse med forskere hos Istituto Giordano [16], deltakelse i møter i det internasjonale energibyrådet, IEA (International Energy Agency og dialog med medlemmer der i perioden 2020-2021. Det har også vært e-postkorrespondanse med leder for WG5 og TG «interaction of roof systems and above roof PV modules» i den europeiske standardiseringskommisjonen CEN (European Committee for Standardization) [17] og innspill fra andre i gruppa der, med hensyn på eksisterende åpne rapporter og dokumenter med info fra tester og annen informasjon som kan belyse temaet.

Forskningsspørsmål 4:

Dette forskningsspørsmålet handler om hvordan man kan trygge innsats til brannvesen ved en brann som inkluderer solcelleinstallasjon. Informasjon er her hentet gjennom dialog med en masterstudent ved HVL, gjennomgang av masteroppgaven, ulike tilgjengelige veiledere og generell litteraturgjennomgang. En spørreundersøkelse bestående av 8 spørsmål om utstyr, prosedyre og erfaring på temaet er også utarbeidet, se vedlegg A. Denne ble presentert for deltakere på Klima Østfold sitt webinar for brannvesen torsdag 14 oktober 2021, og deltakerne ble oppfordret til å besvare spørreundersøkelsen og til å sende den videre til aktuelle respondenter i brannvesen. I tillegg ble spørreundersøkelsen distribuert til 169 norske brannvesen, basert på kontaktinfo oversendt fra DSB. Det ble gitt to uker svarfrist. Det ble mottatt 68 besvarelser, hvorav to av brannvesenene hadde levert to svar hver. Små ulikheter i de to svarene fra disse to brannvesenene ble avklart i ettertid slik at det stod igjen 66 besvarelser. Dette tilsvarer en svarprosent på 38 %. I etterkant ble 10 av respondentene som hadde oppgitt e-postadresse kontaktet for oppfølgingsspørsmål rundt omfang av opplæring og prosedyrer.

1.5 Finansiering

Prosjektet er finansiert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Prosjektet har også mottatt finansiering fra prosjekt 4-4 i FRIC Fire Research and Innovation Centre. FRIC er finansiert av alle partnerne samt Norges Forskningsråd (program BRANNSIKKERHET, prosjektnummer 294649).

1.6 Etiske vurderinger

Ved arbeidet med denne rapporten er det gjennomført samtaler med forskjellige profesjonelle aktører, og det ble også sendt ut en spørreundersøkelse til disse. Når informasjon fra dette arbeidet gjengis, kan ikke respondentene identifiseres, utover hvilken organisasjon de tilhører.

1.7 Ordliste

En oversikt over begrep som er brukt i denne rapporten er gitt i Tabell 1-1.

Tabell 1-1 Begrep, definisjoner og forkortelser brukt i rapporten, med engelsk oversettelse.

Forkortelse/begrep	Engelsk	Norsk/Definisjon
BAPV	Building attached photovoltaics	Utenpåmontert solcelleinstallasjon
BIPV	Building integrated photovoltaics	Bygningsintegrert solcelleinstallasjon
CEN	European Committee for Standardization	
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization	
DiBK	Norwegian Building Authority	Direktoratet for byggkvalitet
DOK		Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk
DSB	Norwegian Directorate for Civil Protection	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
NEK		Norsk elektroteknisk komité
PV	Photovoltaics	Fotovoltaisk
SAK10		Byggesaksforskriften
Solcelleinstallasjon	PV installation	Montert utstyr til et solcellestrømforsyningsystem [18]. Brukes her om det komplette anlegget, inkludert solcellemodul og alt nødvendig tilleggsutstyr.
Solcellemodul	PV module	Minste komplette sammenstilling av sammenkoblede solceller som er beskyttet mot omgivelsene [18].
TEK		Byggteknisk forskrift
VTEK		Veiledning om tekniske krav til byggverk

2 Regelverk

Det er i de tidligere RISE rapportene redegjort for hvilket regelverk som gjelder for montering og bruk av solcelleinstallasjoner i Norge [1,2]. Informasjonsblad nr. 15 fra Takprodusentenes Forskningsgruppe omhandler bygningstekniske krav, råd, anbefalinger og løsninger for innfesting av eksternt monterte solanlegg på rettvendte kompakte flate tak [19].

Det blir i dette kapittelet utdypet hvordan montering av solcelleinstallasjoner på småhus omfattes av gjeldende regelverk.

2.1 Byggesaksbehandling

Solenergianlegg, som solcelle- og solfangeranlegg, er å anse som bygningstekniske installasjoner, og de er søknadspliktig etter plan- og bygningsloven § 20-1 bokstav f ved oppføring av nye byggverk [20]. For eksisterende byggverk er det imidlertid gjort unntak for søknadsplikt for installering og endring av enkle installasjoner innenfor én bruksenhet eller branncelle, jf. Byggesaksforskriften (SAK10) § 4-1 første ledd bokstav e nr. 4 [21]. Utgangspunktet for unntaket er altså selve installasjonen. Ved vurdering av om en installasjon er enkel legges det vekt på installasjonens omfang, vanskelighetsgrad, faglige kvalifikasjoner som kreves og konsekvenser av eventuelle feil. Solcelleinstallasjoner er i så måte regnet som enkle installasjoner, og er omfattet av unntaket. Eksempelvis vil derfor en solcelleinstallasjon på taket av en frittliggende enebolig i utgangspunktet være unntatt søknadsplikt. Dette gjelder også endring og reparasjon av en slik installasjon.

I noen tilfeller kan likevel en solcelleinstallasjon bli søknadspliktig, selv om den er begrenset til én bruksenhet eller branncelle. Forutsetningen for å benytte unntaket i SAK10 § 4-1 er at tiltaket (installasjonen) ikke er i strid med det som står i plan- og bygningsloven og tilhørende forskrifter, eller i strid med kommunale planer og bestemmelser. Kommunene kan ha bestemmelser om utforming av tak som er til hinder for solcelleinstallasjoner. Kommunen kan også ha bestemmelser om solcelleinstallasjoner. En slik installasjon kan derfor i noen tilfeller forutsette dispensasjon fra kommunale bestemmelser. Det er derfor viktig å avklare dette med kommunen.

Fasadeendringer er søknadspliktige, jf. plan- og bygningsloven § 20-1 bokstav c. Begrepet fasade omfatter også taket/takflaten. En vurdering av hvorvidt en solcelleinstallasjon på et skrått tak innebærer en fasadeendring som er søknadspliktig, vil innebære en viss grad av skjønn. Det skal vurderes om byggverkets "eksteriørmessige karakter" blir endret. Her vil bl.a. byggverkets beliggenhet, plassering og utforming ha betydning, sammen med størrelse og utforming av installasjonen.

For byggverk som er registrert som kulturminne (SEFRAK-registeret²) eller registrert til bevaring, er installasjonen søknadspliktig. En solcelleinstallasjon er også søknadspliktig dersom installasjonen vil få konsekvenser for bæreevnen til takkonstruksjonen.

Unntaket for søknadsplikt gjelder ikke dersom solcelleinstallasjonen omfatter eller påvirker mer enn én bruksenhet eller én branncelle. Hvorvidt dette er tilfelle, må vurderes i hvert enkelt

² <https://www.riksantikvaren.no/les-om/sefrak/>

tilfelle. En solcelleinstallasjon på taket av en flermannsbolig eller et rekkehus, kan derfor være søknadspliktig.

Dersom det er tvil om søknadsplikten gjelder, skal kommunen kontaktes.

2.2 Byggtekniske krav og krav til byggevarer

Kravene i byggteknisk forskrift (TEK17) [22] skal være oppfylt både for søknadspliktige og ikke- søknadspliktige tiltak.

TEK17 gir i hovedsak overordnede funksjonskrav til byggverk og installasjoner. Kravene sier derfor vanligvis ikke noe konkret om hvordan bygninger skal utformes eller utføres, men angir nødvendige funksjoner som skal være oppfylt, og hvordan oppfyllelsen skal dokumenteres.

Krav til tekniske installasjoner er gitt i TEK § 11-10. Første ledd sier at:

Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg.

Det er også andre deler av TEK17 som indirekte kan berøre solcelleinstallasjoner, for eksempel krav til tilrettelegging for rednings- og slökkemannskap (TEK17 § 11-17). Solcelleinstallasjoner på tak må monteres slik at brannpersonell om nødvendig kan bevege på taket seg uten unødig fare. Dersom det er tvil, må dette avklares med brannvesenet.

Veiledningen til TEK17 [23] gir preaksepterte ytelser som vil oppfylle funksjonskravene i forskriften, men det er ikke gitt spesifikke preaksepterte ytelser for solcelleinstallasjoner.

Krav om dokumentasjon av byggevarer stilles både i TEK17 og i forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) [24]. I TEK17 § 3-1 stilles følgende krav:

En byggevare skal ha forsvarlige egenskaper, som bidrar til at byggverk oppfyller kravene i denne forskriften. Egenskapene må kunne dokumenteres.

Det er per i dag ikke avklart om en solcelleinstallasjon er å betrakte som en byggevare eller ikke. Dersom slike installasjoner skal betraktes som byggevarer, må de følge de kravene som gjelder under den felles europeiske byggevareforordningen. Disse kravene blir implementert i forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK).

2.3 NEK 400-7-712

NEK 400 er en samling av normer innenfor elektriske lavspenningsanlegg utgitt av Norsk Elektroteknisk Komité. Fra 2018 inneholder NEK 400-7-712 [18] flere punkter som omhandler brannsikkerhet for solcelleinstallasjoner:

- Avstengingsbryter for DC-kabling som føres inn i bygget.
- Avstand mellom solcellemoduler over brannskiller som stikker opp over tak.
- Solcellemodulers avstand til dører og vinduer.
- Sikkerhetsmerking av solcelleinstallasjoner i bygg.
- Avstander for tilkomst og slukkeinnsats.

Når det gjelder avstander for tilkomst og slokkeinnsats gir NEK 400 anbefalinger for hvordan solcelleinstallasjoner på tak bør være utformet for at de ikke skal hindre tilgang til bygningsoverflaten ved brann og for å redusere farene for brannvesenet ved bekjempelse av brann. For tak med møne gis det ikke noen anbefaling til seksjonering i mindre deler, men det anbefales en fri korridor langs mønet og minst én av takets ytterkanter dersom det plasseres solcellemoduler på alle takflater. Dersom ikke alle takflater er benyttet for plassering av solcellemoduler, er det ingen krav til avstand fra takets ytterkant eller mønet.

For solcelleinstallasjoner montert på et tak med ett plan anbefales det i tillegg til en fri korridor langs en av takets ytterkanter. Det anbefales også at solcellemoduler skal monteres med en gitt avstand fra brannskiller som stikker opp over takflaten, og at det skal være en fri korridor for hver 40 m.

NEK 400 angir også at av hensyn til sikkerheten til vedlikeholdspersonell, inspektører, netteiere, nødhjelpstjenester o.l. skal det på bygg der det er montert solcelleinstallasjoner merkes med skilt følgende steder:

- ved leveringspunktet for den elektriske installasjonen
- ved måler når den er plassert fjernt fra leveringspunktet
- ved forbrukerenheten eller fordelingstavle som solcelleomformerer er koblet til
- lett synlig ved inngangsparti til bygningen
- ved bygningens brannorienteringsplan, der slik finnes

I tillegg skal spenningsførende deler på likestrømssiden ha varig merking som forteller at de kan være spenningsatt etter frakobling.

3 Pågående arbeid internasjonalt relevant for standardisering og dokumentasjon

I dette kapittelet vil informasjon som belyser forskningsspørsmål 3 bli presentert, om hvilket arbeid som foregår i Europa og internasjonalt med hensyn på utvikling av testmetoder for brannteknisk dokumentasjon av solcellemoduler, og implementering i Norge.

3.1 Oppdatering fra IEA Task 15

Første fase av IEA (International Energy Agency) Task 15 "Enabling Framework for the Development of BIPV" foregikk i perioden 2016-2019, med seks underaktiviteter, hvorav ingen omhandlet brann³. Andre fase av IEA Task 15 startet i 2020 og går frem til 2023, med fem underaktiviteter som følger:

- Subtask A: Technical Innovation System (TIS) analysis for BIPV
- Subtask B: Cross-sectional analysis: learning from existing BIPV installations
- Subtask C: BIPV guidelines

³ <https://iea-pvps.org/research-tasks/enabling-framework-for-the-development-of-bipv/>

- Subtask D: Digitalization for BIPV
- Subtask E: Pre-normative international research on BIPV characterisation methods

Målet med Subtask E er å gjennomføre en prenormativ internasjonal undersøkelse for å utvikle nye og optimaliserte karakteriseringsmetoder for BIPV moduler og systemer. Under Subtask E, er det en aktivitet på brannsikkerhet, Subtask E3 «Fire Safety of BIPV».

Rapporter om tidligere arbeid i Task 15 er å finne på nettsiden, men ettersom Subtask E3 er første aktivitet som spesifikt omhandler brann, er det ingen tidligere rapporter fra denne arbeidsgruppa. Det pågår nå arbeid i E3 arbeidsgruppa på kartlegging av regelverk og relevante teststandarder i ulike land, og testkapasiteter og utstyr tilgjengelig for testing av brannsikkerhet på laboratorier omkring i verden. Det er funnet at ikke bare BIPV, men all PV skal inkluderes i denne undersøkelsen. Målet med arbeidet er i første rekke å kartlegge hva som finnes, for så å gå videre med eventuell samkjøring eller harmonisering. Som forventet, viser de foreløpige undersøkelsene at det er store forskjeller mellom hvordan regelverk i ulike land er bygd opp, som følgelig kan gi utfordringer med hensyn på samkjøring. Arbeidet sikter derfor ikke på å samles om felles regler for alle land, men på å identifisere de *viktigste funksjonelle kravene* som bør stilles til PV systemer, herunder BIPV, med hensyn på brannsikkerhet. Resultatene vil bli publisert i en åpen rapport.

3.2 Oppdatering fra CEN/TC 127

Arbeidet som pågår i den europeiske standardiseringskomiteen CEN (European Committee for Standardization), herunder CEN/TC 127 Fire safety in buildings, følges tett av den norske speilkomiteén SN/K 015 Brannsikkerhet i bygninger⁴.

I utgangspunktet er utenpåmonterte solcellemoduler ikke definert som byggevarer, men som elektriske elementer, og dette har medført en rekke diskusjoner og uklarheter for CEN/TC127.

Vurdering av brannegenskapene til solcellemoduler montert utenpå tak er et tema som blir diskutert i CEN/TC 127. Solcellemoduler monteres i kombinasjon med taksystemer og takbelegg som er testet i henhold til prøvingsmetodene angitt i CEN TS 1187.

Den elektrotekniske komiteen i CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) har utarbeidet en metode for dokumentasjon av branntekniske egenskaper for solcellemoduler, som arbeidsgruppen på tak i CEN/TC127, WG 5, mener er for begrenset med hensyn til valg av materialer i takbelegg.

Arbeidsgruppen på tak i CEN/TC 127, WG 5, sendte derfor ut et spørreskjema til alle de 34 medlemmene i CEN/TC 127, samt myndigheter i medlemslandene. Målet var å få informasjon om hvilke forventninger som finnes til relevante eksisterende eller nyutviklede testmetoder med hensyn til å vurdere brannsikkerheten for solcelleinstallasjoner på tak.

⁴ <https://www.standard.no/standardisering/komiteer/sn/snk-015/>

Svarene på spørreundersøkelsen ble presentert på møte i CEN/TC 127 [25]. Det var kun 7 av 34 medlemmer som hadde svart på undersøkelsen, en av dem var Norge. De viktigste konklusjonene var

- Det finnes ingen utprøvd metode for å vurdere brannegenskapene for taksystemer i kombinasjon med solcellemoduler. Et mulig unntak er en modifikasjon av test 3 i CEN TS 1187 som anvendes i Frankrike.
- Godkjenning av solcellemoduler på tak er i hovedsak basert på individuelle vurderinger, til dels understøttet av veiledninger eller regelverk.
- Solcellemoduler ses på som både antenneskilder og som faktorer som kan påvirke brannodynamikken. Forhold knyttet til solcellemoduler som antenneskilde anses ikke å ligge innenfor CEN/TC 127 sitt ansvarsområde.
- Det er behov for en klar forståelse av solcellemodulers egenskaper ved brannpåvirkning.
- De fleste respondentene mente at CEN/TC 127 burde begrense arbeidet i forbindelse med solcellemoduler til kun å omfatte brannscenarier og brannegenskaper knyttet til tak.
- De fleste respondentene var enige i at CEN/TC 127 kan utvikle en ny testmetode. Alle faktorene i spørreskjemaet bør vurderes i utarbeidelsen (type takbelegg, størrelse på prøvestykke, takvinkel, vinkel mellom solcellemodul og tak, avstand mellom solcellemodul og takoverflate, størrelse på startbrann, vindforhold, varmestrålingsnivå og monteringsdetaljer).
- Besvarelsene ga ikke klarhet i om CEN/TC 127 bør vurdere utfordringer for brannslukking.

WG 5 i CEN/TC 127 ble gitt i oppdrag å utvikle et klart og enkelt forslag for CEN/TC 127 som kunne lede til innledende arbeid på en testmetode for å dokumentere brannsikkerheten for solcellemoduler montert på taksystemer. Dette ledet til et utkast til et forslag om å utarbeide en teknisk rapport (TR) [26]; forslaget ble lagt frem for CEN/TC 127 som *draft _ preliminary New Work Item Proposal* i november 2021. Det må imidlertid ryddes opp i noen uklarheter i forbindelse med endringer i mandatet fra EU-kommisjonen til CEN/CENELEC (M129 + M369) før CEN/TC 127 kan starte arbeidet. Mandat 129 omfatter *Energy capturing appliances, such as thermal solar systems and components, including solar collectors*, og uklarheten går på om takmonterte solcellemoduler inngår i dette mandatet. CEN/TC 127 har bedt om en bekreftelse på dette fra *the CEN-CENELEC Management Centre (CCMC)*, men dette var ikke mottatt i november 2021.

WG 5 har bedt CEN/TC 127 ta stilling til om komiteen skal undersøke samspillet mellom solcellemoduler på tak og taksystemer nærmere med målsetting å utarbeide testscenarier.

3.3 Annet pågående arbeid internasjonalt relevant for standardisering og dokumentasjon

I Italia pågår det en forskningsstudie i et samarbeid mellom Italian National Fire Rescue and Service, RSE og Istituto Giordano, hvor det undersøkes muligheten for klassifisering av solcellemoduler med utgangspunkt i byggeprodukt-tilnærmingen [27]. Her ble solcellemoduler plassert inne i testoppsettet for SBI Single Burning Item, EN 13823 [28], for å benytte brannkalorimeteret for å kunne måle varmeavgivelse under test. Testmetode for ekstern brannekspnering for tak i kombinasjon med solceller, CLC TR 50670 [29], ble brukt som utgangspunkt. Videre ble testmetode for utvendig brannekspnering av tak, CEN/TS 1187-2 [10] brukt som utgangspunkt for testing av taktekke.

Testresultatene fra SBIEen (varmeavgivelse, røykproduksjon) ble deretter brukt for å finne «fire rating», dvs det som normalt ville ha tilsvart klassifisering, for å kunne gjøre en intern sammenligning av de ulike systemene som ble testet.

Vi mener at denne tilnærmingen er uheldig, ettersom dette gir et inntrykk av at resultatene fra testene, «klassifiseringen» vil kunne brukes som underlag opp mot typiske konstruksjonsprodukter. SBIEen er her kun brukt som et kalorimeter, og det er brukt en annen brenner. Dersom dette testoppsettet skal brukes, er det behov for en grundig jobb for å finne spesifikke klassifiseringskriterier som er relevante for akkurat denne typen produkter. Spesifikke kriterier for solcellemoduler vil måtte kunne relateres til relevante referansescenarier, for eksempel basert på storskala tester.

3.4 Implementering i Norge

Norge er medlem av den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN som utvikler felles europeiske standarder (EN-standarder). Når en EN-standard er godkjent av standardiseringsorganisasjonene i medlemslandene i CEN, skal den fastsettes (implementeres) som nasjonal standard innen 6 måneder. I Norge blir den da en NS-EN-standard. Når en EN-standard er fastsatt som norsk standard skal eventuelle motstridende nasjonale standarder trekkes tilbake.

4 Resultat fra brannforsøk

For å undersøke hvordan en brann kan utvikle seg på et skrått hustak med utenpåmonterte solceller, er det gjennomført småskala, mellomskala og storskala brannforsøk. Disse forsøkene er beskrevet i en egen teknisk rapport (skrevet på nynorsk) [15]. Dette kapittelet gjengir utdrag fra denne tekniske rapporten.

Det ble i løpet av 2021 utført til saman 29 forsøk med brannspreiing i holrommet bak solcellemodular på skrå takflater ved RISE Fire Research sitt laboratorium i Trondheim. Forsøksserien vart utført for å undersøka korleis eit brannforløp på ei skrå takoverflate vil bli påverka av at det er montert solcellemodular parallelt med takoverflata. Det vart nytta simulerte solcellemodular av stål for alle forsøka. I eit småskala forsøksoppsett vart det studert korleis

ulike avstandar (6, 9, 12 og 15 cm), mellom den simulerte solcellemodulen og takoverflata påverkar brannforløpet ved to ulike vindhastigheitar (2 og 4 m/s). I eit mellomskala forsøksoppsett vart det studert korleis brannspreiinga vert påverka av storleiken på startbrannen. Til slutt vart det i eit storskala forsøksoppsett studert korleis brannen spreier seg på ei takoverflate med dimensjonar i same storleiksorden som for eit hustak på eit småhus.

Dei same materiala er brukt i takkonstruksjonen til alle forsøka i dette prosjektet. Eit brennbart takbelegg som har vore testa og godkjent med klassifiseringa B_{ROOF(t2)} gjennom fleire år blei brukt som takoverflate. Dette er eit takbelegg med stamme av polyester som er impregnerert og påført SBS-asfalt på begge sider. Belegget er testa og godkjent for bruk direkte på underlag av sponplater. Under takbelegget er det brukt 22 mm tjukke sponplater med ein massetettleik på 670 kg/m³.

Dei simulerte solcellemodulane som vart brukt i forsøka var laget av 3 mm tjukke stålplater i småskalaforsøka og 2 mm tjukke stålplater i mellom- og storskala forsøka. Det var ikkje noko brennbart materiale på dei simulerte solcellemodulane.

4.1 Småskala forsøk

4.1.1 Forsøksoppsett

Småskala forsøka er gjort i testutrustninga for testing etter CEN/TS 1187, testmetode 2 [10]. Denne testutrustninga blir brukt til å teste ulike former for taktekking for å kvalifisere til klassifiseringa B_{ROOF(t2)} etter EN 13501-5 [30]. I dette testoppsettet blir ei brennande trekrybbe plassert på prøvestykket av takoverflata. Forsøk vert utførde med ein vindstyrke på 2 eller 4 m/s oppover langs taket. Vinkelen på taket er 30° og prøvestykket måler 400 mm x 1000 mm. Forsøkstopsettet er vist i Figur 4-1, der ein kan sjå brannen i trekrybba som strekkjer seg oppover i mellomrommet mellom takoverflata og den simulerte solcellemodulen (3 mm stålplate). Trekrybba som er plassert på takoverflata er laga etter testmetode 2 i CEN/TS [10], og vert vidare referert til som EN-krybbe.



Figur 4-1: Forsøksoppsettet som er brukt til forsøka i liten skala. Dette er basert på utstyret som er skildra i CEN/TS 1187, testmetode 2 [10], med tillegg av ei stålplate som skal simulere ein solcellemodul plassert over takoverflata. Biletet er tatt under eit forsøk med solcellemodulen plassert 12 cm over takoverflata, og med ein vindstyrke på 2 m/s.

Forsøksutrustninga vart instrumentert med termoelement for å kunne undersøke korleis varmen frå brannen spreidde seg oppover langs taket og innover i takkonstruksjonen. Termoelementa var plassert i ulike posisjonar langs senterlinja av den simulerte solcellemodulen. Temperaturen vart målt i fleire sjikt i konstruksjonen ved kvar posisjon i tillegg til på sjølve stålplata som simulerte ein solcellemodul.

Forsøka er gjennomført med solcellemodulen plassert 6 cm, 9 cm, 12 cm og 15 cm over takbelegget, i tillegg til to forsøk som er gjennomført utan solcellemodulen montert. Forsøka er gjennomført med både 2 m/s og 4 m/s vindshastigheit oppover langs takoverflata. Alt i alt er det gjennomført 21 forsøk i dette forsøksoppsettet.

4.1.2 Resultat

For oppsettet med den simulerte solcellemodulen montert 15 cm over var både gjennomsnittleg og maksimal skadelengd på takbelegget etter brannen innafør krava til $B_{ROOF}(t_2)$. Med 12 cm og 9 cm avstand mellom takoverflata og den simulerte solcellemodulen inneheldt forsøksseriane færre forsøk enn prosedyren for klassifisering til $B_{ROOF}(t_2)$ krev. Likevel er det truleg at belegget ville vorte godkjent som $B_{ROOF}(t_2)$ også med solcellemodul montert ned til 9 cm over takoverflata då både gjennomsnittleg og maksimal skadelengde på belegg i dei utførte forsøka var innanfor kriteriet til $B_{ROOF}(t_2)$ med god margin.

For oppsettet med den simulerte solcellemodulen montert 6 cm over takoverflata kan ein ikkje konkludere om belegget kan klassifiserast som $B_{ROOF}(t_2)$ eller ikkje frå dei utførte forsøka.

Temperaturmålingane ulike stader i takkonstruksjonen viste at når det var montert ein simulert solcellemodul på taket vart også varmeoverføringa innover i takkonstruksjonen større. Den største temperaturstigninga på undersida av den 22 mm tjukke sponplata vart målt i punktet rett under startbrannen, 15 cm ovanfor den nedre kanten av taket. Her var temperaturauka i liten grad påverka av om det var montert solcellemodul eller ikkje.

Ved punktet 45 cm frå kanten av taket var det stor skilnad på temperaturstigninga på undersida av sponplata i forsøka med og utan simulert solcellemodul montert. Temperaturstigninga var størst når den simulerte solcellemodulen var montert nærast takoverflata, og den avtok med aukande avstand mellom modul og tak. Skilnaden med og utan modul er vesentleg, men likevel ikkje så stor at den vurderast til å kunne ha ein vesentleg påverknad på brannspreiinga i tidleg fase av ein brann. Det er ikkje grunnlag for å seie noko om påverknad seinare i brannforløpet ut frå desse forsøka.

Temperaturen i den simulerte solcellemodulen har betydning for kor mykje varme som strålar tilbake mot takoverflata. I forsøka i liten skala var det kombinasjonen liten avstand mellom solcellemodul og tak og låg vindhastigheit som førte til dei høgaste temperaturane i den simulerte modulen. I dei andre forsøka var den simulerte solcellemodulen plassert lenger unna flammen og vart då i mindre grad varma opp av denne. I praksis viser dette at storleiken på luftspalta mellom modul og underlag kan være med på å påverke brannforløpet, ikkje bere ved sjølve flammene i luftspalta, men også ved å påverke temperaturen på modulane.

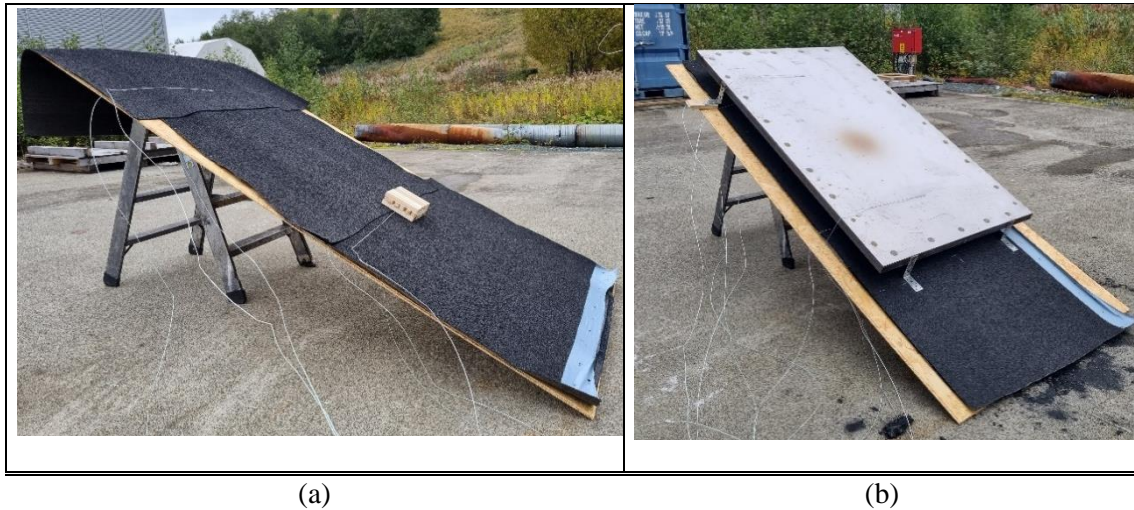
4.2 Mellomskala forsøk

Som innleiing til storskalaforsøka vart det gjennomført til saman 6 forsøk i mellomskala for å undersøke effekten av ulike storleikar av startbrann. I desse forsøka vart det undersøkt om brannens evne til å spreie seg vidare til og etablere seg i takbelegget var avhengig av størrelsen på startbrannen.

4.2.1 Forsøksoppsett

Takdimensjonen nytta i desse forsøka var 1,2 m x 2,4 m. Den simulerte solcellemodulen vart laga av ei stålplate med dimensjonane 1700 mm x 1000 mm x 2 mm. Type takbelegg, underlag og takvinkel var likt som for småskala og storskala forsøka. Figur 4-2 Mellomskalaforsøk vart utført for å undersøke effekten av ulike storleikar av startbrannar. Bilete (a) viser eit forsøk med ei UL-krybbe på takoverflata utan solcellemodul montert og bilete (b) viser eit forsøk med solcellemodulen montert. viser forsøksoppsettet utan simulert solcellemodul, men med brannkrybbe i (a) og forsøksoppsettet med simulert solcellemodul i (b).

Det vart gjennomført forsøk med fire ulike storleikar av startbrannen. Dei tre minste av desse startbrannane bestod av anten ei EN-krybbe, eller to og tre EN-krybber stabla oppå kvarandre. Til den største startbrannen vart det nytta ei større trekrybbe. Denne vart laga etter spesifikasjonane for den såkalla «Class B brand» i den amerikanske teststandarden for takbelegg UL 790 [31], og vert referert til som ei UL krybbe. Også i desse forsøka vart temperaturen målt med termoelement både på sjølve stålplata som simulerte ein solcellemodul og ulike stadar i ulike sjikt av takkonstruksjonen.



Figur 4-2 Mellomskalaforsøk vart utført for å undersøke effekten av ulike storleikar av startbrannar. Bilete (a) viser eit forsøk med ei UL-krybbe på takoverflata utan solcellemodul montert og bilete (b) viser eit forsøk med solcellemodulen montert.

4.2.2 Resultat

Det var berre i forsøket med UL-krybbe som startbrann og simulert solcellemodul montert brannen etablerte seg i holrommet og spreidde seg heilt til øvre kant på takoverflata. Figur 4-3 viser bilder frå dette forsøket tekne ved to ulike tidspunkt. Forsøket med den same startbrannen, men utan simulert solcellemodulen førte ikkje til brannskadar utover området nærast startbrannen.



Figur 4-3 Brannen i forsøket med UL-krybbe og solcellemodul. Bilde (a) er teke omkring 4 minutt etter forsøksstart og viser brannen i trekrybba før den har spreidd seg oppover takoverflata. Bilde (b) er teke omkring 16 minutt etter forsøksstart, og viser brannen då den hadde spreidd seg oppover heile lengda av takoverflata

Av forsøka med dei mindre EN-krybbene som startbrann var det berre i forsøket med tre EN-krybber og simulert solcellemodul montert, at brannen spreidde seg meir enn 10 cm frå utkanten av startbrannen. I dette forsøket var også brannspreiinga svært moderat, og gav berre skader i eit smalt felt 70 cm oppover takoverflata før brannen slokna av seg sjølv.

Forsøka viser altså at for at ein solcellemodul montert 12 cm over takoverflata skal føre til større brannspreiing i takoverflata er det nødvendig med ein viss storleik på startbrannen.

Varmeleiinga innover i takkonstruksjonen følgjer utstrekninga av skadane på takbelegget. Det var liten skilnad i varmen som blei leia innover i takkonstruksjonen direkte under startbrannen med og utan simulert solcellemodul montert. Som følgje av at brannen spreidde seg til eit større område i forsøket med simulert solcellemodul, auka derimot temperaturen i ein større del av taket med den simulerte solcellemodulen montert. Temperaturauka på undersida av sponplata var størst rett under startbrannen, men også her var den i underkant av 100 °C. Det var med andre ord liten umiddelbar fare for brannspreiing nedover i takkonstruksjonen med desse brannane.

4.3 Storskala forsøk

For å undersøke om resultatata frå forsøka i småskala og mellomskala var gyldige for reelle solcelleinstallasjonar på skråtak, vart det gjennomført to forsøk (F1 og F2) i eit forsøksoppsett med dimensjonar i same storleiksorden som for eit hustak på eit småhus. Dette forsøksoppsettet vart laga for å undersøke korleis ein brann vil spreie seg i mellomrommet under fleire solcellemodular, og korleis den vil spreie seg vidare på takoverflata utanfor området som er dekkja av modular.

4.3.1 Forsøksoppsett

I desse forsøka vart det brukt dei same materiala som i småskalaforsøka med takbelegg over sponplate og simulerte solcellemodular av stål. Takoverflata var 4,2 m brei og 5,4 m lang og hadde ein takvinkel på 30°.

Det var montert 6 simulerte solcellemodular på taket 12 cm over takoverflata med 4 cm mellomrom mellom kvar solcellemodul. Forsøksoppsettet er vist i Figur 4-4

Storskala forsøksoppsett med takflate 4,2 m bredde x 5,4 m lengde og 30° takvinkel. 6 simulerte solcellemodular i stål er montert 12 cm over takoverflata. Startbrannen var plassert 0,3 m inn under midten av solcellemodulen nedst i midten, som markert på bildet. Oppsettet for forsøk i stor skala vart instrumentert med termoelement i tre aksar oppover taket langs senterlina av dei simulerte solcellemodulane. I dei ulike posisjonane vart det montert målepunkt under sponplata, over sponplata, på overflata av takbelegget og på overflata av dei simulerte solcellemodulane i stål.



Figur 4-4 Storskala forsøksoppsett med takflate 4,2 m bredde x 5,4 m lengde og 30° takvinkel. 6 simulerte solcellemodular i stål er montert 12 cm over takoverflata. Startbrannen var plassert 0,3 m inn under midten av solcellemodulen nedst i midten, som markert på bildet.

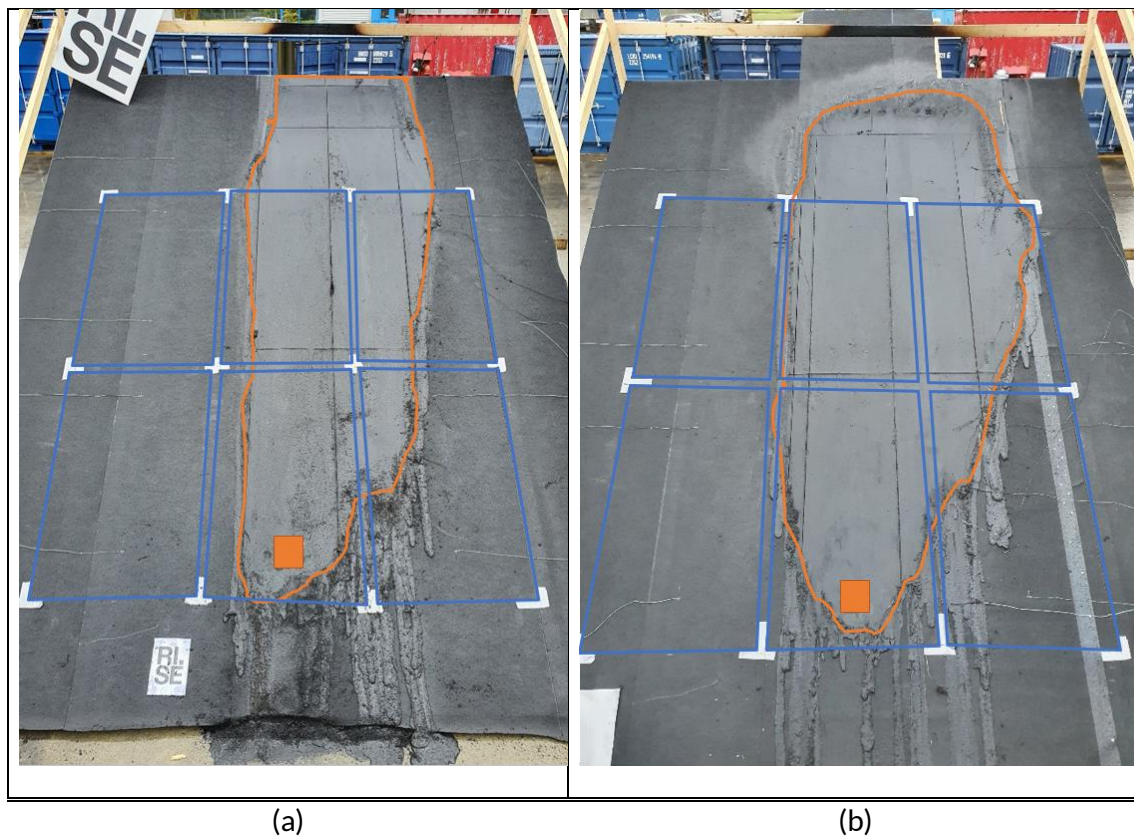
4.3.2 Resultat

Begge brannane i stor skala spreidde seg oppover langs takoverflata i mellomrommet under dei simulerte solcellemodulane og nådde etter om lag 21 og 26 minutt rekkverket på den øvre kanten av taket. Skadeomfanget på takbelegget etter dei to forsøka i stor skala er vist i Figur 4-5, og ein ser at brannane kun i liten grad spreidde seg horisontalt i desse forsøka.

Det vart observert smelta takbelegg som rann nedover taket i begge forsøka. Dette førte til at brannen spreidde seg til bakken nedanfor taket i forsøk F1. Før forsøk F2 vart det montert ei takrenne i nedkant av takflata for å samle opp smelta takbelegg. I forsøk F2 samla det seg smelta takbelegg i denne takrenna utan at dette tok fyr.

Temperaturstigninga på undersida av sponplata er forseinka med omkring 5 minutt samanlikna med temperaturmålingane i same posisjon på oversida av sponplata. Dette viser at varmetransporten innover i materialet brukar litt tid. Temperaturauka målt under sponplata var i begge forsøka mindre enn 120 °C, noko som ikkje er kritisk med tanke på vidare brannspreiing nedover i takkonstruksjonen. Ein kan likevel sjå av svimerker på OSB-plata under at det har vore høgare temperaturar under skøytane av sponplatene enn det som er målt lang senterlina under midten av sponplatene. Dette kan medføre risiko for at brannen kan spreie seg innover i taket i tilsvarande svake punkt som desse skøytane. Høg temperatur innover taket i slike svake

punkt vil også kunne medføre risiko for at ulmebrann oppstår etter at den opprinnelege brannen er sløkket.



Figur 4-5 Viser omfanget av skadane på takbelegget etter dei to forsøka i stor skala. Forsøk F1 i (a) og forsøk F2 i (b). Plasseringa av solcellemodulane er illustrert med blå firkantar, plasseringa av startbrannen er vist med ein oransje firkant, og omrisset av området der takbelegget var brent opp er vist med oransje strek.

5 Brannvesenet

I dette kapittelet vil informasjon som belyser forskningsspørsmål 4 om hvordan man kan trygge innsats til brannvesen ved en brann som inkluderer solcelleinstallasjon, bli presentert.

5.1 Resultater fra spørreundersøkelse til brannvesener

Spørreundersøkelsen ble sendt ut til 169 brannvesen og 66 svar ble mottatt. Dette tilsvarer en svarprosent på 38 %. Spørreundersøkelsen bestod av i alt 8 spørsmål, hvorav spørsmål nr. 1 omhandlet hvilket brannvesen respondenten tilhørte og spørsmål nr. 8 omhandlet hvorvidt respondenten kunne kontaktes for oppfølgingsspørsmål i etterkant eller ei. Resultater fra spørreundersøkelsen som ble sendt ut til norske brannvesen er presentert i Tabell 5-1 for spørsmål nr. 2-6 og i Tabell 5-2 for spørsmål nr. 7.

Tabell 5-1 Mottatte svar fra norske brannvesen på spørsmål nr. 2-6 i spørreundersøkelsen.

Spørsmål	Ja (antall svar)	Nei (antall svar)	Vet ikke (antall svar)
Kompetanse: Har du eller andre fra ditt brannvesen deltatt på kurs eller opplæring (eksternt eller internt) om håndtering av brann i solcelleinstallasjoner?	14	51	1
Utstyr: Har dere eget utstyr som brukes ved brann i solcelleinstallasjoner, eksempelvis verktøy, bekledning, verneutstyr, sløkkemiddel, annet? Vær gjerne så spesifikk som mulig med modell, merke, navn på leverandør eller lignende.	4	60	2
Prosedyre: Har dere en egen prosedyre/ standard operasjonell rutine eller lignende for hendelser som inkluderer brann i solcelleinstallasjoner? Beskriv gjerne kort hva den omfatter.	6	60	0
Erfaring: Har dere i løpet av de siste 5 år hatt utrykning til en brann i et bygg med solcelleinstallasjon?	8	55	3
ROS: Har kommunen/brannvesenet ditt utført/revidert ROS-analyse de siste 2 årene?	40	23	2

Tabell 5-2 Mottatte svar fra norske brannvesen på spørsmål nr. 7 i spørreundersøkelsen.

Spørsmål	Ja, innsatsplikt og bistandsplikt (antall svar)	Ikke innsatsplikt, kun bistandsplikt (antall svar)	Vet ikke (antall svar)
Har ditt brannvesen en definert innsatsplikt eller bistandsplikt på brann i solcelleinstallasjoner?	29	14	20

På alle spørsmål kunne respondentene legge inn utdypende kommentar eller nærmere beskrivelse i tekstformat. Her følger en oppsummering av funn fra undersøkelsen.

Når det gjelder kompetanse, oppgir 14 av 66 respondenter at de har deltatt på kurs eller opplæring om håndtering av brann i solcelleinstallasjoner. Opplæringen oppgis å være gitt av enten ressurspersoner i eget brannvesen, installatører, leverandører eller Fagforbundet. 2 av respondentene oppgir spesifikt at opplæringen er basert på «Veileder om solenergianlegg for brann- og redningsvesen» [32,33]. Av de 60 som ikke har prosedyrer er det flere som viser til at solcelleinstallasjoner er lite utbredt i deres område. 2 svarer at de venter til det kommer nasjonale prosedyrer.

Når det gjelder utstyr, svarer kun 4 av 66 respondenter *ja* på at de har eget utstyr som brukes ved brann i solcelleinstallasjoner. Utstyret de nevner er 1000 V isolert verktøy og høyspenthansker (1000 V). I tillegg oppgir de at annet utstyr som branntepper til bil, skjærslukkere og trykkluftskum, også kan være hensiktsmessig å benytte. Noen av de som svarte nei på spørsmål om de har eget utstyr til bruk ved brann i solcelleinstallasjoner, oppgir likevel at de har høyspenthansker. De er enten usikre på om de kan benyttes ved brann i solcelleinstallasjoner, eller regner det ikke som utstyr spesielt til dette formålet.

Når det gjelder prosedyrer, svarer 6 av 66 respondenter *ja* på spørsmål om de har egne prosedyrer for hendelser som inkluderer brann i solcelleinstallasjoner. Også her refererer noen av respondentene til «Veileder om solenergianlegg for brann- og redningsvesen» [32,33], eller til egen prosedyre som ser ut til å være laget på bakgrunn av denne veilederen.

Når det gjelder erfaring, svarer 8 av 66 respondenter at de i løpet av de siste 5 årene har hatt utrykning til en brann i et bygg med solcelleinstallasjon. 7 av disse oppgir at det gjelder én hendelse, mens den siste oppgir at de har hatt 10-15 hendelser i hytter med solcellemoduler. 3 av respondentene spesifiserer at selve solcelleinstallasjonen ikke var involvert i brannen.

De siste to spørsmålene, om risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) i kommunen/brannvesenet og innsatsplikt versus bistandsplikt, er inkludert for å belyse et viktig premissgrunnlag når det kommer til kompetanse- og utstyrsbehov. Brannvesenet har etter brann- og redningsvesenforskriften plikt til å være innsatsstyrke ved brann [34]. I tillegg skal brannvesenet også ha beredskap for andre ulykker, der ulykkesrisiko er avdekket i kommunens ROS-analyse. Dette betyr at brannvesenet skal ha tilstrekkelig kompetanse, slagkraft og utstyr til å løse oppdrag innenfor de områdene som kommunen har innsatsplikt på.

I tillegg til innsatsplikten har også brannvesenet en bistandsplikt [34]. Dette betyr at de plikter å yte bistand til andre oppdrag, ulykker og hendelser. Selv om disse ikke fremkommer som

definerte innsatsområder utledet av kommunens ROS-analyse, skal brannvesenet bistå andre etater og kommuner med tilgjengelig slagkraft, utstyr som kan avhjelpe situasjonen og gjøre så godt de kan, også om innsatsen ikke er øvd på. Bistandsplikten skiller seg altså fra innsatsplikten ved at den ikke er forpliktende innen slagkraft, utstyr og kompetanse, slik innsatsplikten er.

Oppsummert betyr dette at brannvesenet har en generell beredskap ved brann, uansett hva som avdekkes i ROS-analysen. Dette betyr at alle kommuner skal ha et brannvesen som rykker ut til alle branner og vurderer hvilken innsats som skal utføres, og om brannen skal tilnærmes offensivt eller defensivt. Hvis det derimot avdekkes i kommunens ROS-analyse høy risiko for spesielle branner, skal brannvesenet ha en tilpasset beredskap for denne type branner. Dette betyr at brannvesenet skal være øvd, ha tilstrekkelig bemanning og utstyr som er egnet for denne type brann.

Når det gjelder ROS-analyse, svarer 40 av 66 brannvesen at de har utført eller revidert ROS-analyse de siste 2 årene. Til dette spørsmålet ble det også stilt et oppfølgingsspørsmål i spørreundersøkelsen: «*Hvis ja, er brann i solcelleinstallasjon risikovurdert? Hvis nei, er det gjort selvstendige risikovurderinger på brann i solcelleinstallasjon?*». Kun 3 av de 40 som hadde utført ROS analyse siste 2 år oppgir her at brann i solcelleinstallasjoner er risikovurdert. 4 av de 40 oppgir at det ikke er risikovurdert fordi slike anlegg ikke er utbredt i deres region. Av de 23 respondentene som ikke hadde utført eller revidert ROS-analyse generelt de siste to årene svarer 2 at de er i gang med arbeidet nå.

På spørsmålet om brannvesenet har en definert innsatsplikt eller bistandsplikt i forbindelse med brann i solcelleinstallasjoner, oppgir 29 av 66 respondenter at de har definert både innsatsplikt og bistandsplikt, 14 oppgir at de kun har bistandsplikt, men ikke innsatsplikt, og 20 svarer at de ikke vet.

Svarene i denne spørreundersøkelsen viser at det er behov for mer kompetanse og opplæring på brann i solcelleinstallasjoner hos brannvesenene. Kun ca. 20 % av respondentene oppgir at de selv eller noen fra deres brannvesen har deltatt på kurs eller mottatt opplæring om håndtering av brann i solcelleinstallasjoner. Det fremkommer også av svarene på spørsmålet som omhandler utstyr, at det er usikkerhet rundt hva som er egnet utstyr for å håndtere branner i solcelleinstallasjoner. Under 10 % av respondentene har egne prosedyrer for hendelser som inkluderer brann i solcelleinstallasjoner. Dette kan medføre risiko for feil håndtering av spenningsatte deler av solcelleinstallasjonen ved brann i eller ved denne, noe som kan få fatale følger.

Brann og eksplosjonsvernloven krever at kommunene skal ha et brannvesen som utenom det å ha en beredskap for brann, har beredskap for potensielle ulykker som er identifisert i kommunens egen ROS-analyse. Kommunene utarbeider ROS-analyse på flere områder enn brann- og redningsområdet, blant annet for kritisk infrastruktur. Det er viktig at kommunene også ser hele risikobildet under ett i utarbeidelsen av ROS. Kommunene må med andre ord gå bredt ut, når de starter arbeidet med å kartlegge risiko, også innenfor brann- og redningsområdet. Siden solcelle-installasjoner er økende i omfang, må også de truslene disse installasjonene representerer kartlegges. Det er derfor viktig at kommunene vurderer om det er solcelleinstallasjoner i kommunen, slik at det kan fastslås om brannvesenet skal ha en beredskap som kan håndtere brann i installasjonene.

I de følgende avsnittene vil tilgjengelig informasjon og noen viktige læringspunkter når det gjelder trygging av innsats for brannvesenet bli presentert.

5.2 Fare forbundet med skade på solcelleinstallasjon

Skader på solcellemoduler kan føre til at nye og uventede strømbaner dannes. Dette kan skje både i ulike deler av solcelleinstallasjonen, som f.eks. rammen på solcellemodulene, festeanordningene og ledningene, og i ulike bygningsdeler som metalltak eller takrenner. Skader på solcellemoduler kan oppstå både gjennom vanlig vedlikehold og i en brannsituasjon ved påvirkning av varme, at noen trækker på en solcellemodul, treffer den med ei øks eller andre gjenstander, eller forsøker å fjerne modulen. Det er også vist at solcellemodulene kan genere farlige spenningsnivåer selv om de har tydelige brannskader [35]. Dette gjør at det kan være vanskelig å vurdere hvor det er fare for uventede strømbaner i og etter en brannsituasjon, og det er viktig at det utvises forsiktighet ved innsats og arbeid ved solcellemodulene. Det er mulig å redusere genereringen av strøm i solcellemodulene ved å skjerme de for lys ved å bruke lystette presenninger eller lignende. Det er likevel viktig å vite at det er stor forskjell på ulike typer tildekninger, og at ikke alle gir tilstrekkelig reduksjon i generert strøm [35]. Den danske veilederen [36] poengterer også at det er fare for at deler av installasjonen kan falle ned hvis den er skadet.

5.3 Nødvendig utstyr og kompetanse hos brannvesenet

Som resultatene fra spørreundersøkelsen presentert i avsnitt 5.1 viser, er det behov for tydelig informasjon om hva som er nødvendig utstyr og kompetanse hos brannvesenet.

Drammensregionens brannvesen IKS (DRBV), NELFO og Solenergiklyngens partnere utviklet i 2019 en veileder om solenergianlegg for brann- og redningsvesen [32], med ny revidert versjon i mars 2020 [33]. Denne veilederen beskriver kort komponenter og utseende til et solcelleinstallasjoner. Det fremheves spesielt at det er berøringsfare også når utkoblingsbrytere og sikkerhetsbarrierer er etablert. Det påpekes også at det følger av NEK 400:712 (2018) [18] at installasjoner skal merkes med skilt. Veilederen gir også en samling av «best practice» for å sikre en sikker og effektiv rednings- og slokkeinnsats i bygg med solenergianlegg. For slokking med vann anbefales det å ha en avstand på minst 1 m ved spredt stråle og minst 5 m ved kompakt stråle. Det frarådes å knuse eller skjære i modulen, samt å kappe kablingen mellom solcellemodulen og vekselretteren. Dette kan medføre utfordringer dersom man ønsker å ta hull i bygningskonstruksjonen, og også ved ferdsel oppå taket. For å lette innhenting av informasjon ved ankomst til innsatssted, anbefaler veilederen at alle solcelleinstallasjoner har et informasjonsblad som følger med ved overlevering av dokumentasjon for forvaltning, drift og vedlikehold (FDV-dokumentasjon). Dette bør inneholde informasjon om nødstop, plassering av installasjonen og spenningsatte kabler, batterilager, kontaktpersoner og annen generell info. I tillegg bør bilder vise plasseringen av viktige komponenter. Det er utarbeidet en mal for slike informasjonsblad som ligger ved veilederen.

I Danmark har Beredskabsstyrelsen utarbeidet en lignende veileder [36]. Også her beskrives kort oppbygging og virkemåte til en solcelleinstallasjon. Det oppgis at det ikke er krav til skilting eller merking av solcelleinstallasjoner i Danmark. Når det gjelder brannvesenets innsats, påpekes viktigheten av fullt åndedrettsvern både under slokking, etterslokking og opprydning

ved brann i solcelleinstallasjoner, da de er bygget opp av ulike materialer (bl.a. plast og metaller) som kan gi store utslipp av skadelige partikler. Det beskrives videre at det ved brann i solcelleinstallasjoner er viktig å få oversikt over plasseringen av de ulike komponentene i installasjonen, være oppmerksom på fare for at deler av installasjonen kan falle ned, og å koble fra strøm ved å aktivere sikkerhetsbryter eller å klippe kablene så nær modulen som mulig. Sistnevnte handling krever kompetanse innen arbeid ved lavspenning (L-AUS: Lavspænding – Arbejde Under Spænding) og bruk av godkjent verktøy for den som skal utføre det. Kablene skal klippes enkeltvis for å unngå lysbue. Også her oppgis det en sikkerhetsavstand på minst 1 m ved bruk av spredt vannstråle, og minst 5 m ved bruk av kompakt vannstråle. Andre slökkemidler som pulver, CO₂, skum og sand blir også foreslått.

I masteroppgaven «Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner» er det utarbeidet et forslag til en arbeidsmetode for brannvesenet ved bygningsbrann der det er solcelleinstallasjoner [37]. I denne arbeidsmetoden presiseres det at solcelleinstallasjoner ikke påvirker den livreddende innsatsen i en bygningsbrann. Dersom det i neste fase, når brannen skal slokkes, er behov for å fjerne solcellemoduler, anbefales det å nappe fra hverandre MC4-pluggene eller klippe kablene. De kuttete kablene utgjør ikke lenger noen risiko dersom de er korte nok til at de ikke kommer i kontakt med hverandre. Det påpekes imidlertid at for at brannvesenet skal kunne utføre denne type elektrisk arbeid, må det avklares om de kan defineres som «instruert personell», og de må da instrueres i henhold til de krav som da gjelder. En «instruert person» er en person som er tilstrekkelig instruert og eventuelt overvåket av sakkyndig person, slik at han eller hun er i stand til å oppfatte risiko og til å unngå fare som følge av elektrisitet [38]. Når det gjelder verneutstyr, konkluderes det med at bruk av 1000 V hansker sammen med brannvesenets vanlige verneutstyr med visir eller røykdykkermaske, høyst sannsynlig gir tilstrekkelig beskyttelse om foreslått prosedyre følges. For å slokke brannen skal det kun brukes ferskvann eller andre ikke-ledende slökkemidler, og det skal holdes en sikkerhetsavstand på 5 m ved kompakt stråle og 1 m ved spredt stråle.

UL har studert slökkemannskapenes sårbarhet for elektriske farer i branner som involverer solcellemoduler. Dette er dokumentert i rapporten «*Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*» [35]. De fant at slokking med vann 6 m (20 feet) fra en 1000 V likestrøm kilde er trygt. Avstanden avhenger av flere faktorer som spenningen på solcelleinstallasjonen, vannets ledningsevne og spraymønster på vannstrålen. Med spredt vannstråle ble en avstand på 1,5 meter (5 feet) funnet trygg. De fraråder bruk av saltvann ved brann i solcelleinstallasjoner. Skadede solcellemoduler kan føre til nye, uventede strømkretser, både i selve installasjonen (ramme, festeanordninger o.l.) og også i bygningskomponenter (metalltak, beslag, takrenner), og må behandles med forsiktighet. For å hindre at solcellemodulene produserer strøm når de utsettes for naturlig eller kunstig lys, kan de dekkes med tette, vevde tekstiler eller mørke plastfilmer. Det er likevel viktig å merke seg at dersom våte tekstiler brukes til å dekke skadede installasjoner, kan de også lede strøm og dermed utgjøre en risiko. Det ble funnet at brannvesenets vanlige bekledning kun har en begrenset grad av beskyttelse mot elektrisk gjennomslag, og bare når den er tørr og hel. Den må derfor ikke betraktes som vern om elektrisk gjennomslag.

Oppsummert, gir disse rapportene og veilederne en del informasjon om hva slags utstyr og kompetanse brannvesenet trenger for å håndtere en brann i eller ved utenpåmonterte solcelleinstallasjoner. De viktigste funnene er:

- Det påpekes i alle disse kildene at solcelleinstallasjoner kan produsere og dermed lede strøm, selv om utkoblingsbrytere og sikkerhetsbarrierer er etablert. Forsøk viser også at dette kan skje selv om modulene har fått store brannskader og ser ødelagte ut [35]. I tillegg er det viktig at brann- og redningsvesen gjøres oppmerksomme på faren for nye strømkanaler både i selve solcelleinstallasjonen og også i bygningskomponenter, dersom det har oppstått skade på solcelleinstallasjonen.
- Når det gjelder slokking av brann i eller ved solcelleinstallasjoner, oppgir alle de nevnte kildene at det skal holdes en sikkerhetsavstand på ca. 5 m med kompakt stråle og ca. 1 m med spredt stråle. Noen oppgir også at det bør brukes ferskvann eller andre ikke-ledende slokkemidler.
- Veilederen utgitt i Norge [33] skiller seg fra den danske [36] ved at den norske fraråder at man klipper i kablingen mellom solcellemodulen og vekselretteren, mens den danske anbefaler at kablene klippes så nær modulene som mulig. Den praktiske veilederen utarbeidet av Rød [37] anbefaler også å klippe kablene eller koble fra pluggene dersom det blir behov for å fjerne solcellemoduler. Da dette regnes som elektrisk arbeid, kreves det at det avklares om brannvesenet kan defineres som «instruert personell». Brannvesenet må da inneha nødvendig opplæring og utstyr i henhold til de krav som gjelder for å ha lov til å klippe kablene. Ansvar for denne avklaringen ligger hos DSB.
- Bruk av 1000 V hansker sammen med brannvesenets vanlige verneutstyr med visir eller røykdykkermaske, gir høyst sannsynlig tilstrekkelig beskyttelse, om foreslått prosedyre av Rød [37] følges. Det bør også bemerkes at UL sine forsøk viser at støvler av lær gir dårlig elektrisk isolasjon når de er våte, og at slitasje kan medføre at både gummi- og lærstøvler får redusert elektrisk isolasjonsevne [35].

5.4 Tilgjengelig rømningstid

Tilgjengelig rømningstid er tiden fra brannstart til ett eller flere kritiske forhold inntreffer [14]. Både tidligere studier med solcellemoduler på et flatt tak [5–7], og forsøkene utført i dette prosjektet med solcellemoduler montert parallelt med overflata på et skrått tak, viser at solcellemoduler kan påvirke brannforløpet ved at varmestrålinga mot takoverflata øker, og at flammene sprer seg over et større område. Temperaturøkningen som ble målt innover i konstruksjonen i forsøkene i dette prosjektet var imidlertid ikke stor nok til at det var noen fare for umiddelbar brannspredning innover i konstruksjonen. Et slikt brannscenario skal dermed normalt ikke ha noen innvirkning på den tilgjengelige rømningstiden for personer inne i bygningen.

En brann oppå takoverflaten påvirker i utgangspunktet ikke den tilgjengelige rømningstiden for personer inne i bygget. Det kan likevel være bygningsmessige detaljer som f.eks. takvindu, ark o.l. som fører til en brannspredning inn på loftet, og som dermed kan påvirke den tilgjengelige rømningstiden

Det ble i begge storskala forsøkene i dette prosjektet observert smeltet takbelegg som rant nedover takoverflata og utfor nedre kant av taket. I forsøk F1 tok det fyr i det smeltede takbelegget som hadde samlet seg på bakken under taket. Dette kan være en mulig mekanisme for brannspredning til f.eks. fasade eller balkong. En slik brannspredning kan påvirke den tilgjengelige rømningstiden, spesielt om dette påvirker forholdene i en rømningsvei.

5.5 Seksjonering

I de utførte forsøkene med solcellemodulene montert parallelt med den skrå takoverflata, spredte brannen seg hovedsakelig oppover mot øvre kant av taket. Det var kun i mindre grad brannspredning i horisontal retning. Andre forsøk i stor skala med skråstilte solcellemoduler montert på flatt tak, har vist stor brannspredning i begge retninger [7]. Selv om disse forsøkene er utført i stor skala, dekket solcellemodulene et mye mindre område enn det anbefalt seksjonering i NEK 400 tillater, og det er derfor vanskelig å vurdere om seksjonering hver 40 m er tilstrekkelig eller ikke. Både takvinkelen og monteringsvinkelen for solcellemodulene var ulik i de nevnte forsøksoppsettene. Dette er faktorer som kan ha påvirket brannspredningen og retningen på den, og det kan være hensiktsmessig å ta hensyn til slike faktorer når man vurderer størrelsen på seksjonene. Det bør også tas hensyn til andre bygningsmessige detaljer, som f.eks. takvindu og ark, som antas å kunne påvirke brannspredningen.

5.6 Prosjektering av solcelleinstallasjoner

Når det gjelder hvordan prosjektering av solcelleinstallasjoner ivaretar innsatsen til brann- og redningsvesenet, er det ikke ett enkelt svar, men vi kan peke på noen trender. Dette er basert på dialog de siste 5 årene med leverandører av solcelleinstallasjoner, brannrådgivere, entreprenører, brannvesen og andre som kan gi informasjon om temaet brann og solcelleinstallasjoner. Gjennom denne dialogen, samt ved gjennomgang av branndokumentasjon fra en håndfull casebygg i arbeidet på temaet (noen av disse byggene er presentert i tidligere rapporter [1,2]), kan vi si at det generelt er store variasjoner i hvilken grad solcelleinstallasjoner blir vektlagt i prosjekteringsfasen av et bygg. Det er også store variasjoner i hvordan branntekniske aspekter vurderes og vektlegges, herunder innsatsen til brann- og redningsvesenet. Noen viktige faktorer som spiller inn, ser ut til å være fagkunnskapen og erfaringen til brannrådgiveren, tidspunkt for oppføring av bygget i forhold til revidering av regelverk knyttet til solcelleinstallasjoner, samt hvilken type solcelleinstallasjon det er snakk om (integrert vs. utenpåmontert).

Mer detaljer om dette temaet vil bli publisert, ettersom dette også er tema for en nylig utført studie av SINTEF og RISE gjennom forskningssenteret FRIC. Mer utfyllende informasjon, resultater og detaljer om de nevnte casebyggene vil bli publisert fra dette arbeidet i en fagfelleverdert artikkel [39]. Artikkelen er sendt inn til et vitenskapelig tidsskrift med fagfellevurdering, men er ikke enda publisert.

6 Konklusjoner

Hovedkonklusjoner fra brannforsøkene

De utførte brannforsøkene har vist at solcellemoduler montert parallelt med takoverflata på skråtak kan påvirke brannodynamikken i en brann på takoverflata.

I forsøkene i liten skala ble det for de undersøkte avstandene (6-15 cm mellom modul og underlag) funnet at både lengden på det skadede området på taket og temperaturstigningen innover i taket (under sponplata) økte når avstanden mellom den simulerte solcellemodulen og takoverflata avtok. Videre tyder funnene på at det er en sammenheng mellom hvor stor avstand det er mellom takoverflata og solcellemodulen, og hvor stor brann det trengs for at brannen skal spre seg. En større avstand mellom takoverflata og solcellemodulen krever større startbrann for at brannen skal spre seg.

I småskalaforsøkene ble det ikke funnet noen sammenheng mellom de to ulike vindhastighetene som ble undersøkt og temperaturøkningen under sponplata. De to storskala forsøkene viste heller ingen tydelig forskjell på skadeomfang på takbelegget, til tross for stor forskjell i vindstyrke og vindretning. Det er altså ikke funnet sammenheng mellom vindhastighet og brannspredning i de utførte forsøkene.

Med UL-krybba som startbrann (en mellomstor, standardisert startbrannkilde) spredde brannen seg under solcellemodulene helt opp til øvre kant på taket når modulen var montert 12 cm over takoverflata. Når den samme startbrannen ble brukt, men uten en simulert solcellemodul på taket, ble det ikke observert brannspredning på takoverflata.

Temperaturøkningen innover i takkonstruksjonen var lite påvirket av solcellemodulene i området rett under startbrannen. I områdene ovenfor startbrannen var varmpåkjenningen større med solcellemoduler montert. Temperaturøkningen innover i takkonstruksjonen var imidlertid ikke stor nok til at det var fare for umiddelbar brannspredning innover i konstruksjonen.

En brann som foregår kun oppå takoverflaten påvirker i utgangspunktet ikke den tilgjengelige rømningstiden. Det bør likevel vurderes hvordan solcellemoduler kan påvirke brannspredningen dersom det er bygningsmessige detaljer som f.eks. takvindu og ark som kan bidra til brannspredning inn på loftet.

Trygging av brannvesenets innsats

Fra ulike veiledere og rapporter er det funnet informasjon om hva som er nødvendig både av utstyr og kompetanse for å trygge brannvesenets innsats. Det er viktig at brannvesen har tilstrekkelig kunnskap om virkemåten til en solcelleinstallasjon, slik at de har forståelse for farene for at deler av installasjonen kan lede strøm, selv om utkoblingsbryteren er aktivert. Brannvesen må også gis opplæring i hvordan de praktisk skal håndtere en brann i et bygg med solcelleinstallasjon, samt hva som er nødvendig verneutstyr og verktøy. Svarene fra de ulike brannvesenene på en utsendt spørreundersøkelse viser at de i liten grad inkluderer solcelleinstallasjoner i sine ROS-analyser og som følge av dette har de i dag ikke god nok opplæring og kunnskap om håndtering av branner i bygninger med solcelleinstallasjoner.

En foreslått arbeidsmetode for brannvesen ved bygningsbrann der det er solcelleinstallasjoner innebærer at de skal koble fra eller klippe kablene mellom solcellemodulene og vekselretteren. Da dette regnes som elektrisk arbeid, kreves det at det avklares om brannvesenet kan defineres som «instruert personell». Brannvesenet må da inneha nødvendig opplæring og utstyr i henhold til de krav som gjelder for å ha lov til å klippe kablene. Ansvar for denne avklaringen ligger hos DSB.

Det er viktig at kommunen har et bredt perspektiv i startfasen av ROS-arbeidet for brann- og redningsområdet. Alle trusler med høy frekvens kombinert med uønskede konsekvenser og der en ulykke eller brann vil løse ut behov for brannhåndtering eller redningsteknikk må tas med i ROS-analysen. Kommuner som har solcelleinstallasjoner, bør ha inkludert dette i sin ROS analyse om brann og redning. Spørreundersøkelsen viser at det virker noe uklart for brannvesenene hvilket ansvar de har ved brann i solcelleinstallasjoner. Dette bør avklares, og i de tilfellene hvor solcelleinstallasjoner utgjør en forhøyet risiko må brannvesenet tilføres ressurser slik at de har riktig utstyr, riktig kompetanse og riktig bemanning for å håndtere slike branner.

Standardisering

Det pågår arbeid internasjonalt på utvikling av testmetoder for brannteknisk dokumentasjon av solcellemoduler. Dette arbeidet har foreløpig ikke resultert i nye standarder eller prosedyrer som kan implementeres i Norge.

Anbefalinger for videre studier

Fra den eksperimentelle delen av denne studien, ble det funnet indikasjoner på at det er en sammenheng mellom avstand mellom takoverflata og solcellemodulen, og størrelsen på startbrannen som trengs for at solcellemodulene skal bidra til brannspredning. For å konkludere nærmere med hensyn til dette, er det nødvendig med flere eksperimentelle forsøk som ser på dette samspillet. Det vil også være hensiktsmessig å se systematisk på hvordan både vindhastighet og vindretning påvirker branndynamikken.

Det er mange paralleller mellom brannspredning under solcellemoduler og utfordringer med andre typer hulrom i bygg, eksempelvis ved bruk av dobbeltfasader. I videre studier kan det med fordel dras nytte av disse parallellene, slik at kunnskap om brannspredning i hulrom på ulike områder kan komme til nytte innenfor flere fagområder.

Solcelleinstallasjoner er ofte knyttet sammen med andre deler av energisystemet i bygg, herunder batterier. Det er behov for et fortsatt, tverrfaglig fokus på brannsikkerheten ved implementering av nye tekniske systemer for energiproduksjon og energilagring i bygg.

7 Referanser

- [1] R. Stølen, R. F. Mikalsen, og J. P. Stensaas, «Solcelleteknologi og brannsikkerhet», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2018:31, ISBN:978-91-88695-68-0, sep. 2018.
- [2] R. F. Mikalsen *mfl.*, «Energieffektive bygg og brannsikkerhet», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2019:02, ISBN: 978-91-88907-16-5, apr. 2019.
- [3] H. Laukamp *mfl.*, «PV fire hazard-analysis and assessment of fire incidents», presentert på 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2013.
- [4] N. S. Bunkholt, B. Time, L. Gullbrekken, S. Grynning, og T. Kvande, «Bruk av bygningsintegreerte solceller BIPV i Norge.pdf», SINTEF, Kunnskapsstatus SINTEF Fag 82, jun. 2021.
- [5] J. S. Kristensen, F. B. M. Faudzi, og G. Jomaas, «Experimental study of flame spread underneath photovoltaic (PV) modules», *Fire Safety Journal*, s. 103027, mai. 2020.
- [6] J. S. Kristensen, B. Merci, og G. Jomaas, «Fire-induced reradiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs», *Fire and Materials*, bd. 42, nr. 3, s. 316–323, apr. 2018.
- [7] J. S. Kristensen og G. Jomaas, «Experimental study of the fire behaviour on flat roof constructions with multiple photovoltaic (PV) panels», *Fire Techn*, bd. 54, nr. 6, s. 1807–1828, 2018.
- [8] L. Myhre, «Vanleg takkonstruksjon på bolig og småhus», 22 jan. 2022.
- [9] E. F. Smepllass, «Brannsikkerhet i bygg med solcelleanlegg», Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2016.
- [10] «CEN/TS 1187:2012. Prøvningsmetoder for utvendig branneksponeering av tak». European Committee for Standardization, 2012.
- [11] B. Backstrom og M. Tabaddor, «Effect of Rack Mounted Photovoltaic Modules on the Flammability of Roofing Assemblies – Demonstration of Mitigation Concepts», Underwriters Laboratories Inc., IN15911, R26475, sep. 2009.
- [12] B. Backstrom, M. Tabaddor, og P. Gandhi, «Effect of Rack Mounted Photovoltaic Modules on the Fire Classification Rating of Roofing Assemblies Phase 1», Underwriters Laboratories Inc., 2009.
- [13] B. Backstrom, D. Sloan, og P. Gandhi, «Effect of Rack Mounted Photovoltaic Modules on the Fire Classification Rating of Roofing Assemblies Phase 2», Underwriters Laboratories Inc., jan. 2012.
- [14] «Kollegiet for brannfaglig terminologi», 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.kbt.no>.
- [15] R. Stølen, J. S. Fjærestad, og R. F. Mikalsen, «EBOB – Solcelleinstallasjoner på bygg. Eksperimentell studie av brannspreiing i holrom bak solcellemodular på skrå takflater. Del 2: Teknisk rapport.», RISE Fire Research, RISE Rapport 2022:83, 2022.
- [16] «Personlig korrespondanse (epost) mellom Ragni Fjellgard Mikalsen (RISE), Anne Steen-Hansen (RISE/NTNU), Reidar Stølen (RISE) og Giombattista Traina (Istituto Giordano).», apr. 2021.
- [17] «Personlig korrespondanse (epost) mellom Ragni Fjellgard Mikalsen (RISE), Anne Steen-Hansen (RISE/NTNU), Reidar Stølen (RISE) og Dieter Brein.», mai. 2021.
- [18] NEK 400, «Elektriske lavspenningsinstallasjoner», Norsk Elektroteknisk Komité, Norwegian electrotechnical norm, 2018.
- [19] «TPF informerer nr. 15: Innfesting av solanlegg på kompakte tak – råd og anbefalinger». Takprodusentenes Forskningsgruppe, mar. 2022.
- [20] Kommunal og moderniseringsdepartementet, *Lov 27. juni 2008 nr. 71 om planlegging og byggesaksbehandling (Plan og bygningsloven)*. 2008.
- [21] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 26. mars 2010 nr. 488 om byggesak (byggesaksforskriften SAK10)*. 2013.

- [22] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 19. juni 2017 nr. 840 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK17)*. 2017.
- [23] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK)*. 2017.
- [24] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 17. desember 2013 nr. 1579 om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK))*. 2014.
- [25] «N 3205 - Responses received on questionnaire CEN/TC 127/WG5 N434, in N 3185, (Fire scenarios for the assessment of over roof PV modules by testing)». CEN/TC 127, 08 mar. 2020.
- [26] D. Brein, «N 3294 - Report from Working Group 5». CEN/TC 127, 02 nov. 2021.
- [27] P. Cancelliere, G. Manzini, G. Traina, og M. G. Cavriani, «PV modules on buildings— Outlines of PV roof samples fire rating assessment», *Fire Safety Journal*, bd. 120, s. 103139, 2021.
- [28] «EN 13823: 2010 Reaction to fire test for building products - Building products excluding flooring exposed to the thermal attack by a single burning item». CEN, 2010.
- [29] «NEK CLC/TR 50670:2016 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays - Test method(s)». Norsk Elektroteknisk Komité, NK82, 02 jan. 2017.
- [30] «NS-EN 13501-5:2005 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 5: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av tak utsatt for utvendig branneeksponering». Standard Norge, 2005.
- [31] «UL790, Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings». Underwriters Laboratories, 22 apr. 2004.
- [32] Solenergiklyngen, «Brannveileder for solenergianlegg for brannvesen: En praktisk tilnærming til solceller og solfangere», mai. 2019.
- [33] «Veileder om solenergi for brann- og redningsvesen, en praktisk tilnærming til solceller og solfangere», Solenergiklyngen, mar. 2020.
- [34] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift om organisering, bemanning og utrustning av brann- og redningsvesen og nødmeldesentralene (brann- og redningsvesenforskriften)*. 2021.
- [35] R. Backstrom og D. A. Dini, «Firefighter Safety and Photovoltaic Installations», Underwriters Laboratories Inc., Northbrook, IL, USA, nov. 2011.
- [36] «Veiledning, Innsats i forbindelse med solcelleanlegg», Beredskapsstyrelsen, okt. 2016.
- [37] T. Rød, «Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner», Master thesis, Western Norway University of Applied Sciences, Haugesund, Norway, 2021.
- [38] «Elsikkerhet nr. 73». DSB, direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2008.
- [39] B. G. Olsø, R. Stølen, R. F. Mikalsen, N. S. Bunkholt, og J. Hjertnes, Innsendt til vitenskapelig tidsskrift, ikke publisert, 2022.

Vedlegg A: Spørreundersøkelse til norske brannvesen

I dette vedlegget er innholdet i spørreundersøkelsen som ble sendt ut til norske brannvesen gjengitt. En nettbasert, gratis side for spørreundersøkelser (SurveyMonkey) ble brukt til utsending og innsamling av svar.

Brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner

Spørreundersøkelse om brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner til norske brannvesen.

Denne spørreundersøkelsen er en del av RISE Fire Research sin studie av brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner, på oppdrag fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK).

Undersøkelsen har til hensikt å belyse følgende forskningsspørsmål: Hva slags utstyr og kompetanse må brann- og redningsvesenet ha som et minimum for å håndtere brann i eller ved utepåmonterte solcelleinstallasjoner? Vi bruker her begrepet solcelleinstallasjon om det komplette anlegget med montert utstyr til et solcellestrømforsyningssystem, inkludert solcellepaneler og alt nødvendig tilleggsutstyr.

Undersøkelsen presenteres for deltakere på Klima Østfold sitt webinar torsdag 14 oktober, og deltakerne oppfordres til å besvare undersøkelsen, i tillegg til at den sendes ut til utvalgte brannvesen.

De individuelle svarene vil bli behandlet konfidensielt i prosjektet, og vil ikke knyttes til respondenten. Det er helt i orden med flere svar fra samme brannvesen.

Svarfrist: 28 oktober 2021.

1. Hvilket brannvesen tilhører du?

[tekstsvaer]

2. Kompetanse: Har du eller andre fra ditt brannvesen deltatt på kurs eller opplæring (eksternt eller internt) om håndtering av brann i solcelleinstallasjoner?

- Ja

- Nei

- Vet ikke

[Hvis ja, beskriv kort når det var og hva det omfattet: tekstsvaer]

3. Utstyr: Har dere eget utstyr som brukes ved brann i solcelleinstallasjoner, eksempelvis verktøy, bekledning, verneutstyr, sløkkemiddel, annet? Vær gjerne så spesifikk som mulig med modell, merke, navn på leverandør eller lignende.

- Ja

- Nei

- Vet ikke

[Hvis ja, beskriv. Hvis nei, utdyp gjerne hvorfor ikke: tekstsvaer]

4. Prosedyre: Har dere en egen prosedyre/ standard operasjonell rutine eller lignende for hendelser som inkluderer brann i solcelleinstallasjoner? Beskriv gjerne kort hva den omfatter.

- Ja
- Nei
- Vet ikke

[Hvis ja, beskriv. Hvis nei, utdyp gjerne hvorfor ikke: *tekstsva*r]

5. Erfaring: Har dere i løpet av de siste 5 år hatt utrykning til en brann i et bygg med solcelleinstallasjon?

- Ja
- Nei
- Vet ikke

[Hvis ja, ca hvor mange branner, og var solcelleinstallasjonen(e) involvert i brannen(e)?: *tekstsva*r]

6. ROS: Har kommunen/brannvesenet ditt utført/revidert ROS-analyse de siste 2 årene?

- Ja
- Nei
- Vet ikke

[Hvis ja, er brann i solcelleinstallasjon risikovurdert? Hvis nei, er det gjort selvstendige risikovurderinger på brann i solcelleinstallasjon?: *tekstsva*r]

7. Har ditt brannvesen en definert innsatsplikt eller bistandsplikt på brann i solcelleinstallasjoner?

- Ja, innsatsplikt og bistandsplikt
- Ikke innsatsplikt, kun bistandsplikt
- Vet ikke

[Annet/kommentar: *tekstsva*r]

8. Kan vi kontakte dere hvis vi har oppfølgingsspørsmål?

- Ja
- Nei

[Skriv inn navn og kontaktinfo: *tekstsva*r]

RISE – Research Institutes of Sweden
ri.se / info@ri.se / (+47) 464 18 000
Postboks 4767 Torgarden, 7465 Trondheim

E-post: post@risefr.no, Internett: www.risefr.no
RISE Rapport: 2022:82
ISBN: 978-91-89711-22-8

