



SAFETY & TRANSPORT
RISE FIRE RESEARCH



Solcelleteknologi og brannsikkerhet

Reidar Stølen, Ragni Fjellgaard Mikalsen, Jan Paul Stensaas

RISE-rapport 2018:31

Solcelleteknologi og brannsikkerhet

Reidar Stølen, Ragni Fjellgaard Mikalsen, Jan Paul Stensaas

Abstract

Solar cell technology and fire safety

The use of photovoltaic (PV) technology in Norway is increasing. In this study, fire safety challenges of PV technology are studied. Fire ignition, fire spread and fire extinguishing are investigated. The study forms a knowledge base for safeguarding fire safety during assembly, operation and during firefighting efforts, and to form unified and clear regulations. The results show:

Fire ignition: PV installations contain many electric connections which can be potential ignition sources, as well as a small volume of combustible materials. These provide everything needed to initiate a fire. It is important that all connections in a PV installation are robust and can withstand the stress they are exposed to throughout their lifetime, without causing malfunction that could cause a fire.

Fire spread: For building attached photovoltaics, there are cavities between the module and the building. If there is a fire in this cavity, the produced heat could be trapped, which could lead to a more rapid and extensive fire spread than if the building surface were uncovered. In large scale tests with PV modules mounted on a roof covering, the fire spread under the whole area covered with modules, but stopped when approaching the edge. This demonstrates the importance of sectioning when mounting PV installations, to avoid fire spread to the whole roof. An option is to use materials with limited combustibility as roof covering below the PV module, to withstand the increased heat exposure from the PV modules. The cavity between module and building could potentially also alter the air flow along the building, which in turn could affect the fire spread.

Firefighting: Firefighters need information on *whether* there is a PV installation in the building, and *where* there are electrical components. During firefighting efforts, the fire service must consider the danger of direct contact, and danger of arcs and other faults that could lead to new ignition points. Fresh water can be used as an extinguishing agent. This must be applied from at least 1 meter distance with spread beam and at least 5 meters distance with a focused beam. PV modules can complicate fire extinguishing as they represent a physical barrier between the fire fighter and the area to extinguish, and by creating areas which should be avoided due to danger of components with voltage. When these points are considered, building attached photovoltaics should not be a problem.

Further work: For building attached photovoltaics, there is little research on vertical mounting (on facades), and on how changed fire dynamics could affect fire spread and extinguishing. Also, today there is an increasing use of building integrated photovoltaics, which could potentially give many new challenges for fire safety and for regulations, as these are a part of the building and at the same time electrical components. German statistics indicate that there is an increased fire risk for these types of installations, compared to building attached photovoltaics, making this an important focus area for further work.

Key words: Fire, Safety, Solar cell, PV cell, Photovoltaic cell, Solar photovoltaic cell, inverter, PV installation, PV module, PV array, PV string, regulations
Brann, sikkerhet, solcelle, solcelleinstallasjon, solcellemodul, solcellematrise, solcellestreng, vekselretter, regelverk

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2018:31

ISBN:978-91-88695-68-0

Prosjektnummer: 20228

Kvalitetssikring: Christian Sesseng

Finansiert av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, samt Direktoratet for byggkvalitet

Forsidebilde: Solcelleinstallasjon på fasade i Trondheim. Foto: RISE Fire Research.
Trondheim 2018

Innhold

Abstract	1
Innhold	3
Sammendrag	5
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn	6
1.2 Målsetting	6
1.3 Avgrensninger.....	7
1.4 Ordliste	7
2 Regelverk	9
2.1 Byggesaksforskriften (SAK10)	9
2.2 Byggteknisk forskrift (TEK17)	10
2.3 NEK 400-7-712	10
2.4 Retningslinjer og erfaringer fra andre land.....	11
2.4.1 Europeiske retningslinjer	11
2.4.2 Tyskland	12
2.4.3 Dubai	12
2.4.4 USA.....	12
2.4.5 Italia.....	13
2.4.6 Australia	13
3 Litteraturstudie	14
3.1 Utbredelse av solcelleinstallasjoner.....	14
3.2 Oppbygging av en solcelleinstallasjon.....	14
3.3 Solcelleinstallasjon som antenneskilde.....	16
3.3.1 Solcellemodul	16
3.3.2 Likestrømsanlegg	17
3.3.3 Vekselretter	17
3.3.4 Vekselstrømsanlegg.....	18
3.3.5 Feiltyper.....	18
3.4 Solcelleinstallasjoners påvirkning på brannutvikling og spredning	19
3.5 Slokkeinnsats i bygg med solcelleinstallasjoner.....	21
3.5.1 Strøm gjennomgang i vannstråle	22
3.5.2 Fare ved spenningsatte deler av solcelleinstallasjoner.....	24
4 Case-studie fra ASKO-brannen	27
4.1 Hendelsesforløp.....	27
4.2 Forebygging og risikofaktorer.....	30
4.3 Læringspunkter	30

4.4	Etterspill	31
5	Konklusjoner og anbefalinger	32
5.1	Hypoteser.....	32
5.2	Anbefalinger for regelverk	33
5.3	Anbefalinger for montering og bruk av solcellemoduler	35
5.4	Anbefalinger for brannvesen	36
5.5	Anbefalinger for videre studier.....	37
	Referanser	37

Sammendrag

Bruken av solcelleteknologi er i stor vekst i Norge. I denne studien er branntekniske utfordringer ved bruk av solcelleteknologi undersøkt, med hensyn på brannstart, brannspredning og brannsløkking. Studien danner et kunnskapsgrunnlag for å ivareta brannsikkerheten under montering, drift og under slukkeinnsats, samt for å utforme et enhetlig og tydelig regelverk. Resultatene fra studien viser:

Brannstart: Solcelleinstallasjoner inneholder mange koblingspunkt, som kan være potensielle tennkilder, og en liten mengde brennbare materialer. Dermed er det som trengs til stede for å starte en brann. Det er viktig at alle kontaktpunkter i solcelleinstallasjonen er robuste og tåler den påkjenningen de blir utsatt for gjennom sin levetid uten at det oppstår dårlig kontakt som kan føre til brann.

Brannspredning: For utenpåmonterte solcellemoduler er det ofte en åpen luftspalte mellom modul og bygning. Dersom det er en brann i denne luftspalten, vil varmen kunne bli akkumulert, noe som kan føre til raskere og større brannspredning enn om bygningsoverflaten ikke hadde vært tildekket. I fullskalaforsøk med solcellemoduler montert på tak spredte brannen seg under hele arealet som var dekket av moduler, men stoppet da den nærmet seg kanten av dette arealet. Dette illustrerer viktigheten av at områder med solceller utenpå en bygning blir seksjonert for å unngå brannspredning. Eventuelt kan det benyttes mindre brennbare materialer på taket under solcellemodulene for å motvirke den økte varmepåkjenningen som solcellemodulene gir. Luftspalten mellom modul og bygning kan potensielt også gi endringer i luftstrømningen langs bygget, som igjen kan påvirke brannspredningen.

Brannsløkking: Brannvesenet har behov for informasjon om det er solcelleinstallasjon i bygget og *hvilke deler* av det elektriske anlegget som kan være spenningsatt. Under slukkeinnsats må brannvesenet ta hensyn til berøringsfare, og fare for at det kan oppstå lysbuer og andre feil som kan føre til nye antennelsespunkt. Ferskvann kan brukes som slökkemiddel, dette må spyles fra minimum 1 meters avstand med spredt stråle og minimum 5 meters avstand med samlet stråle. Solcellemoduler kan komplisere brannsløkking ved at de danner en fysisk barriere mellom brannvesenet og brannen, samt fordi det må tas hensyn til plassering av spenningsatte komponenter. Når disse punktene er tatt høyde for, bør ikke utenpåmonterte solcelleinstallasjoner være et problem.

Videre arbeid: For utenpåmonterte solcelleinstallasjoner, er det lite forskning på vertikal montering (på fasader), og hvordan en eventuell endret brannodynamikk kan påvirke brannspredning og sløkking. Videre er det i dag økende bruk av bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner, noe som gir mange mulige nye utfordringer for brannsikkerheten og for regelverk, ettersom solcellen da er en del av bygningskroppen, samtidig som den er en elektrisk komponent. Tysk statistikk tyder på at brannrisiko for slike installasjoner kan være større enn for utenpåmonterte solcelleinstallasjoner, og dette vil det derfor være viktig å undersøke nærmere.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I Norge blir det mer og mer vanlig å se solcelleinstallasjoner på bolighus, offentlige bygg og næringsseiendom. Med økt samfunnsmessig fokus på grønne og fornybare energiløsninger, kan det forventes at bruken av solceller kommer til å vokse også i årene som kommer.

Bakgrunnen for dette prosjektet er denne økende bruken av solceller, samt en kartlegging av ulike tema innenfor energieffektive bygg og brannsikkerhet gjennomført av RISE i 2015 [1]. Et av temaene som ble vurdert til å være aktuelle å gå videre med var brannrisiko ved bruk av solcelleinstallasjoner.

Økt bruk av solcelleinstallasjoner medfører en del nye problemstillinger, både med tanke på brannsikkerhet under montering og drift, og som element under innsats ved slokking av en eventuell brann i et bygg som har hele eller deler av sin energiforsyning fra solceller montert på fasade eller tak. Solceller er langt mer utbredt på mer solrike steder i verden, som Tyskland og California, og lærdom derfra kan nok tas i bruk for å sørge for at det norske regelverket er tydelig og enhetlig med hensyn på solcelleinstallasjoner.

1.2 Målsetting

Målsettingen med dette prosjektet er å undersøke branntekniske utfordringer ved bruk av solcelleteknologi.

Prosjektet tar for seg følgende problemstillinger:

1. Hvilket regelverk gjelder for montering og bruk av solcelleinstallasjoner i Norge i dag?
2. Hvordan er utbredelsen av solcelleinstallasjoner i Norge i dag (fokus på anlegg som leverer ≥ 230 V)?
3. I hvilken grad, og hvordan, kan ulike komponenter i installerte solcelleinstallasjoner (solcellemodul, likestrømskabling, vekselretter) bidra til økt fare for antennelse av brann?
4. På hvilke måter representerer solcelleinstallasjoner økt fare for innsatspersonell i et brennende bygg der solceller er installert på fasade og/eller tak?
5. Hvilke tiltak er anbefalt i litteraturen for å unngå uønskede hendelser, og redusere omfang og konsekvenser av eventuelle hendelser?
6. Hvordan ble de branntekniske utfordringene med solcelleinstallasjon i ASKO-brannen håndtert? Hva kan vi lære fra brannen?

Følgende hypoteser er undersøkt:

1. Solcelleinstallasjoner bidrar til flere branner i elektriske anlegg, og gir større sannsynlighet for antennelse i det elektriske anlegget enn et vanlig elektrisk anlegg.
2. Solcelleinstallasjon på en bygning utgjør en risiko for brannvesenet når de skal gjennomføre en slokkeinnsats.
 - a. Spyling av vann på spenningsatte deler av en solcelleinstallasjon kan gi fare for strømgjennomgang og personskaade.
 - b. Å lage hull i bygninger med solcelleinstallasjoner kan gi fare for berøring og strømgjennomgang.
 - c. Informasjon til innsattpersonell ved bygninger med solcelleinstallasjoner er mangelfull.

1.3 Avgrensninger

Det er selve solcellemodulene og de nødvendige tilleggskomponentene som blir vurdert i dette prosjektet.

Vurderinger knyttet til oppbygging av nærliggende bygningsdeler (takkonstruksjon, takoverflater, fasade etc.) er ikke omhandlet.

Videre er heller ikke bygningsintegreerte solceller eller system for energilagring og distribusjon til strømmettet vurdert i dette prosjektet.

Studien er basert på gjennomgang av offentlig tilgjengelig informasjon, primært i form av nordisk- eller engelskspråklige publiserte studier. Studien inkluderer ikke eksperimentelt arbeid, intervjuer eller annen informasjonsinnhenting.

1.4 Ordliste

En oversikt over forkortelser og uttrykk brukt i denne rapporten er gitt i Tabell 1-1 og Tabell 1-2.

Tabell 1-1: Oversikt over forkortelser som er brukt i denne rapporten, med engelsk oversettelse.

Forkortelse	Norsk	Engelsk
AC	Vekselstrøm	Alternating current
BAPV	Utenpåmontert solcelleinstallasjon	Building attached photovoltaics
BIPV	Bygningsintegreert solcelleinstallasjon	Building integrated photovoltaics
CEN		European Committee for Standardization
CENELEC		European Committee for Electrotechnical Standardization
DC	Likestrøm	Direct current
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet	Norwegian Building Authority

Forkortelse	Norsk	Engelsk
DOK	Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk	
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap	Norwegian Directorate for Civil Protection
FEL	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg	
IEC		International Electrotechnical Commission
NEK	Norsk elektroteknisk komité	
PBL	Plan- og bygningsloven	
PV	Fotovoltaisk	Photovoltaics
SAK10	Byggesaksforskriften	
TEK17	Byggteknisk forskrift	
VTEK	Veiledning om tekniske krav til byggverk	

Tabell 1-2: Oversikt over uttrykk som er brukt i denne rapporten, med engelsk oversettelse og deres definisjoner.

Norsk	Engelsk	Definisjon
Solcelle	Solar cell, PV cell, Photovoltaic cell, Solar photovoltaic cell	Mest elementære enhet som utviser den fotovoltaiske effekten, dvs. den direkte ikke-termiske omdannelsen av stråleenergi til elektrisk energi [2]
Solcelleinstallasjon	PV installation	Montert utstyr til et solcellestørforsyningssystem [2]. 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 [2]
Solcellematrise	PV array	Sammenstilling av elektrisk sammenkoblede solcellemoduler, solcellestrenger eller solcelledelmatriser [2]
Solcellestreng	PV string	Krets av én eller flere seriekoblede solcellemoduler [2]
Vekselretter	Inverter	Solcelleomformer som omformer DC-spenning og DC-strøm fra solcellematrisen til AC-spenning og AC-strøm [2]

2 Regelverk

I dette avsnittet vil rammebetingelser som gjelder for montering og bruk av solcelleinstallasjoner bli presentert.

Det eksisterer ikke et spesifikt regelverk for solcelleinstallasjoner i Norge i dag. Det finnes både frittstående, utenpåmonterte og bygningsintegreerte solcellemoduler. Regelverket er i dag ikke tydelig på hvordan ulike typer solcellemoduler skal behandles, altså hvorvidt disse skal kategoriseres som elektriske lavspenningsinstallasjoner, byggevarer¹ eller en kombinasjon av disse. Generelle branntekniske og elektrotekniske krav og retningslinjer er gitt i blant annet gitt i byggt teknisk forskrift (TEK17) [3], forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) [4] og NEK 400 [2].

Følgende lover, forskrifter og standarder vil kunne påvirke installasjon og bruk av solcelleinstallasjoner, når det gjelder brannsikkerheten for slike anlegg:

1. Norsk regelverk som omfatter brann:
 - Plan- og bygningsloven (PBL) [5]
 - Byggesaksforskriften (SAK10) [6] med veiledning [7]
 - Byggt teknisk forskrift (TEK17) [3] med veiledning [8]
 - Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) [9]
 - Brann- og eksplosjonsvernloven [10]
 - Forskrift om brannforebygging [11]
2. Norsk regelverk som omfatter elektriske installasjoner:
 - El-tilsynsloven [12]
 - Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) [4]
 - NEK 400, spesielt NEK 400-7-712 [2]

2.1 Byggesaksforskriften (SAK10)

Solcelleinstallasjoner er omtalt som en bygningsteknisk installasjon² i veiledning til byggesaksforskriftens §4-1 bokstav d nr. 4, oppdatert 4.august 2016:

«Solenergianlegg, som solcelle- og solfangeranlegg, er å anse som bygningsteknisk installasjon og er søknadspliktig (...)»[7]

I eksisterende byggverk, innenfor en bruksenhet eller branncelle, vurderes installering og endring av solenergianlegg som enkel installasjon, og er ikke søknadspliktig. Utover dette omhandles ikke solcelleinstallasjoner eller solcellemoduler i byggesaksforskriften.

¹ DiBKs definisjon av byggevarer: En byggevarer er et produkt som bygges inn i byggverk og som påvirker byggverkets grunnleggende egenskaper (mekanisk stabilitet, brannsikkerhet, beskyttelse av brukernes helse og hygiene, sikkerhet ved bruk og vern mot støy og energi).

² DiBKs definisjon av bygningsteknisk installasjon: «installasjoner (innendørs eller utendørs) som er nødvendige for byggverkets drift» [8]

2.2 Byggteknisk forskrift (TEK17)

Det er per i dag ikke definert hvorvidt en solcelleinstallasjon er å betrakte som en byggevare eller ikke. Dersom solcelleinstallasjoner skal betraktes som en byggevare, vil disse måtte følge de lover og regler som følger av den felleseuropeiske *byggevareforordningen*, som er innlemmet i EØS-avtalen og dermed implementert i norsk lovgivning. Byggteknisk forskrift (TEK17) [3] er utviklet på grunnlag av den europeiske byggevareforordningen. TEK17 nevner imidlertid ikke spesifikke krav til solcelleinstallasjoner, men til byggevarer generelt.

TEK17 er basert på funksjonskrav, som gir generelle kvalitative formuleringer basert på behovet for brannsikkerhet i ulike bygningstyper. Forskriften angir minimumskrav myndighetene har satt for brannsikkerhet i bygninger. Kravene angitt i TEK17 sier ikke hvordan bygninger skal utformes eller utføres, men angir nødvendig funksjon for å oppnå tilfredsstillende brannsikkerhet. TEK17 inneholder likevel enkelte detaljkrav og ytelseskrav. Solcelleinstallasjoner er for eksempel direkte berørt av § 11-10, som sier:

«Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonen ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg.»[3]

Kravene til brannsikkerhet i TEK17 er gitt i kapittel 3 og 11, for henholdsvis dokumentasjon og sikkerhet til produkter som benyttes i bygget ved brann. Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK) [8] angir minimum ytelsesnivåer på bakgrunn av funksjonskravene gitt i TEK17 i form av preaksepterte ytelser. De preaksepterte ytelsene baseres på løsninger som i praksis har vist seg gode nok over tid. Følger man ytelsesnivåene i VTEK, vil man automatisk tilfredsstille funksjonskravene i TEK17. De preaksepterte ytelsene i VTEK kan fravikes, men dette krever imidlertid at brannsikkerheten er ivaretatt gjennom analyse.

Det er også deler av TEK17 som indirekte kan berøre solcelleinstallasjoner, slik som tilrettelegging for rednings- og slökkemannskap. Solcellemoduler på tak skal monteres på en slik måte at det tilrettelegges for at brannpersonell kan bevege seg uten unødig fare. Behovet for tilrettelegging av ventilering og sløkkeinnsats på taket bør derfor avklares med brannvesenet i forbindelse med installasjon av solcelleinstallasjoner.

2.3 NEK 400-7-712

Den elektrotekniske delen av solcelleinstallasjoner omfattes av NEK 400, som er en normsamling utgitt av Norsk Elektroteknisk Komité. NEK 400 dekker strømforsyningsenheter med lavspenning, krav til installasjoner med stasjonære batterier og krav for installasjoner, der strømforsyningsenheten kan drives i parallell med andre strømkilder.

I siste versjon av NEK 400-7-712 [2], som gjelder fra 1. juni 2018 (med overgangsregler ut 2019), er innholdet om solcelleinstallasjoner betraktelig utvidet. Noen av de mest sentrale punkter med hensyn på brannsikkerhet for solcelleinstallasjoner er utarbeidet i samarbeid med brannvesenet og omhandler:

- 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.

NEK 400 angir at sikkerhetsmerking skal brukes på relevante steder i bygg hvor det er montert solcelleinstallasjon, som informerer om at deler av bygget kan ha spenning selv om det er frakoblet nett. Eksempler på slik merking er vist i Figur 5-1 i avsnitt 5.2. Slik merking er fordelaktig for sikkerheten til operatører, for vedlikehold, inspeksjon, netteiere og nødhjelpsetater.

2.4 Retningslinjer og erfaringer fra andre land

2.4.1 Europeiske retningslinjer

Alle nye EN-standarder vil automatisk bli gjeldende også i Norge, så fremt det ikke er innsigelser mot standarden. Dette skjer imidlertid sjeldent, og det er derfor lite sannsynlig at Norge vil ha innsigelser i forbindelse med solcellesystemer.

I den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN er det noe uenighet om hvorvidt solceller skal behandles som elektriske installasjoner, bygningsdeler eller som en kombinasjon av disse. Det er normalt sett komiteen *CEN/TC 127 Brannsikkerhet i bygninger* som utarbeider standarder for brannteknisk prøving og klassifisering av byggevarer. Nylig har derimot den elektrotekniske komiteen CENELEC (teknisk komité 82, undergruppe 1) utgitt en teknisk rapport som omhandler solceller, CLC/TR 50670:2016 "External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays - Test method(s)" [13]. I denne rapporten introduseres muligheten for brannteknisk vurdering av solcelleinstallasjoner, så lenge disse ikke er bygningsintegret. Det pågår nå samtaler i CEN systemet for å samkjøre tilnærmingen til solcelleinstallasjoner.

IEC, International Electrotechnical Commission, ga i 2016 ut en ny utgave av IEC 61730, som omhandler sikkerhet for solcelleinstallasjoner, hvor del 2 av standarden også omhandler branntesting [14,15]. Denne inkluderer småskala flammespredningstest og flyvebranntest.

En veileder ble også nylig utgitt av CFPA-E, the Confederation of Fire Protection Associations Europe, i 2018 [16]. Denne omhandler solcelleinstallasjoner og gir anbefalinger for å unngå tap av verdier. Det anbefales blant annet at man unngår at komponenter i solcelleinstallasjoner krysser brannvegger. Videre anbefales mellomrom mellom solcellemoduler, for å tilrettelegge for adkomst for drift og for brannvesen. Sikkerhetsmerking av solcelleinstallasjon i bygg er også anbefalt, i henhold til tyske anbefalinger (se Figur 5-1 i avsnitt 5.2).

Det er flere land som har lengre tradisjon for bruk av solcelleinstallasjoner enn det Norge har. Dette avsnittet vil gi en kort beskrivelse av retningslinjer og erfaringer fra andre land.

2.4.2 Tyskland

Tyskland har lang erfaring med solcelleinstallasjoner, og det finnes følgende en rekke dokument med retningslinjer og anbefalinger for å sikre sikker installasjon og drift. Et eksempel er en brosjyre utgitt i 2011 av en ekspertkommisjon for solcelleinstallasjoner, i samarbeid med tyske brannvesen [17]. Et annet eksempel er en omfattende veiledning fra Rheinland Energy and Environment med flere [18]. Ettersom de tyske dokumentene foreligger for det meste på tysk, har de ikke blitt gjennomgått i detalj.

2.4.3 Dubai

Elektrisitet- og vannmyndighetene i Dubai har utgitt et infoskriv om anbefalinger til solcelleinstallasjoner og brann sikkerhet [19]. Anbefalingene med hensyn til brann tester er basert på småskala flammespredningstest og flyvebranntest, i henhold til IEC 61730 del 2 [15], som igjen er basert på ANSI/UL 790 [20]. Dette omfatter test av brannmotstand for solcellemoduler som fungerer som taktekkning, eller som er montert utenpå et eksisterende tak. Dette vil i utgangspunktet inkludere både utenpåmonterte solcelleinstallasjoner (BAPV) og bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner (BIPV), men det spesifiseres at ytterligere, mer avansert testing med hensyn på brann sikkerhet kan være nødvendig for bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner.

Det gis også anbefalinger til montering for å hindre brannspredning fra solcellemodul til resten av bygget. Det anbefales å bruke ubrennbart materiale direkte under utenpåmonterte solcellemoduler og at solcellemodulene plasseres minimum 1 meter fra røykventilasjonsluker, og minimum 0,5 meter fra vinduer, skorsteiner og åpninger i bygget.

Det anbefales videre at en forenklet oversikt over hele solcelleinstallasjonen, inkludert plassering av solcellemoduler, kabler og frakoblingsmekanismer plasseres ved strømmåleren til hvert bygg. Det skal også være sikkerhetsmerking i områdene hvor selve utstyret befinner seg. Eksempler på slik merking er vist i Figur 5-1 og Figur 5-2 i avsnitt 5.2.

2.4.4 USA

Insentiver og regelverk sendringer kan tilrettelegge for økt bruk av solceller. Et eksempel på dette kan man finne i California, hvor det nylig ble påkrevd at alle nye hus skal ha solcelleinstallasjon [21].

2.4.5 Italia

Italienske myndigheter har hatt en insentivordning for å oppmuntre til bruk av solcelleinstallasjoner. Dette gjorde at bruken av solcelleinstallasjoner økte på kort tid [22]. Dette kan ha ført til en økning i antall branner, mer om dette i avsnitt 3.3.

Nylig har det italienske brannvesenet begynt å registrere hvorvidt det er solceller installert i bygg som brenner [23].

2.4.6 Australia

Brannvesenet i Australia har, i likhet med i Italia, begynt å registrere hvorvidt det var solceller installert på bygg der det har vært en brann [23]. Slike registreringsordninger vil på sikt kunne gi nyttig statistisk grunnlag for evaluering av brannrisiko for solcelleinstallasjoner.

3 Litteraturstudie

I dette avsnittet vil utbredelsen av solcelleinstallasjoner bli presentert, etterfulgt av en gjennomgang av oppbyggingen av en solcelleinstallasjon. I avsnitt 3.3 gjøres det rede for hvordan enkeltkomponenter i solcelleinstallasjonen bidrar til brannfare, og om de ulike typer feil som kan oppstå. Til slutt vil erfaringer fra studier omkring brannvesenets innsats i bygg med solcelleinstallasjoner bli presentert.

3.1 Utbredelse av solcelleinstallasjoner

I en artikkel fra Norsk solenergiforening fra 2018 [24] presenteres status for utbredelse av solkraft på verdensbasis. Solenergi markedet vokser, og i Europa er det utbygging i Tyrkia som er årsaken, mens på verdensbasis er det vekst i Kina som er drivende. Smartere byer er en trend som kommer til å gjøre at småskala solenergiinstallasjoner, for eksempel på tak og fasade av bolighus, kommer til å bli drevet videre fremover. I 2017 vokste verdens produksjon av elektrisitet fra sol og vind dobbelt så mye som fossil energi [25].

I Norge er markedet for solenergi i kraftig vekst, men fremdeles i startgropa, ifølge en kommentar i Energi og Klima av Stanislas Merlet og Bjørn Thorud fra Multiconsult [26]. Den foreløpig beskjedne utbredelsen kan ha en sammenheng med en «bekvem myte», om at det ikke er nok sol i Norge for å satse på solenergi, har Nina Jensen i WWF uttalt til Teknisk Ukeblad [27]. Tall presentert av Solenergiklyngen [28] kan derimot avkrefte denne myten, i alle fall for deler av landet, og deler av året. I store deler av Sør- og Østlandet er det en solinnstråling på nivå med sentrale områder i Tyskland, hvor solenergi er svært utbredt.

I Norge er innrapportert installert kapasitet omkring 45 MWp ³, hvorav omkring 18 MWp ble installert i løpet av 2017 [29]. Dette gir en beregnet strømproduksjon fra solceller omkring 14 GWh/år [29]. Det har ikke lyktes å finne konkrete tall på antall solcelleinstallasjoner i Norge i dag, noe som kan ha en sammenheng med at det ikke er obligatorisk å registrere solcelleanlegg.

3.2 Oppbygging av en solcelleinstallasjon

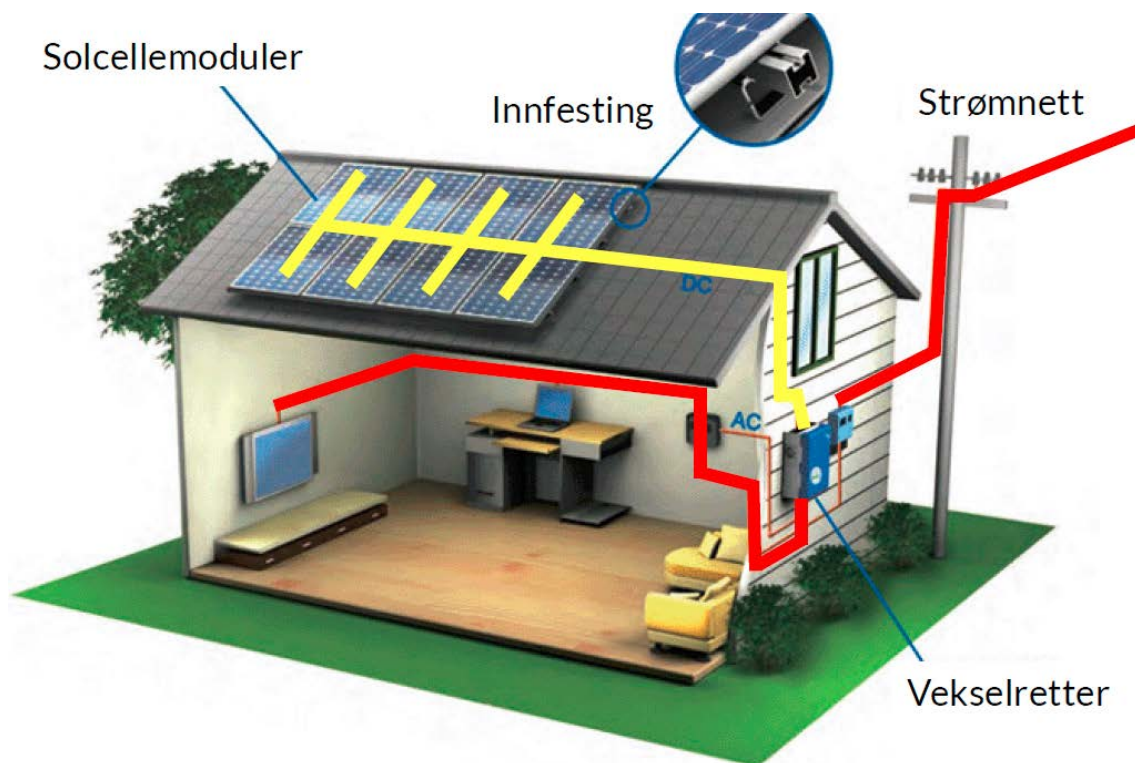
En solcelleinstallasjon produserer strøm fra solceller. En solcelle er en halvlederdiode som omdanner lys til elektrisk strøm ved hjelp av den fotovoltaiske effekten [30]. Hver enkelt solcelle produserer i omkring 0,5 volt uten last. Flere slike celler blir koblet i serie til en solcellemodul. En solcellemodul kan typisk ha mellom 32 og 96 celler slik at spenningen ut fra solcellemodulen blir summen av spenningen fra alle cellene. Dette kan bli mellom 20 og 60 volt.

³ MWp: Mega watt peak er merkeeffekt, det vil si effektkapasitet ved standard testforhold (1000 W/m² innstråling og temperatur på 25 °C).

I en solcelleinstallasjon som er montert på et bolighus kan det være noen titalls solcellemoduler avhengig av størrelsen på taket og hvor store solcellemodulene er. Solcellemodulene blir vanligvis koblet sammen i serie for å minimere energitapet i overføringen. Flere solcellemoduler koblet sammen i serie blir kalt en solcellestreng. Den totale spenninga fra en solcellestreng kan være opptil ca. 1000 volt.

Solceller produserer likestrøm, som må gjøres om til vekselstrøm dersom den skal kunne brukes og kobles sammen med det vanlige strømmettet i et hus, se illustrasjon i Figur 3-1. Dette blir gjort med en vekselretter som gjør om likestrømmen fra solcellene til vekselstrøm.

Dersom huset skal være forsynt av strøm både fra solceller og fra strømmettet skal vekselretteren bare levere strøm så lenge den har spenning inn fra strømmettet. Det vil si at den heller ikke vil levere strøm til huset eller ut på nettet dersom det blir strømbrudd eller dersom strømmen inn til huset blir koblet vekk. En slik utkobling vil gjøre hele vekselstrømdelen av strømmettet i huset strømløst. Vekselretteren kan ikke slå av solcellemodulene eller gjøre dem spenningsløse. Det vil si at spenningen fra solcellemodulene og fram til vekselretteren vil være til stede så lenge det er lys på solcellene og de ikke er frakoblet.



Figur 3-1: Illustrasjon av solcelleinstallasjon i et bolighus. Huset får strøm fra solcellemoduler på taket og fra strømmettet. Vekselretteren omdanner likestrøm fra solcellene (illustrert med gul kabling) til vekselstrøm (illustrert med rød kabling). Figuren er tilpasset fra GoGreenSolar.com [31].

3.3 Solcelleinstallasjon som antennelseskilde

I dette avsnittet vil det bli gitt en detaljert gjennomgang av hvordan ulike enkeltkomponenter i installerte solcelleinstallasjoner kan bidra til økt fare for antennelse av brann. Fokus blir lagt på hvilke typer feil som er rapportert å være hovedårsak til elektriske branner og hvordan disse feilene kan oppdages og unngås.

I Tyskland er det rapportert 30 branner per million solcelleinstallasjoner per år [32], mens det i Italia rapporteres om 1600 branner per 560 000 anlegg [33]. Det står ikke eksplisitt om de italienske brannene var i løpet av ett år, eller over hvor mange år det er rapportert over. I et nyhetsbrev fra SFPE påpeker italienske forskere og brannvesen at det har vært en markant økning i branner knyttet til solcelleinstallasjoner etter at italienske myndigheter åpnet opp en gunstig insentivordning for solceller i en kort periode [22]. Det blir estimert at det var i overkant av 700 branner relatert til solcelleinstallasjoner i 2012 i Italia. Dersom disse 700 brannene stammer fra 560 000 solcelleinstallasjoner utgjør det 1250 branner per million solcelleinstallasjoner per år. Den tyske studien [32] peker på at bygningsintegrerte solcellemoduler utgjorde omtrent 20 ganger høyere brannrisiko enn moduler som var montert på utsiden av bygningen. Det var mest vanlig at brannene oppstod i løpet av det første driftsåret til solcelleinstallasjonen, og de fleste brannene oppstod på tidsrom med mye solinnstråling. Dette kan tyde på at installasjonene allerede hadde feil eller svakheter ved installasjon som førte til brann da anlegget ble utsatt for full belastning.

Til sammenligning viser brannstatistikken for Norge i 2017 at 458 av 3339 boligbranner rapportert av brannvesenet startet i «Elektrisk utstyr» [34]. Med 2.5 millioner boliger i Norge i 2017 [35] blir dette 182 branner per million boliger per år som startet i elektrisk utstyr. «Elektrisk utstyr» vil også kunne inkludere solcelleinstallasjoner, selv om dette er relativt lite utbredt i Norge.

Det er ikke uten videre mulig å sammenligne data fra ulike statistikker fra ulike land, blant annet på grunn av ulik byggeskikk og ulike rapporteringssystem. Men dersom det i Tyskland og Italia oppstår mellom 30 og 1250 branner årlig per million solcelleinstallasjoner utgjør dette et vesentlig bidrag til brannstatistikken sammenlignet med de 182 brannene per million boliger som startet i elektrisk utstyr i Norge i 2017. Dette kan indikere at solcelleinstallasjoner gir større sannsynlighet for at det starter en brann i det elektriske anlegget, sammenlignet med et vanlig elektrisk anlegg.

Det begrensede statistiske grunnlaget fra Tyskland og Italia tyder på at faktorer som kvaliteten på solcelleinstallasjonene på grunn av en stimulert rask økning i installert effekt og bruken av bygningsintegrerte solcellemoduler kan gi store utslag i hvor stor antennelsesrisiko vi kan forvente av solcelleinstallasjoner.

3.3.1 Solcellemodul

Informasjon i dette avsnittet, og de etterfølgende avsnittene (3.3.1-3.3.4) er basert på studier av Laukamp et.al.[32] og Alam et.al.[36].

En solcellemodul består av selve solcellene som er loddet sammen i serie på modulen. Tilkoblingen skjer ved en koblingsboks som er montert på baksiden av modulen, hvor det er overgang fra lederne inne i hver modul, til kabler mellom modulene. Dersom et loddepunkt er dårlig utført kan dette føre til lokal varmgang i koblingen inne mellom solcellene. Utenom produksjonsfeil kan det oppstå skader på solcellemodulene som følge

av mekaniske påkjenninger eller lynnedslag som fører til ødelagte koblinger. Dersom det oppstår skader på solcellemodulen eller koblingsboksen, kan det trenge vann inn til de elektriske koblingene. Dette kan føre til korrosjon i kontaktpunkter, som kan gi dårlig kontakt, varmgang, glødende metalledere og lysbuer. I tillegg kan inntrenging av vann føre til jordfeil som kan gi større eller mindre strømmer og spenninger i deler av anlegget som ikke skal være strømførende.

3.3.2 Likestrømsanlegg

Strømmen gjennom en streng av solcellemoduler vil ikke bli større enn maksimal kortslutningsstrøm [2]. Så lenge alle kontakter og koblinger er i orden, skal dette være godt dimensjonert. Selv ved en full kortslutning vil ikke strømmen i kretsen kunne bli større enn det solcellemodulene er laget for. Denne strømmen vil gå gjennom alle koblingene i hver enkelt solcellestreng. En solcellestreng kan inneholde svært mange koblingspunkter av ulike typer, og strømmen må gjennom alle disse. Alle solcellemodulene blir koblet sammen i lange serier, og slike serier kan kobles sammen og kombineres til større anlegg. Mange av disse kablene og koblingene vil være utsatt for slitasje fra vær, vind og potensielt smågnagere og fugler. Denne påkjenningen kan føre til at vanntette koblinger og bokser ikke greier å holde vannet ute, slik at det oppstår fukt og korrosjon i kontaktpunkter.

Under montering av en solcelleinstallasjon må de ulike solcellemodulene kobles sammen der de skal monteres. Dette betyr at tilkoblinger må gjøres ute i felt, ofte med enkelt og mobilt verktøy. Alternativt må det brukes koblinger som kan monteres sammen sikkert uten bruk av verktøy. Skrutilkoblinger krever korrekt tiltrekkingsmoment og er generelt ikke å anbefale i slike anlegg på grunn av faren for feil tiltrekking. Det er etablert en standard type hurtigkobling for solcellemoduler, som går under betegnelsen MC4. Denne lages av flere ulike produsenter, og kommer gjerne ferdig installert på solcellemoduler. Ved sammenkobling av han- og hunplugg fra ulike leverandører, kan det oppstå dårlig kontakt, eller dårlig vanntetting som kan gi dårlig kontakt, varmgang, gløding, lysbue og brann på sikt. Selv om pluggdelene passer sammen, kan det være vanskelig å se om de er fra samme produsent [37].

Dersom solcellestrengen skal utstyres med seksjoneringsbrytere for å kunne dele opp spenningen i mindre deler, vil også disse bryterne skape flere kontaktpunkter som kan være en risiko og føre til dårlig kontakt og varmgang. Slike brytere bør opereres med jevne mellomrom for å sikre at det ikke oppstår korrosjon og økt kontaktmotstand inne i bryteren.

3.3.3 Vekselretter

Det har oppstått omtrent like mange branner i vekselretteren som i solcellemodulene, til tross for at det er mange ganger flere moduler enn vekselrettere [32]. En av årsakene som er påpekt i studien av Laukamp et.al.[32] er at vekselrettere har vært utsatt for vær og vind. I tillegg har det vært rapportert om koblinger med aluminiumskabler som ikke er gjennomført riktig og har ført til brann i flere vekselrettere. Væreksponeering for vekselrettere er ikke like relevant i Norge, ettersom disse plasseres innendørs.

3.3.4 Vekselstrømsanlegg

Vekselstrømsdelen av solcelleinstallasjoner viser en større hyppighet av branntilløp enn forventet, til tross for at dette er vanlige elektriske komponenter som også blir brukt i andre elektriske anlegg [32]. En forskjell som kan forklare dette, er at en solcelleinstallasjon vil arbeide med full effekt over lengre perioder, så lenge det er sol. De fleste andre elektriske komponenter arbeider med full effekt kun i kortere perioder.

Solcelleinstallasjoner vil dermed kunne sammenlignes med varmtvannsberedere, som også arbeider med full effekt over lengre tid. For varmtvannsberedere er det også viktig å unngå dårlige tilkoblinger og svakheter i kontaktpunkt. NEK 400 anbefaler fra 2014 at alle varmtvannsberedere over 1500 W tilkobles uten bruk av «vanlig» stikkontakt [2].

3.3.5 Feiltyper

Prinsipielt er det tre typer feil som kan oppstå i flere deler av en solcelleinstallasjon, og som er hovedårsakene til at det oppstår brann i solcelleinstallasjoner [36]:

- Lysbuefeil
- Jordfeil
- Fase-til-fase-feil (kortslutning)

3.3.5.1 Lysbuer

Lysbuer kan oppstå enten i serie eller i parallell med kretsen i en solcellestreng. Serielysbuer kan oppstå når den elektriske kretsen blir brutt og det oppstår et luftgap mellom de ledende komponentene. Dette kan oppstå som følge av dårlig kontakt i et punkt, noe som igjen fører til varmgang og at koblingen blir brutt. Dersom forholdene ligger til rette for det vil strømmen i kretsen fortsette å gå gjennom luftgapet som en lysbue. Dette gir svært høye temperaturer, gjerne over flere tusen grader, som kan starte en brann.

Dersom det oppstår skade på isolasjonen og kontakt mellom to spenningsatte deler av en solcelleinstallasjon kan det oppstå parallelllysue. Dette er i prinsippet det samme som en fase-til-fase -feil.

Lysbuer genererer høyfrekvent støy og kan detekteres ved å analysere frekvensspekteret i en solcelleinstallasjon. En solcellestreng kan fange opp høyfrekvent støy fra andre kilder, og i tillegg kan vekselretteren generere støy. Det er også verdt å merke seg at en serielysbue vil stoppe dersom strømmen i solcellestrengen blir brutt, mens en parallelllysue vil kunne øke i styrke dersom strømmen gjennom strengen blir brutt. I motsatt fall kan en parallelllysue stoppes ved å kortslutte solcellestrengen, mens en serielysbue vil øke i intensitet dersom man kortslutter strengen. En alternativ metode å detektere lysbuer på er å bruke infrarøde kamera for å finne punkter i solcelleinstallasjonen som er varmere enn normalt. Denne metoden kan avdekke alle typer feil som fører til varmgang i et koblingspunkt enten det kommer av dårlig kontakt og økt koblingsmotstand eller om det har oppstått en lysbue. Ved å undersøke

installasjonen for smelteskader og svimerker kan også feil som kun opptrer periodevis oppdages.

3.3.5.2 Jordfeil

Jordfeil kan oppstå fra alle spenningsatte komponenter dersom isolasjonen blir ødelagt eller som følge av vanninntrenging. Dette kan være svake jordfeilstrømmer som kan være vanskelig å oppdage. Det eksisterer flere måter å oppdage jordfeil i solcelleinstallasjoner, de ulike metodene har ulike fordeler og ulemper [36].

- *GFDI-sikring (Ground Fault Detection and Interruption)*: Negativ pol fra solcellestrengen er koblet til jord via en sikring. Denne sikringen kan være mellom 1 A og 5 A og vil ikke oppdage relativt små jordfeil. Denne er utbredt i USA.
- *RCD (Residual Current monitoring Device)*: Måler differansen mellom strøm inn og ut gjennom pluss- og minus-terminalen. Denne kan måle differansen mellom strømmen i kablene til og fra en solcellestreng med noen få milliamperes nøyaktighet. Alarmgrensen for denne typen vern må tilpasses det enkelte anlegget, men kan stilles så lavt som under 50 mA for de fleste solcelleinstallasjoner [38]. Denne er utbredt i Europa.
- *IMD (Insulation monitoring device)*: Måler isolasjonsmotstanden til jord. Denne er ofte brukt i kombinasjon med GFDI og RCD.

Det er normalt for en solcelleinstallasjon å ha små lekkasjestrømmer til jord, og disse kan variere med for eksempel luftfuktighet [38]. Det er derfor en fordel å overvåke en solcelleinstallasjon over tid for å kunne vite hvilke lekkasjestrømmer som er normale og når det oppstår en feil som øker denne strømstyrken. I større anlegg med flere solcellestrenger kan det være nyttig å sammenligne verdiene fra hver enkelt streng, for å kunne undersøke en avvikende streng nærmere for feil.

3.3.5.3 Fase-til-fase-feil

Fase-til-fase-feil oppstår når det skjer en kortslutning mellom to ulike deler av en solcelleinstallasjon med ulikt spenningspotensial. Slike feil kan føre til at en del av en solcellestreng blir kortsluttet og ikke bidrar til strømproduksjonen. Denne typen feil kan mistenkes dersom solcelleinstallasjonen produserer mindre energi enn tidligere.

3.4 Solcelleinstallasjoners påvirkning på brannutvikling og spredning

I dette avsnittet vil det bli gitt en gjennomgang av tilgjengelige studier vedrørende solcelleinstallasjoners innvirkning på brannutvikling og -spredning. Fokus legges på

selve solcelleinstallasjonen, og ikke på dens påvirkning på nærliggende bygningskomponenter.

Selve solcelleinstallasjonen inneholder normalt ikke veldig store mengder med brennbart materiale [39]. Solcellemodulene er normalt dekket på baksiden med en plastfolie. I tillegg vil isolasjonsmaterialer i kabler og koblingsbokser kunne bidra til brann. Det fins få publiserte studier som ser på materialegenskapene til ulike solcellekomponenter. I en nylig masteroppgave fra DTU, testet Kristensen [40] ulike solcellekomponenters forbrenningsvarme ved bruk av bombekalorimeter. Likestrømskabel ble målt til å ha en forbrenningsvarme i området 21-22 kJ/g, mens innfestingskomponenter (*PV mounting system*) hadde en forbrenningsvarme omkring 32 kJ/g. I tillegg ble ulike takbelegg testet.

Den samme forskningsgruppen har nylig publisert en studie [39] hvor de gjør tilsvarende målinger av forbrenningsvarme fra ulike deler på to ulike solcellemoduler, herunder lim, kabelisolasjon, koblingsboks, gummi og baksiden av modulen. Studien viste at hver enkeltkomponent hadde en vesentlig forbrenningsvarme (i området 5-45 kJ/g), men det ble påpekt at det var en relativt liten mengde av disse komponentene sammenlignet med glass og metall: totalt rundt 10 % av total masse. De anbefaler å unngå bruk av underdimensjonerte plastoppheng på solcellemoduler [23].

Dette viser at brennbart materiale i tradisjonelle solcellemoduler vil kunne bidra til brann, men i begrenset omfang. En studie av fleksible solcellemoduler som ble testet i konkalorimeter, viste at to ulike typer solcellemoduler hadde total varmeavgivelse på like under 80 MJ/m² [41], gjennomsnittlig for varme fluks 20-70 kW/m². En lignende studie av solcellemoduler med glassoverflate gav resultater fra 38 til 57 MJ/m² [42]. Til sammenligning er lite brennbare eller ubrennbare materialer (eksempelvis gips) typisk <10 MJ/m², mens svært brennbare materialer (eksempelvis noen typer plast) ligger på noen hundre MJ/m² [43].

Solcellemoduler som er plassert utenpå en bygning danner et ekstra sjikt utenpå selve bygget. For å sikre god kjøling av solcellene blir de som regel montert med et åpent luftrom mellom bygningen og solcellemodulene. Modulene kan monteres flatt eller i vinkel for å øke innfallsvinkelen til sollyset. Ved eksponering for flyvebrann vil solcellemodulene kunne bidra til å skjerme bygningen for brann dersom overflaten på solcellemodulen er motstandsdyktig. Hvis derimot en flyvebrann kommer inn i mellomrommet mellom bygningen og solcellemodulen, vil dette kunne føre til at brannekspansjonen på bygningsoverflaten øker. Det er gjennomført forsøk i henhold til CEN/TS 1187-test 2, med et takbelegg i en test for flyvebrann med en simulert solcellemodul montert 12.5 cm over takbelegget [44]. Resultatene ble sammenlignet med resultater fra samme takbelegg som ble testet uten den simulerte solcellemodulen. Testene viste at brannen spredte seg lenger oppover takbelegget når flyvebrannen ble plassert under den simulerte solcellemodulen enn når testen ble gjennomført uten overdekning.

Forsøk med en flamme fra en gassbrenner under en solcellemodul viste opptil fire ganger økning i strålingen mot takoverflaten sammenlignet med tilsvarende brann uten solcellemodul [39]. I en serie med forsøk med seks monterte solcellemoduler over en representativ takkonstruksjon ble det observert at brannen spredte seg til hele arealet som var dekket av solcellene, men stoppet maksimalt 50 cm unna kanten på solcellemodulene [40]. I disse forsøkene var det i liten grad det brennbare materialet i

solcellemodulene som bidro til brannspredningen, men at varmen fra brannen ikke kunne evakueres fritt oppover og vekk fra takoverflaten. Varmen ble reflektert og holdt tilbake nært taket på grunn av solcellemodulene. Denne effekten vil også være gjeldende for andre typer plater og paneler som er montert over et tak. Påvirkningen av varmerefleksjon vil nok variere avhengig av om modulene er montert flatt eller i vinkel, men dette er ikke studert.

I tillegg til varmerefleksjon, kan også produksjonstemperaturen fra modulene kunne påvirke brannspredning. Solcelleprodusenter angir at baksiden av solcellemodulene kan få en temperatur opp mot 80-100 °C ved full produksjon. Ut fra Stefan-Boltzmanns lov for et svart legeme tilsvarer dette en varmestråling på ca. 1 kW/m² fra undersiden av modulen og ned på taket. Dette er på samme nivå som varmestråling fra sola. Til sammenligning er minimum strålingsfluks for å antenne takbelegg av asfaltshingel ca. 12-15 kW/m², og for fiberglasshingel 23 kW/m² [45]. For utenpåmonterte moduler oppå disse typene takbelegg, vil med andre ord produksjonstemperaturen på baksiden av modulen ikke kunne antenne en brann, men vil potensielt kunne bidra til å opprettholde brannspredning.

Vertikale fasader med monterte solcellemoduler er ikke studert i disse arbeidene, men prinsippet med tilbakestråling mot veggoverflaten kan antas å gjelde også for vertikalt monterte moduler. Det er også en mulighet for at den vertikale luftspalten mellom fasaden og solcellemodulene gir raskere brannspredning oppover dersom varmen fra en brann blir bedre bevart langs bygningsoverflaten, og denne spalten ikke er tilstrekkelig seksjonert. Den vertikale luftspalten vil potensielt også kunne bidra til økt skorsteinseffekt, men dette er heller ikke studert. utfordringer knyttet til vertikale luftspalter kan også være relevant for andre fasadeløsninger, et aktuelt eksempel er brannen i Grenfell Tower i London i juni 2017 [46].

3.5 Slokkeinnsats i bygg med solcelleinstallasjoner

Når brannvesenet skal gjøre slokkeinnsats i et bygg har de ofte behov for å ta seg inn gjennom ulike deler av bygningen. Dette kan være for å evakuere folk, for å komme til med slokkeutstyr, eller for å ventilere ut røyk. I et bygg som brenner kan det ha oppstått skader på det elektriske anlegget som fører til jordfeil og berøringsfare i deler av bygningen. Ledninger kan også bli skadet som følge av at brannvesenet tar hull i vegger og tak under innsatsen. For å hindre dette, blir strømtilførselen til bygget koblet ut i slike tilfeller. For bygninger med solcelleinstallasjoner vil dette koble ut spenningen på heile vekselstrømdelen av anlegget. Dersom det er lys på solcellene vil fremdeles disse levere spenning fram til vekselretteren. Dersom disse kablene blir skadd, enten av brannen eller av brannvesenet kan det gi berøringsfare ved kontakt med kablene direkte, eller gjennom takrenner eller andre bygningsdeler av metall.

I et intervju med Trøndelag brann- og redningstjeneste, presentert i masteravhandlingen til Smeplass [44], kommer det frem at brannvesenet er skeptiske til ferdsløst i bolighus hvor det ikke er bekreftet at bygget er strømløst. I dag er prosedyren til brannvesenet at

de kontakter strømleverandør, som kobler ut vekselstrømmen inn til bygget slik at slukking trygt kan gjennomføres. Likevel kan det være likestrøm fra solcelle til vekselretter, og brannvesenet uttrykker skepsis til likestrøm fra solcelleinstallasjon i bygget.

3.5.1 Strømgjennomgang i vannstråle

Dersom brannvesenet spylar vann på komponenter som er spenningssatt med opptil 1000 volt fra solcelleinstallasjonen, kan dette gi strømgjennomgang for den som holder i strålerøret. Forutsetningen for dette er at strålen blir en del av en sluttet en krets fra spenningssatt del og til jord. Videre må strålen i seg selv ha tilstrekkelig lav elektrisk motstand slik at strømmen kan gå gjennom strålen. En studie utført av Underwriters Laboratory (UL LLC) i 2011 [47] viser at dette kan gjøres trygt under visse forutsetninger. Det ble gjennomført forsøk med to ulike typer strålerør, et med fast strålevinkel og et med justerbar strålevinkel.



Figur 3-2: (a) Det justerbare strålerøret som ble brukt i forsøkene fra UL LLC, av typen pistolgrep med kobling til 1-1/2" slange. Strålen kunne varieres fra samlet stråle til bred spredning. (b) Vannstråle rettet mot spenningssatt kobberplate. Figuren er hentet fra rapport av Backstrom og Dini, gjengitt med tillatelse fra UL LLC [47].

Strålerørene ble jordet gjennom en 500Ω motstand som skulle representere motstanden gjennom en menneskekropp mens det ble spylt vann på en kobberplate som var spenningssatt opp til 1000 V likestrøm, se Figur 3-2. Vannet som ble brukt i disse forsøkene hadde en ledningsevne på mellom 1050 og 1125 mikrosiemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$), som tilsvarer 105 – 112,5 mS/m.

Til sammenligning har norsk drikkevann langt lavere ledningsevne. Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften) [48] stiller krav om at ledningsevne til drikkevann i Norge skal være mindre enn 250 mS/m. Drikkevannet i de største norske byene er målt til langt lavere verdier enn denne grenseverdien, i området 8,9 – 12,0 mS/m for Oslo [49], 1,5 – 16,5 mS/m for Bergen [50–56], 12,7 – 14,3 mS/m for Stavanger [57] og gjennomsnittlig 12,97 mS/m for Trondheim [58].

Resultatene fra studien er gitt i Tabell 3-2. For sammenligning er en oversikt over grenseverdier for strømgjennomgang som kan være helseskadelig for folk gitt i Tabell 3-1. Resultatene viser at strømgjennomgangen ikke var merkbar for en person, det vil si under 2 mA, når strålen ble minst 15 fot lang (4,6 m). For fullt samlet stråle på 10 fot avstand (3 m) ble det målt 3,7 mA strømgjennomgang, og med tilsetning av 1 % klasse A skum: opptil 4,1 mA. I tillegg ble det gjort forsøk der strålen ble justert fra full samling til spredt stråle på 10 fot avstand. Dette førte til at strømgjennomgangen raskt gikk mot null.

Tabell 3-1: Grenseverdier for strømstyrke med likestrøm (DC) gjennom kroppen brukt ved forsøk med spyling av vann på spenningsatte komponenter [18,47].

Faregrad	IEC 60479-1	UL
Ufarlig	< 2 mA	< 2 mA
Merkbart, mulige muskelkontraksjoner	2 – 25 mA	2.1 – 40 mA
Tap av muskelkontroll	25 – 150 mA	40.1 – 240 mA
Fare for hjertestans	> 150 mA	> 240 mA

Tabell 3-2: Resultater fra studien av strømgjennomgang for fullt samlet stråle og for spredt stråle, med ulike avstander mellom strålerør og kobberplate [47]. Vannet som er brukt i denne studien er ferskvann med høy ledningsevne (100 mS/m), sammenlignet med det som er vanlig i Norge.

Vann	Avstand	Strømgjennomgang
Fullt samlet stråle, ferskvann	5 fot (1.5 m)	16.9 mA Merkbart
Fullt samlet stråle, ferskvann	10 fot (3 m)	3.7 mA Merkbart
Fullt samlet stråle, ferskvann m 1% skum	10 fot (3 m)	4.1 mA Merkbart
Spredt stråle, ferskvann	10 fot (3m)	~0 mA Ufarlig
Fullt samlet stråle, ferskvann	15 fot / 4.6 m	1.3 mA Ufarlig

I en lignende studie fra Tyskland, gjorde Reil et.al [59] målinger av strømgjennomgang i vannstråle. Detaljer fra studien er presentert i en tysk rapport av Sepanski et.al. [18], hvor det fremkommer at det ble målt større gjennomgang av strøm enn i forsøkene fra UL LLC [47]. I forsøk med både 1 m og 5 m avstand ble det målt merkbare strømmer på opp imot 25 mA gjennom den simulerte kroppen. En del av forklaringen på dette resultatet var at det i løpet av forsøket ble veldig vått på bakken og på utstyret som strålerøret var montert på. Dette førte til en parallell kobling med selve vannstrålen fra den spenningsatte solcellemodulen via den våte bakken, opp til strålerøret og gjennom den simulerte kroppen. Denne delen av strømgjennomgangen vil ikke være relevant i et tilfelle der en person holder i strålerøret fordi det da ikke er i kontakt med den våte bakken. I tillegg er det poengtert at den valgte motstanden (550 Ω) er lav. Denne er valgt

for å representere verste tilfelle, som er motstanden fra bar hud på en hånd til bar hud på en fot. Dersom man tar i betraktning at innsatspersonell har både hansker og støvler som gir en motstand i tillegg er også disse resultatene vurdert til å være på den sikre siden. Det blir konkludert med at avstandene som er referert til i den tyske normen DIN VDE 0132 (1 meter for spredt stråle og 5 meter for kompakt stråle) er trygge å følge ved slokking av branner i solcelleinstallasjoner opp til 1500 V DC.

I en norsk studie fra 1991 ble det også gjort målinger av strømgjennomgang ved bruk av vann som slokkemiddel i elektriske anlegg med spenning [60]. Her ble det gjort målinger på spenningsnivå mellom 130 V – 95 kV, samt fra 90 kV - 200 kV vekselspenning. En simulert kroppsmotstand på 560 Ω , og ferskvann med ledningsevne på ca. 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ble benyttet. Ved 2 m avstand og spredt stråle ble det ikke målt nivå høyere enn 300 mV over den simulerte kroppsmotstanden, som tilsvarer 0,54 mA strømgjennomgang. Dette er ufarlig nivå i henhold til Tabell 3-1. Ved bruk av samlet stråle, peker rapporten på at man kan komme opp i nivå som kan medføre fare for personer ved korte avstander. Ved stor avstand (7 m) var likevel strømgjennomgangen for samlet stråle lavere (~0,2 mA), som forklares med at her vil også en samlet stråle ha en stor spredning.

I en konferanseartikkel fra 2011 oppfordrer Häberlin et.al. [61] til å beholde roen («keine Panik»), når det kommer til slokkeinnsats på solcelleinstallasjoner. I Tyskland var det flere rapporterte hendelser hvor brannvesen meldte om usikkerhet omkring slokking av solcelleinstallasjoner. Forskerne mener at dette skyldes manglende kunnskap om solcelleinstallasjoner og fare for strømgjennomgang, og anbefaler opplæring av brannvesen, samt konsekvent merking av solcelleinstallasjoner i bygg.

Når det gjelder bruk av saltvann, er det lite informasjon i litteraturen. Saltvann har flere titalls ganger så stor ledningsevne som ferskvann, og faren for strømgjennomgang vil dermed være større. I studien fra UL LLC [47] ble ikke saltvann brukt, av sikkerhetshensyn. I den norske studien ble det brukt saltvann, og dette gav betydelig høyere strømgjennomgang enn ferskvann for korte avstander (1-3 m), med samlet stråle [60]. Som beskrevet ovenfor, var det likevel trygt å bruke saltvann ved 7 m avstand.

Resultatene fra litteraturen samsvarer med brannvesenets vurdering. Brannvesenet i Trøndelag brann- og redningstjeneste oppfatter ikke strømgjennomføring som en stor utfordring, siden brannvesenet erfaringsmessig har svært lite problemer med støt ved slokking [44]. Lignende vurderinger ble gjort av Mosseregionen interkommunale brann og redning under ASKO-brannen i 2017 [62,63], mer om dette i avsnitt 4.

3.5.2 Fare ved spenningsatte deler av solcelleinstallasjoner

Under slokkeinnsats kan det være behov for å ta hull i bygningsdeler for å påføre vann, eller for å ventilere ut røyk og varme gasser. Dersom solcellene er eksponert for lys vil de generere spenning. Sollys, kraftig skadestedbelysning og lyset fra en brann vil alle kunne generere strømmer som utgjør en fare for personer i henhold til Tabell 3-1 [47]. I studien ble lys fra en lyskaster på 2 - 29 kW, samt brann i 12 trepaller brukt. Studien viste at lyset fra fullmånen ikke var farlig.

Så lenge det eksisterer en forbindelse mellom solcellene vil den genererte spenningen være tilstede. Selv om vekselretteren og AC-delen av det elektriske anlegget er frakoblet kan det fortsatt være full spenning på DC-delen av anlegget som solcellene er koblet til. Dersom isolasjonen på kabler blir skadet av brannvesenet sin innsats kan dette utgjøre en fare for både elektrisk støt og for spredning av brannen [47]. På grunn av dette er det viktig at innsatspersonell har tilstrekkelig informasjon om hvilke deler av det elektriske anlegget som kan være spenningsatt, og at disse delene ikke er plassert på en slik måte at de hindrer brannvesenets innsats i stor grad.

Selv når solcellemodulene er tydelig skadet av brann, kan de generere farlige spenningsnivåer, se Figur 3-3. Denne spenningen kan føre til at det går strøm gjennom deler av solcelleinstallasjonen og eventuelt andre ledende materialer som har kommet i kontakt med skadde deler av anlegget. Dette kan føre til at en brann blusser opp igjen når solcellene igjen blir eksponert for sollys og genererer strøm. I tillegg kan dette føre til berøringsfare når solcellemodulene skal fjernes og demonteres etter en brann. Ved store skader kan det være vanskelig å forutse hvilke deler og komponenter som er spenningsatte. Det er derfor viktig at denne typen ryddearbeid blir gjennomført systematisk og forsiktig dersom solcellene er eksponert for lys.

For å eliminere berøringsfaren fra skadde solcellemoduler må enten solcellene seksjoneres i enheter som ikke utgjør farlige spenningsnivåer eller skjermes for lys. Tildekking kan gjøres med en lystett presenning. Forsøk gjennomført av UL LLC [47] viste at 2 av 4 testede presenninger ikke kunne hindre solcellene å generere farlige spenningsnivåer. Det ble i tillegg også gjort forsøk med å dekke til solcellemodulene med CAFS (Compressed Air Foam System). Solcellemodulene ble dekt av et skumlag med tykkelse fra 1 til 3 tommer uten at det hadde nevneverdig effekt på spenningen fra solcellene.

Det fins også ulike produkter på markedet som er utviklet for å kunne dekke til eller deaktivere solceller. Det finnes blant annet et skum som skal kunne dekke til solceller med et belegg for å hindre at de kan produsere farlig spenning.



(a)



(b)

Figur 3-3: Solcellemodul som er skadet i et brannforsøk utført av UL LLC [47]. Denne modulen viser tydelige skader fra brannen (a), men leverte fortsatt både strøm og spenning (b). Dette illustrerer at man ikke kan anta at en solcelleinstallasjon er uten spenning selv om den er tydelig brannskadet. Figuren er hentet fra rapport av Backstrom og Dini, gjengitt med tillatelse fra UL LLC [47].

4 Case-studie fra ASKO-brannen

I dette avsnittet vil det bli gitt en gjennomgang av ASKO-brannen, og hvordan de branntekniske utfordringene med solcelleinstallasjonen ble håndtert. Læringspunkter fra brannen vil også bli presentert.

ASKO-bygget ligger i Vestby kommune i Akershus, og er et av Norges største bygg [64]. Bygget består blant annet av fryselager, kjølelager (kjøletorg) og teknisk rom, se Figur 4-1.

Informasjon om hendelsesforløp og læringspunkter fra brannen er hentet en intern rapport fra Mosseregionen interkommunale brann og redning til Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, med tillatelse for gjengivelse av innhold, samt presentasjon av ASKO-brannen ved overbrannmester ved Mosseregionen interkommunale brann og redning, i Trondheim, 6. juni 2018.

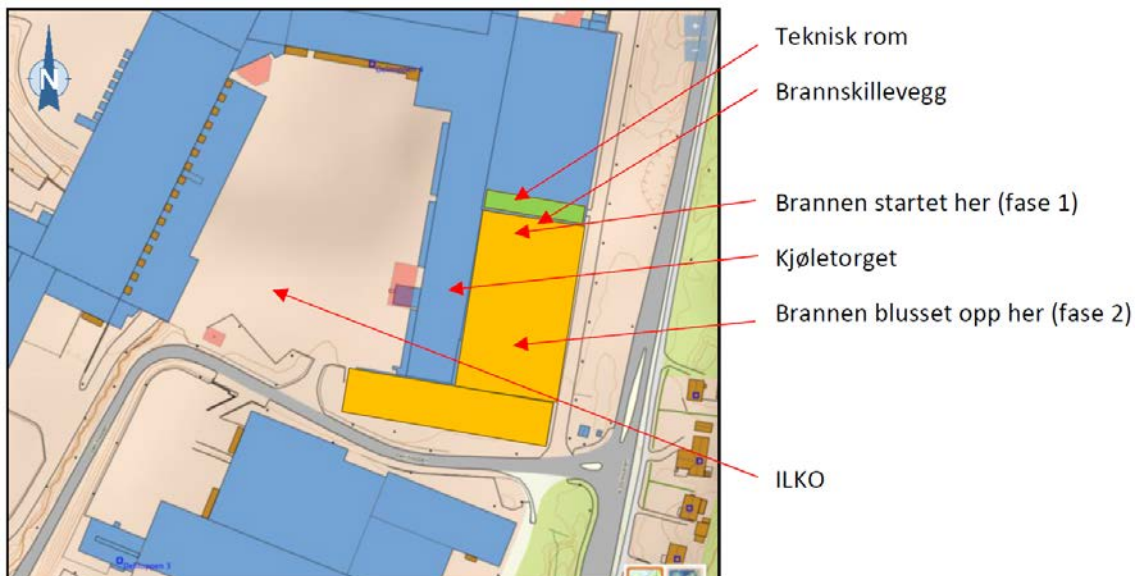
4.1 Hendelsesforløp

Brannen i ASKO-bygget startet fredag 7. april og ble ansett som slokkt torsdag 14. april 2017. Brannen deles inn i to faser. Fase 1 startet da brannen startet fredag ettermiddag 7. april. Fase 2 startet da brannen blusset opp på ny, fra tirsdag formiddag 11. april.

Fase 1: Fredag 7. april kl. 17:02 kom den første meldingen om automatisk brannalarm i ASKO bygget. Brannen antas å ha startet i en truck i fryselageret, og sjåføren fikk ikke til å slokke brannen selv. Personer ble evakuert fra bygget. Samtidig utviklet brannen seg raskt og spredte seg gjennom taket, se Figur 4-2. Det ble fokusert på å hindre brannspredning til det tekniske rommet på nordsiden av fryselageret, samt å hindre brannspredning over tak til kjøletårn for ammoniakk. Det var også viktig å hindre spredning til kjølelager (kjøletorg) vest for fryselageret.

Brannen ble ansett for å være under kontroll fredag kveld. Etter dette ble det gjennomført etterslokking. Det ble tatt hull på byggets østvegg for å slippe ut brannrøyk. Lørdag morgen blusset brannen opp igjen i matvarer i fryselageret. Slokkeinnsats inne i fryselageret var svært utfordrende på grunn av rasfare fra reoler i fryselageret, blokkering av gangbaner som følge av nedfall fra reoler og glatte gulv. Tidvis ble det lagt ned forbud mot røykdykking inne i bygget. Det ble tatt et større hull i østveggen, og etter hvert ble annethvert fakk (en del av veggen) på østveggen fjernet med gravemaskin.

Fase 2: Tirsdag 11. april rundt kl. 12 blusset brannen kraftig og raskt opp igjen, se Figur 4-3. Igjen ble det fokusert på å hindre brannspredning over tak og inntrengning av røykgasser til teknisk rom. Både utendørs og innendørs tok brannen seg kraftig opp, noe som gav spredningsfare og fare for ras fra reoler inne i bygget. Det ble derfor satt ned røykdykkerforbud. Skogbrannhelikopter ble også tatt i bruk, og dette kunne slippe vann direkte inn i bygget, via hull som brannen hadde laget i taket. På tirsdag ettermiddag ble det besluttet at deler av bygget skulle tømmes og rives, for å kunne gjøre effektiv slokking. Dette arbeidet fortsatte frem til fryselageret var nesten tomt for reoler og matvarer, se Figur 4-4. Brannen ble vurdert som slokkt torsdag morgen 14. april.



Figur 4-1: Kartutsnitt som viser ASKO-bygget. Den berørte delen av fryselageret (gult område), teknisk rom (grønt område), plassering av innsatsleder kommandoplass (ILKO) er angitt. Figuren viser også hvor brannen startet (fase 1) og hvor den blusset opp (fase 2), samt plassering av kjøletorg og brannskillevegg. Figuren er fra [62], gjengitt med tillatelse.



Figur 4-2: Oversiktsbilde over ASKO-bygget under brannen, bildet er tatt en gang mellom kl. 17-21, fredag 7.april (fase 1 av brannen). Bildet viser hvor det var montert solcellemoduler på tak, på den delen av bygget som tilsvarer høyre del av kartutsnitt fra Figur 4-1. Foto av Øst politidistrikt, gjengitt med tillatelse.



Figur 4-3: Slokkeinnsats på tak, fra høyderedskap, kl. 12:31 tirsdag 11. april (fase 2 av brannen). Figuren er fra [63], gjengitt med tillatelse.



Figur 4-4: Bilde fra inne i fryselageret, kl. 19:09 tirsdag 11. april (fase 2 av brannen). Figuren er fra [63], gjengitt med tillatelse.

4.2 Forebygging og risikofaktorer

Brannsjefen ved Mossregionen interkommunale brann og redning peker på at ASKO Øst AS hadde hatt fokus på brannforebyggende arbeid før hendelsen [62]. Av forebyggende tiltak relevant for brannsikkerhet og solcelleinstallasjon, nevner brannsjefen at det er behov for å utrede hvorvidt solceller plassert direkte på takteking er hensiktsmessig for brannvesenets mulighet for å drive med brannsløkking. En annet punkt som trekkes frem, er brennbar isolasjon i tak, hvor brennende dråper kan ha vært med på å spre brannen, og forsterket røykutvikling og brannens intensitet.

Under hendelsen ble spenningsatte solcellemoduler på taket angitt som risikomoment, i tillegg fremheves høyde og volum av bygget, samt ammoniakk i kjøletårn som risikomoment. Det var også en rekke andre risikofaktorer. En skjematisk fremstilling av de utfordringene som brannvesenet møtte under innsatsen er gitt i Figur 4-5. Det at brannen fant sted i et fryselager medførte blant annet endring i brannodynamikken, noe som gjorde at røykgassene ikke oppførte seg slik brannvesenet forventet. I tillegg skapte minusgrader i rommet ekstra utfordringer for slokkeinnsats som følge av glatte gulv, ising som gav periodevis kutt i lufttilførsel til røykdykkerne og svært dårlig sikt på grunn av dis/tåke/røyk.



Figur 4-5: Risikofaktorer i forbindelse med ASKO-brannen. Solceller var én av mange risikofaktorer i denne brannen. Figuren er fra [63], gjengitt med tillatelse.

4.3 Læringspunkter

Solcellemoduler på taket var kun én av mange risikofaktorer under denne brannen. Likevel er vårt inntrykk fra rapport og presentasjon fra brannvesenet at dette ikke var den primære utfordringen ved brannen. Vi får heller ikke inntrykk av at det kompliserte slokking av brannen for brannvesenet i stor grad. Brannvesenet visste på forhånd at det var solcelleinstallasjon på taket på bygget. Dette gjorde at de unngikk ferdsel på taket i stor grad. Dette hindret likevel ikke innsatsen i noen særlig grad i dette tilfellet, ettersom at det ikke var behov for ferdsel på tak. Utlufting av brannrøyk via taket var uansett ikke

aktuelt, på grunn av mye stål i takkonstruksjonen, utlufting skjedde derfor ved å ta hull i vegg.

Som bildet i Figur 4-2 viser, var solcellemodulene plassert i seksjoner, som var plassert med åpenrom mellom. Ut fra bildemateriell ser det ut til at det ikke var montert solcellemoduler på taket over teknisk rom. Med tanke på kombinasjon av risikofaktorer, som for eksempel nærhet til kjøletårn for ammoniakk og andre eventuelle objekter, var nok denne seksjoneringen fordelaktig for å hindre uønsket brannspredning.

4.4 Etterspill

I etterkant av ASKO-brannen er det kommet frem at brannvesenet ikke har samme oppfatning av sikkerheten ved slukkeinnsats hvor solceller er involvert, som det leverandører av solcellesystemer har. I brannvesenets rapport til DSB [62], kommer det frem at solcellemoduler på taket ble ansett som å være strømførende, slik at man ikke kunne ha mannskaper på taket. I en uttalelse til Teknisk Ukeblad [65,66] sa brannsjef Rune Larsen at dette var en takbrann, og siden solcellene lå oppå taktekkingen, kompliserte det brannsløkking, siden brannvesenet ikke kom til.

Leverandør av solcelleinstallasjoner, Thor-Christian Tub i Fusen, mener derimot at solcelleinstallasjonen verken påvirket brannstart, brannspredning, slukkearbeid eller opprydding, ifølge Teknisk Ukeblad [66].

Den sprikende oppfatningen av sikkerhet ved sløkking understreker behovet for å få på plass dokumentasjon av erfaringer og retningslinjer for slukkearbeid hvor solcelleinstallasjoner er involvert.

5 Konklusjoner og anbefalinger

Dette avsnittet vil presentere svar på hypoteser som er utgangspunktet for studien, samt anbefalinger for endringer av regelverk, anbefalinger for brannvesen, for montering og bruk av solcellemoduler. Anbefalinger til videre arbeid er også gitt.

5.1 Hypoteser

Hypotese 1: Solcelleinstallasjoner bidrar til flere branner i elektriske anlegg, og gir større sannsynlighet for antennelse i det elektriske anlegget enn et vanlig elektrisk anlegg.

Svar: Kanskje. Statistikk fra Tyskland og Italia indikerer dette, ved at solcelleinstallasjoner har en risiko på mellom 30 og 1250 branner per år per million anlegg. Brannvesenet i Norge rapporterte om 182 branner med elektrisk årsak per million boliger i 2017. Generelt er alle kontaktpunkter i en elektrisk installasjon potensielt en kilde til varmgang, og kvalitet på monterings- og koblingsarbeidet er derfor viktig.

Hypotese 2:

Solcelleinstallasjon på en bygning utgjør en risiko for brannvesenet når de skal gjennomføre en slokkeinnsats:

2a) Spyling av vann på spenningssatte deler av en solcelleinstallasjon kan gi fare for strømgjennomgang og personskade.

Svar: Nei. Strømgjennomgang og personskade kan unngås ved at man sikrer seg ved å holde minst 1 meters avstand ved bruk av spredt stråle eller minst 5 meters avstand ved samlet stråle og bruker ferskvann.

2b) Å lage hull i bygninger med solcelleinstallasjoner kan gi fare for berøring og strømgjennomgang.

Svar: Ja. Det er derfor viktig at brannvesenet er informert om at bygningen har installert solceller og hvilke deler av bygningen det er utstyr som er spenningssatt selv når hovedstrømmen til bygningen er fjernet.

2c) Informasjon til innsatspersonell ved bygninger med solcelleinstallasjoner er mangelfull.

Svar: Ja. Det er lite tilgjengelig, harmonisert informasjon for innsatspersonell. NEK 400-7-712 angir at det skal være merking av solcelleinstallasjoner i bygg, som informasjon til innsatspersonell for deres sikkerhet.

5.2 Anbefalinger for regelverk

Mer info: Det er en generell mangel av anbefalinger for solcelleinstallasjoner i dagens regelverk. Solcelleinstallasjoner faller i mange tilfeller mellom ulike regelverk, og det er viktig å prøve å unngå at informasjon om temaet blir for fragmentert i for mange ulike deler av regelverket. Det anbefales at det utvikles veiledere for installasjon, drift og slokkeinnsats for solcelleinstallasjoner, som er gratis tilgjengelig for allmennheten. Veiledere for brannvesen bør også utvikles.

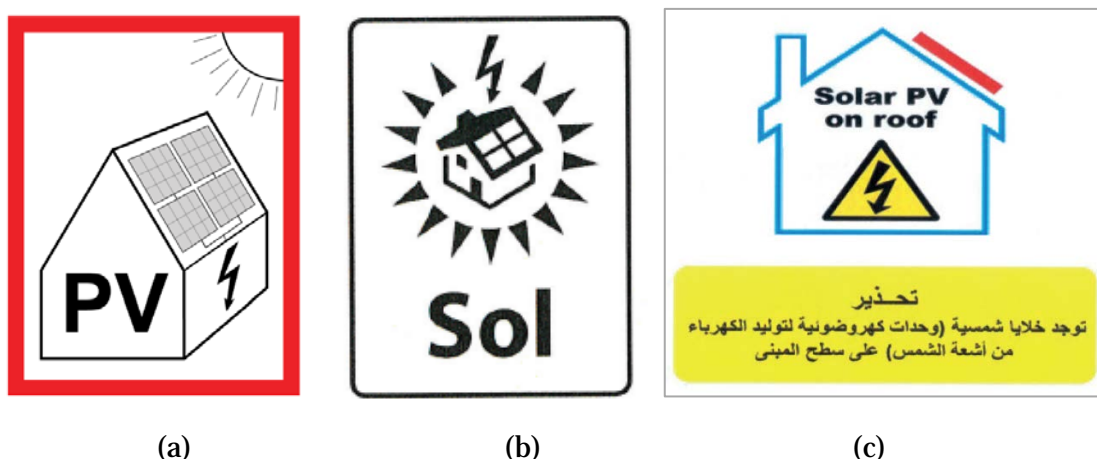
Byggevare: I dag er solcelleinstallasjoner definert som en bygningsteknisk komponent i veiledning til byggesak (SAK10) [7], og behandles som en elektrisk installasjon i NEK 400 [2]. Det fremkommer ikke av regelverket hvorvidt solcelleinstallasjoner er å betrakte som en byggevare eller ikke, noe vi anbefaler å få på plass.

- I de tilfeller hvor solcellemodulen er frittstående, vil en definisjon kun som elektrisk installasjon være tilstrekkelig.
- I de tilfeller hvor solcellemodulen er utenpåmontert, må det vurderes om det i tillegg skal betraktes som en byggevare. Dette vil komme an på montering av solcellemodulen, og hvorvidt denne vil kunne påvirke brannspredning i bygget.
- I de tilfeller hvor solcellemodulen skal ha en funksjon i bygningskroppen, eksempelvis som en del av taket eller fasaden, bør den også betraktes som en byggevare, og oppfylle relevante krav for tak, fasader etc. Dette vil for eksempel gjelde for bygningsintegrerte solceller.

Dersom solcelleinstallasjoner skal betraktes som en byggevare, vil brannteknisk prøvning og klassifisering være aktuelt. Eksisterende dokumentasjon og praksis fra andre land vil da kunne være relevant.

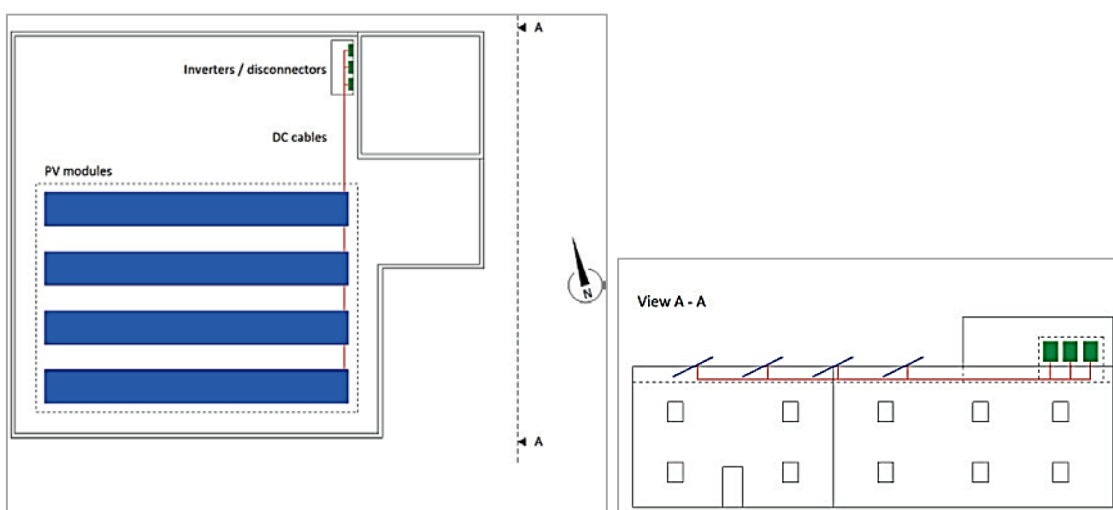
Systematisere informasjon: Den nylig reviderte versjonen av NEK 400-7-712[2] inneholder mye nyttig informasjon om montering av solcelleinstallasjoner. Denne inneholder også en del bygningsteknisk informasjon og informasjon om adkomst for brannvesen, som nok ville hørt mer naturlig inn i andre deler av regelverket.

Sikkerhetsmerking: I bygg hvor det er montert solcelleinstallasjon bør disse merkes, både i området hvor utstyret befinner seg, og sentralt i bygget. Brannorienteringsplan for bygget bør derfor inkludere et tydelig skilt, se eksempler i Figur 5-1.



Figur 5-1: Eksempler på sikkerhetsmerking av solcelleinstallasjon i bygg. (a) Merking hentet fra tysk infomateriell [17]. (b) Merking hentet fra NEK 400-7-712 [2]. (c) Merking hentet fra anbefalinger fra Dubai [19]. Vi anbefaler bruken av den tyske sikkerhetsmerkingen (a), siden den er tydelig, engelskspråklig og mest utbredt internasjonalt.

Det bør også vurderes om merking bør inkludere en orienteringsplan med kart over bygget som viser plassering av strømførende kabel og solcellemoduler, samt plassering av vekselretter og bryter som kan brukes til utkobling, se et eksempel i Figur 5-2. Særlig for bygningsintegreerte solceller, hvor det kan være komponenter som tilsynelatende ser like ut, men hvor den ene er aktiv solcellemodul, og den andre er inaktiv komponent, vil en slik orienteringsplan være viktig. Et eksempel kan være et tak som er dekt av takstein, hvor hele taket tilsynelatende ser likt ut, men den sørvendte takssiden har aktive solceller i taksteinen, mens nordvendt side har vanlig takstein.



Figur 5-2: Eksempel på forenklet oversikt over solcelleinstallasjon. Figuren er tilpasset fra infoskriv om solcelleinstallasjoner og brannsikkerhet, fra elektrisitet- og vannmyndighetene i Dubai [19].

5.3 Anbefalinger for montering og bruk av solcellemoduler

I dette avsnittet vil det bli gitt anbefalinger for montering og bruk av solcellemoduler. Flere av disse er basert på industriveiledningen av Sepanski med flere [18], som angir anbefalte tiltak for å redusere de største risiko ved montering av solcelleinstallasjoner (se s. 105 i deres rapport).

Kvalitet og kompetanse: Generelt er alle kontaktpunkter i en elektrisk installasjon kilde til varmgang og brann. Solcelleinstallasjoner skal fungere kontinuerlig, sammenhengende over lang tid (litt som en varmtvannsbereder), og det er derfor svært viktig å sikre kvalitet på monterings- og koblingsarbeidet. DSB har fastslått at dette er elektriske arbeider som omfattes av El-tilsynsloven [12], og skal dermed kun utføres av virksomheter registrert i DSBs elvirksomhetsregister.

Standardiserte plugger. Den mest etablerte typen plugger for tilkobling av solcellemoduler (MC4) er tilsynelatende kompatibel mellom ulike produsenter under montering. Kombinasjoner av pluggdelene fra ulike produsenter har vist seg å føre til dårlige kontakter over tid. Det kan tyde på at det er behov for en tilstrekkelig definert standard for denne typen plugger for å sikre at en kobling som er gjort mellom to halvdelene holder seg vanntett og gir god kontakt gjennom hele levetiden til installasjonen.

Verktøyfrie koblinger. Koblinger som blir manuelt utført i en solcelleinstallasjon kan være utsatt for feil. Det kan være klemkontakter som ikke er tilstrekkelig sammenpresset eller skrukoblinger som ikke er strammet med riktig moment. En solcelleinstallasjon kan ha svært mange koblinger, og det trengs bare én enkelt dårlig kobling for å gi brannfare. Koblinger som er enkle å montere sammen uten bruk av verktøy og som gir en enkel og tydelig tilbakemelding til montøren når den er tilstrekkelig sammenkoblet vil kunne redusere sannsynligheten for at det oppstår dårlig kontakt.

Kontroll med IR-kamera. Flere typer feil som fører til dårlig kontakt og varmgang kan oppdages ved bruk av infrarøde kamera. Ved å undersøke en solcelleinstallasjon med denne typen utstyr vil man kunne oppdage punkter som er varmere enn tilsvarende andre punkter. I og med at det er den samme strømmen som går gjennom hele solcellestrengen bør alle koblinger av samme type i utgangspunktet ha omtrent samme temperatur. Dersom en enkelt kobling er varmere enn resten kan det tyde på økt kontaktmotstand og varmeutvikling i dette punktet. I motsatt fall kan deler av en solcellestreng være kaldere enn resten dersom strømmen går alternative veier enn gjennom alle solcellene i strengen. For å ha best mulig sannsynlighet for å oppdage feil bør denne kontrollen gjøres når det er relativt stor belastning på solcelleinstallasjonen.

Tredjepartskontroll. Dersom det er gjort feil i design og planlegging av en solcelleinstallasjon kan dette i enkelte tilfeller avdekkes av en tredjepartskontroll. Tilstrekkelig opplæring og kvalitetssikring av installatører og designere av solcelleinstallasjoner kan redusere behovet for uavhengig tredjepartskontroll.

Ubrennbart underlag. En solcelleinstallasjon kan utgjøre en økt brannrisiko når den blir montert på en bygning på flere måter. I seg selv representerer en solcelleinstallasjon risiko for potensielle tennkilder ved varmgang eller lysbuer, og de inneholder mindre

mengder brennbare materialer som koblingsbokser, kabelisolasjon og plastfilm på baksiden av solcellemodulene. I tillegg kan solcellemoduler som er montert utenpå en bygning øke varmpåkjeningen til bygningsoverflaten ved en brann i dette mellomrommet. Dette kan være en liten startbrann i komponenter fra solcelleinstallasjonen, eller en ekstern brann. Takbelegg og konstruksjoner som er testet og godkjent uten solcellemoduler kan brenne bedre og spre brannen raskere og lengre dersom varmen fra brannen blir fanget under plater som for eksempel solcellemoduler.

Seksjonering: For frittstående og utenpåmonterte solcellemoduler, har seksjonering av modulene vist seg å være fordelaktig for å hindre brannspredning.

Oppheng: Det er anbefalt å bruke solid oppheng på solcellemodulen. Komponentene bør ikke være lettantennelige, og bør heller ikke mykne eller smelte ved oppvarming. Komponentene bør ikke kunne bidra vesentlig til brannutviklingen.

5.4 Anbefalinger for brannvesen

Standard operasjonell rutine: I brannvesenets rapport fra ASKO-brannen [62] fremheves det at brann i solcelleinstallasjoner er relativt ukjent i Norge. Fremskaffing og distribusjon av relevant informasjon fremheves som tiltak for å forbedre kunnskapsnivået. Rapporten anbefaler vider at det utarbeides SOR (standard operasjonell rutine) for brann i solcelleinstallasjoner.

Spyling med vann: Ved spyling av vann på solcelleinstallasjoner (spenningssatte komponenter opp til 1000 V) bør man overholde en minsteavstand på 5 meter ved bruk av samlet stråle eller 1 meter ved bruk av spredt stråle. Saltvann bør ikke brukes til slokking av brann ved spenningssatte solcelleinstallasjoner. Det viktigste her er likevel at man bør unngå å stå i en dam av slokkevann som oppstår på bakken under spenningssatt utstyr. Dersom man kan føle små muskelrykninger fra strømmen, må man umiddelbart øke avstanden eller avslutte spylingen.

Håndtering av skadde solceller: Ødelagte og tilsynelatende utbrente solceller kan produsere spenning. Spenningen vil avhenge av anleggets oppbygging og design. Etter en brann vil det kunne være like høy spenning som normalt, eller mindre, dersom det er brudd i kretsen. Strømmen i brente kabler og koblinger vil finne minste motstands vei til jord. Dette må tas hensyn til ved håndtering av skadde solcellemoduler. Dersom solcellene er eksponert for lys kan den levere strøm slik at det er fare for at brannen kan blusse opp igjen, og det kan også være fare for elektrisk støt (berøringsfare).

Slå av solcellene: Det er ikke mulig å slå av energiproduksjonen fra en solcelle, uten å dekke den til. Solcellemodulene kan dekkes til med tilstrekkelig lystett materiale, for eksempel en presenning, spesialtilpasset skum eller andre dekkemidler. Det er gjort forsøk med presenning som viser at det kan fungere hvis presenningen er tykk og tilstrekkelig lystett. Noen presenninger har vist seg å ikke fungere, selv om de tilsynelatende var tykke og kraftige. En annen mulighet er å fysisk bryte kretsen, for eksempel med forhåndsinstallerte brytere. Dette vil ikke slå av solcella, men vil seksjonere og gi lavere spenning. Det er ikke anbefalt å klippe/hogge med øks for å

manuelt bryte kretsen, ettersom forsøk har vist at dette innebærer berøringsfare og fare for gnister og lysbuer.

Loggføring: Vi anbefaler videre at det loggføres dersom en solcelleinstallasjon har vært involvert i en brann. Dette bør inkluderes som et eget punkt i BRIS (brann- og redningsvesenets rapporteringsløsning til DSB) og også inkluderes i brannvesenets evaluering av branner. Dette vil etter hvert gi statistisk grunnlag for at myndighetene kan dokumentere utbredelse og utvikling av solcellebranner, og muliggjør læring fra erfaringer fra brann i solcelleinstallasjoner mellom brannvesen.

5.5 Anbefalinger for videre studier

Bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner brukes i stadig økende omfang. Dersom det oppstår en brann i en av komponentene i en slik installasjon, vil det faktum at solcellemodulen utgjør selve bygningsskallet, gi endrede forutsetninger for brannsikkerheten. Det er avdekket en mulig større brannrisiko i anlegg med bygningsintegreerte solceller sammenlignet med tradisjonelle solcellemoduler som er montert utenpå bygningen. Dette vil være et viktig fokusområde for videre arbeid.

Det finnes i dag få publiserte studier av utenpåmonterte solcellemoduler og brannsikkerhet. Det er lite forskning som undersøker kombinasjonen av brennbar isolasjon i takkonstruksjoner og utenpåmonterte solcelleinstallasjoner, og hvordan ulike kombinasjoner av solcellemoduler og takmaterialer påvirker brannodynamikken. Det er også lite forskning på vertikal montering av utenpåmonterte solcelleinstallasjoner, eksempelvis på fasader, og hvordan en eventuell endret brannodynamikk kan påvirke brannspredning og slokking. Videre vil også vinkel på solcellemodul i forhold til bygget, både for vertikalt og horisontalt monterte moduler, kunne påvirke brannodynamikken.

Vi anbefaler at det gjennomføres studier med fokus på disse temaene, som inkluderer numerisk arbeid, samt eksperimentelt arbeid i ulike skalaer, for å oppnå bedre kunnskap om brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner.

Referanser

- [1] P. G. Nordløkken, C. Sesseng, og E. D. Wormdahl, «Energibesparende bygg og brannsikkerhet», SP Fire Research AS, Trondheim, SPFR A15 20129:1, 2015.
- [2] «NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner, Norsk elektroteknisk norm». Norsk Elektroteknisk Komité, 2018.
- [3] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 19. juni 2017 nr. 840 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK17)*. 2017.
- [4] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 6. november 1998 nr. 1060 om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)*. 1999.
- [5] Kommunal og moderniseringsdepartementet, *Lov 27. juni 2008 nr. 71 om planlegging og byggesaksbehandling (Plan og bygningsloven)*. 2008.
- [6] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 26. mars 2010 nr. 488 om byggesak (byggesaksforskriften SAK10)*. 2013.

- [7] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning om byggesak*. 2016.
- [8] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK)*. 2017.
- [9] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 17. desember 2013 nr. 1579 om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK))*. 2014.
- [10] Justis- og beredskapsdepartementet, *Lov 14. juni 2002 nr. 20 om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver*. 2002.
- [11] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 17. desember 2015 nr. 1710 om brannforebygging*. 2015.
- [12] Justis- og beredskapsdepartementet, *Lov 24. mai 1929 nr. 4 om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr (el-tilsynsloven)*. 1929.
- [13] Standard Norge, «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.
- [14] «IEC 61730-1:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction, 2.edition». International electrotechnical commission (IEC), aug. 2016.
- [15] «IEC 61730-2:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing, 2.edition». International electrotechnical commission (IEC), aug. 2016.
- [16] «Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention», CFP Europe, Copenhagen, CFP-E Guideline No 37:2018 F, feb. 2018.
- [17] Expertenkommission, Brandschutzgerechte Planung, Installation und Betrieb von PV-Anlage, «Brandschutzgerechte Planung, Errichtung und Instandhaltung von PV-Anlagen», feb. 2011. [Online]. Tilgjengelig på: http://www.dgs-berlin.de/fileadmin/user_upload/dokumente/publikationen/PV-Brandschutz-Broschuere.pdf. [Åpnet: 12 jul. 2018].
- [18] A. Sepanski *mfl.*, «Leitfaden: Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung», TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln, Germany, mar. 2015.
- [19] Dubai electricity and water authority, «PV on buildings and fire safety: Recommendations for DRRG solar PV systems», Government of Dubai, Dubai, Version 1.0, 2015.
- [20] UL LLC, «UL790, Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings», UL LLC, ulstd edition 8, apr. 2004.
- [21] California Energy Commission, «Energy Commission Adopts Standards Requiring Solar Systems for New Homes, First in Nation, News Release», <http://www.energy.ca.gov/>, 09 mai. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: http://www.energy.ca.gov/releases/2018_releases/2018-05-09_building_standards_adopted_nr.html. [Åpnet: 11 jul. 2018].
- [22] L. Fiorentini, L. Marmo, E. Danzi, og V. Puccia, «Fires in photovoltaic systems: lessons learned from fire investigations in italy», *www.sfpe.org*, 2017. [Online]. Tilgjengelig på: http://www.sfpe.org/?page=FPE_ET_Issue_99. [Åpnet: 03 sep. 2018].
- [23] «Personlig korrespondanse med prof. Grunde Jomaas and PhD student Jens Kristensen på the School of engineering, University of Edinburgh», jun. 2018.
- [24] Norsk Solenergiforening, «Det globale markedet for solkraft», *solenergi.no*, 27 jun. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.solenergi.no/nyhet/2018/6/27/det-globale-markedet-for-solkraft>. [Åpnet: 12 jul. 2018].
- [25] B. Amundsen, «Fornybar energi ble klar vinner i 2017», *www.forskning.no*, 12 apr. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://forskning.no/alternativ-energi-energi-marked-internasjonalt/2018/04/fornybar-energi-ble-klar-vinner-i-2017>. [Åpnet: 13 apr. 2018].

- [26] S. Merlet og B. Thorud, «Solenergi i Norge: Status og framtidsutsikter», *Energi og Klima*, 01 jul. 2015. [Online]. Tilgjengelig på: <https://energiogklima.no/kommentar/solenergi-i-norge-status-og-framtidsutsikter/>. [Åpnet: 12 jul. 2018].
- [27] J. Nilsen, «Så lang tid tar det før et solcellepanel tjener inn seg selv», *Teknisk Ukeblad*, 2016. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tu.no/artikler/sa-lang-tid-tar-det-for-et-solcellepanel-tjener-inn-seg-selv/346288>. [Åpnet: 12 apr. 2018].
- [28] Solenergiklyngen, «Bruk av solenergi i Norge», 2015. [Online]. Tilgjengelig på: <https://static1.squarespace.com/static/597512eb579fb3d3de0207aa/t/59806508be65948aa727a108/1501586729727/Bruk+av+solenergi+i+Norge.pdf>. [Åpnet: 12 jul. 2018].
- [29] H. Person, «Solcellesystemer og sol i systemet, 10200404-1080-RAP-001», 2018. [Online]. Tilgjengelig på: http://solenergiklyngen.no/app/uploads/sites/4/180313-rapport_solkraft-markedsutvikling-2017-endelig.pdf. [Åpnet: 22 aug. 2018].
- [30] «Solceller», *Store norske leksikon, nettutgave*. oktober. 2017.
- [31] GoGreenSolar, «Solar Components 101». [Online]. Tilgjengelig på: <https://https://www.gogreensolar.com/pages/solar-components-101d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1521202182/svartediket-2017.pdf>. [Åpnet: 10 jul. 2018].
- [32] H. Laukamp *mfl.*, «PV fire hazard-analysis and assessment of fire incidents», presentert på 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2011.
- [33] L. Mazziotti, P. Cancelliere, G. Paduano, P. Setti, og S. Sassi, «Fire risk related to the use of PV systems in building facades», presentert på MATEC web of conferences, 2016, bd. 46, s. 05001.
- [34] «Brannstatistikk 2017 - Tall fra rapporteringsløsningen (BRIS) fra brann- og redningsvesenet til DSB», Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Tønsberg, 2018.
- [35] «Boliger i Norge, 2017». Statistisk sentralbyrå, 24 apr. 2018.
- [36] M. K. Alam, F. Khan, J. Johnson, og J. Flicker, «A comprehensive review of catastrophic faults in PV arrays: types, detection, and mitigation techniques», *IEEE Journal of Photovoltaics*, bd. 5, nr. 3, s. 982–997, 2015.
- [37] P. Dunbabin, «Fire and solar PV systems- literature review», BRE National Solar Centre, Cornwall, P100874-10000, issue 3.4, 2017.
- [38] Brooks, William, «Field Guide for Testing Existing Photovoltaic Systems for Ground Faults and Installing Equipment to Mitigate Fire Hazards», NREL, NREL/SR-5D00-65050, okt. 2015.
- [39] J. S. Kristensen, B. Merci, og G. Jomaas, «Fire-induced reradiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs», *Fire and Materials*, s. n/a-n/a.
- [40] J. S. Kristensen, «Photovoltaic installations on warehouse buildings- an experimental study of the propagation of fire», Master thesis, DTU Civil Engineering, Kongens Lyngby, Denmark, 2016.
- [41] X. Ju, X. Zhou, K. Zhao, F. Peng, og L. Yang, «Experimental study on fire behaviors of flexible photovoltaic panels using a cone calorimeter», *Journal of Fire Sciences*, bd. 36, nr. 1, s. 63–77, 2018.
- [42] H.-Y. Yang, X.-D. Zhou, L.-Z. Yang, og T.-L. Zhang, «Experimental Studies on the Flammability and Fire Hazards of Photovoltaic Modules», *Materials*, bd. 8, nr. 7, s. 4210–4225, 2015.
- [43] A. Steen-Hansen, «No fire without smoke : prediction models for heat release and smoke production in the SBI test and the Room Corner test based on Cone Calorimeter test results», Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2002.
- [44] E. F. Smepllass, «Brannsikkerhet i bygg med solcelleanlegg», Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2016.

- [45] V. Babrauskas, «The A-Z: Roofing materials», i *Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*, Issaquah, WA: Fire Science Publishers, 2003, s. 919, Chapter 14.
- [46] A. Steen-Hansen, «Utredning – branntekniske ytelser for kledninger og overflater», Trondheim, Norge, RISE-rapport A18 20354:1.
- [47] R. Backstrom og D. A. Dini, «Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project», Underwriters Laboratories Inc., Northbrook, IL, USA, nov. 2011.
- [48] Helse- og omsorgsdepartementet, *Forskrift 22. desember 2016 nr. 1868 om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)*. 2017.
- [49] Oslo Kommune, «Drikkevannskvalitet», www.oslo.kommune.no. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/drikkevannskvalitet/#gref>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [50] Bergen vann, «Vannkvalitet». [Online]. Tilgjengelig på: <http://bergenvann.com/vann/vannkvalitet/>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [51] Bergen vann, «Kvalitet på vann levert fra Kismul vannbehandlingsanlegg i 2016», 2016. [Online]. Tilgjengelig på: <https://d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1504677532/kismul-2016.pdf>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [52] Bergen vann, «Kvalitet på vann levert fra Espeland vannbehandlingsanlegg i 2017», 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1521202180/espeland-2017.pdf>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [53] Bergen vann, «Kvalitet på vann levert fra Jordalsvatnet vannbehandlingsanlegg i 2017», 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1521202182/jordalsvatnet-2017.pdf>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [54] Bergen vann, «Kvalitet på vann levert fra Risnes vannbehandlingsanlegg i 2017», 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1521202181/risnes-2017.pdf>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [55] Bergen vann, «Kvalitet på vann levert fra Svartediket vannbehandlingsanlegg i 2017», 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1521202182/svartediket-2017.pdf>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [56] Bergen vann, «Kvalitet på vann levert fra Sædalen vannbehandlingsanlegg i 2017», 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://d1pk8xkmonbx0b.cloudfront.net/1521202183/saedalen-2017.pdf>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [57] Stavanger kommune, «Vannkvalitet, service og planer», www.stavanger.kommune.no. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.stavanger.kommune.no/bolig-og-bygg/vann-og-avlop/om-vann-avlop-og-vannmiljo/>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [58] Trondheim kommune, «Drikkevannskvalitet», www.trondheim.kommune.no. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.trondheim.kommune.no/drikkevann/>. [Åpnet: 18 jun. 2018].
- [59] F. Reil *mfl.*, «Determination of fire safety risks at PV systems and development of risk minimization measures», presentert på 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 2011.
- [60] T. Verlo, «Bruk av vann som slokkemiddel i elektriske anlegg under spenning», SINTEF Energiforsyningens forskningsinstitutt, Trondheim, EFI TR A3866, 1991.
- [61] H. Häberlin, L. Borgna, og P. Schärf, «PV und Feuerwehr: Keine Panik, sondern realistische Einschätzung der elektrischen Gefahren und möglicher Gegenmassnahmen», presentert på 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie Staffelstein 2011, Kloster Banz, Germany, 2011.

- [62] R. Larsen, «Brann i ASKO fryselager, rapport til DSB», Mosseregionen interkommunale brann og redning, Moss, Intern rapport, 2017.
- [63] «Presentasjon av ASKO brannen, gitt av overbrannmester i Mosseregionen interkommunale brann og redning», Trondheim, 06 jun. 2018.
- [64] B. F. Falkenberg, «Brannen i ASKO-bygget», *Brannmannen*, 19 aug. 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <http://brannmannen.no/brann/brannen-asko-bygget/>. [Åpnet: 17 jul. 2018].
- [65] M. Valle, «Solcellene gjorde Asko-brannen mer komplisert», *Teknisk Ukeblad*, 12 apr. 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tu.no/artikler/solcellene-gjorde-asko-brannen-mer-komplisert/379877>. [Åpnet: 11 jul. 2018].
- [66] R. Ramsdal, «Brannsjef mener solceller kompliserte Asko-brannen. Det er solgründer rivende uenig i», *Teknisk Ukeblad*, mai. 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tu.no/artikler/brannsjef-mener-solceller-kompliserte-asko-brannen-det-er-sol-grunder-rivende-uenig-i/382843>. [Åpnet: 11 jul. 2018].

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

Gjennom internasjonalt samarbeid med akademi, næringsliv og offentlig sektor bidrar vi til et konkurransekraftig næringsliv og bærekraftig samfunn. RISEs 2 200 medarbeidere driver og støtter alle typer innovasjonsprosesser. Vi tilbyr et hundretalls test- og demonstrasjonsmiljø for framtidssikre produkter, teknikker og tjenester. RISE Research Institutes of Sweden eies av den svenske staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Postboks 4767 Sluppen, 7465 TRONDHEIM
Telefon: 464 18 000
E-post: post@risefr.no, Internett: www.risefr.no

RISE Fire Research
RISE-rapport 2018:31
ISBN: