



Brannsikkerhet i bygg med solcelleanlegg

Eirik Fiskum Smeplass

Master i Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Harald Landrø, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Brannsikkerhet i bygg med solcelleanlegg	Dato:		
	Antall sider (inkl. bilag):		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Eirik Smeplass			
Faglærer/veileder: Harald Landrø			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Bjørn Thorud og Jonas Davidsson fra Multiconsult			

Ekstrakt:

Norge har sett en rask vekst i antall solcelleanlegg det siste året og så langt i 2016 har det blitt lagt like mange paneler som hele 2015. Dette er en trend for solcellemarkedet også internasjonalt, men Norge har fortsatt et lite og ungt marked i forhold til store solcellenasjoner slik som Tyskland, USA og våre naboland. Dette innebærer at brannvesenet har mindre erfaring med å håndtere slike anlegg, samt at regelverket for å sikre brannsikkerheten i byggene det installeres i er mindre utviklet.

Gjennom denne oppgaven har jeg sett på regelverket som angår solcelleanlegg både i Norge og i andre land for å kunne se hvilke mangler og behov som finnes i Norge. Det er også sett på hvilke endringer og tiltak som kan gjøre ved regelverket for å bedre brannsikkerheten i bygg med solcelleanlegg.

Det er unike utfordringer knyttet til brannsikkerheten ved solcelleanlegg. Disse utfordringene er knyttet til at man ikke kan skru av solcelleanlegg slik at det slutter å produsere strøm. Det gjør at det er en risiko for at redningspersonell kan få elektrisk sjokk ved innsats i slike bygg. Det er også utfordringer knyttet til plasseringen av solcelleanlegget på taket i forhold til tilrettelegging for innsats for brannvesen. Slik innsats kan kreve at brannvesenet må utføre arbeid tilknyttet redning og slokking på taket noe som gjør at de også må forholde seg til solcellepanelene. Energilagring tilknyttet solcelleanlegget vil også være et mulig problematisk område ved brannsikkerheten i bygget da nye batteriteknologier og behov for større kapasitet på batteriene vil kunne være en særlig fare under brann.

Jeg har gjennomført laboratorieforsøk for å finne en indikasjon på hvorvidt solcellepaneler har en innvirkning på brannklassifisering av taktekkingen under panelene. Forsøkene ble gjennomført ved SPFRs lokaler i Trondheim, det ble utført en modifisert utgave av CEN/TS1187: "Test methods for external fire exposure to roofs". Jeg har og vurdert et prosjekt der det er installert solcelleanlegg på Tunga gård på Notodden med tanke på brannsikkerhet. Det ble vurdert om brannsikkerheten i byggene ble påvirket av solcelleanlegget og hvorvidt det bør gjøres tiltak for å bedre tilrettelegging for brannvesen.

Oppgaven presenterer anbefalinger og «best practice» for å løse utfordringer knyttet brannsikkerheten i byggverk med solcelleanlegg.

Stikkord:

1. Brannsikkerhet
2. Solcelleanlegg
3. Regelverk
4. Best practice

Eirik Smeplass

(sign.)

FORORD

Denne oppgaven er gjennomført våren 2016 ved Institutt for bygg- og anleggsteknikk på Gløshaugen NTNU. Oppgaven ble påtenkt og utviklet sammen med Bjørn Thorud i Multiconsult i løpet av sommeren 2015. Grunnlaget for oppgaven var det uklare og manglende norske regelverket med tanke på solcelleanlegg og brann, samt at dette temaet tidligere var tatt opp i media og ble debattert i bransjen. Oppgaven er et selvstendig arbeid med relativt lite faglig veiledning. Oppgaven involverer flere fagfelt, og er tidvis nytt arbeid. Den bygger videre på en prosjektoppgave utført høsten 2015 med samme navn.

Jeg vil takke mine veiledere Jonas Davidsson og Bjørn Thorud fra Multiconsult, og Harald Landrø fra NTNU. Jeg vil også takke alle som har hjulpet og kommet med innspill og dialog gjennom oppgaven: Robert Olofsson, Espen Daaland Wormdahl og Reidar Stølen i SPFR for samtaler og hjelp til laboratorieforsøk på brannlabben. Robert Fiskvik og Ole Ludvigsen i Trondheim Brann og Redningstjeneste for svar på spørsmål og intervjuer. Carl Christan Strømberg i Solcellespesialisten for samtaler og spørsmål. En stor takk til Sverre Smeplass som har hjulpet meg med gode tilbakemeldinger og innspill i oppgaven. Takk til alle andre som har svart og hjulpet meg gjennom våren.

SAMMENDRAG

Norge har sett en rask vekst i antall solcelleanlegg det siste året, og så langt i 2016 har det blitt lagt like mange paneler som hele 2015. Dette er en trend for solcellemarkedet også internasjonalt, men Norge har fortsatt et lite og ungt marked i forhold til store solcellenasjoner slik som Tyskland, USA og våre naboland Sverige og Danmark. Dette innebærer at brannvesenet har mindre erfaring med å håndtere slike anlegg, samt at regelverket for å sikre brannsikkerheten i byggene det installeres i er mindre utviklet.

Gjennom denne oppgaven har jeg sett på regelverket som angår solcelleanlegg både i Norge og i andre land for å kunne se hvilke mangler og behov som finnes i Norge. Det er også sett på hvilke endringer og tiltak som kan gjøres med regelverket for å bedre brannsikkerheten i bygg med solcelleanlegg.

Det er unike utfordringer knyttet til brannsikkerheten ved solcelleanlegg. Disse utfordringene er knyttet til at man ikke kan skru av solcelleanlegg slik at det slutter å produsere strøm. Det gjør at det er en risiko for at redningspersonell kan få elektrisk sjokk ved innsats i slike bygg. Det er også utfordringer knyttet til plasseringen av solcelleanlegget på taket i forhold til tilrettelegging for innsats for brannvesen. Slik innsats kan kreve at brannvesenet må utføre arbeid tilknyttet redning og slokking på taket, noe som gjør at de også må forholde seg til solcellepanelene. Energilagring tilknyttet solcelleanlegget vil også være et mulig problematisk område ved brannsikkerheten i bygget, da nye batteriteknologier og behov for større kapasitet på batteriene vil kunne være en særlig fare under brann.

Jeg har gjennomført laboratorieforsøk for å finne en indikasjon på hvorvidt solcellepaneler har en innvirkning på brannklassifisering av taktekingen under panelene. Forsøkene ble gjennomført ved SPFRs lokaler i Trondheim, det ble utført en modifisert utgave av CEN/TS1187: "Test methods for external fire exposure to roofs". Jeg har også vurdert et prosjekt der det er installert solcelleanlegg på Tunga gård på Notodden med tanke på brannsikkerhet. Det ble vurdert om brannsikkerheten i byggene ble påvirket av solcelleanlegget og hvorvidt det bør gjøres tiltak for å bedre tilrettelegging for brannvesen.

Oppgaven presenterer anbefalinger og «best practice» for å løse utfordringer knyttet til brannsikkerheten i byggverk med solcelleanlegg.

ABSTRACT

Norway has seen a rapid growth in the number of solar installations over the last year, and so far in 2016 it has added as many new panels as throughout 2015. This is a trend for solar market internationally but Norway still has a small and young market compared to nations such as Germany, the United States and our neighboring countries, Sweden and Denmark. This means that the fire departments have less experience dealing with such facilities, and that regulations to ensure fire safety in buildings with solar installations is less developed.

Through this thesis I have looked at the regulations concerning photovoltaic plants both in Norway, and in other countries, to compare and see the gaps and needs that exist in the Norwegian regulations. I have also looked at what changes and measures we can do concerning the regulations to improve fire safety in buildings with solar plants.

During the thesis the challenges associated with solar installations have been investigated. There are unique challenges associated with the inability to turn off the solar plant and stopping it from producing current. One of the challenges is the risk of rescue personnel getting electrocuted during fire suppression in such buildings. There are also challenges related to the placement of the photovoltaic plant on the roof in relation to facilitating the roof during a fire. Such efforts may require the fire department to perform work associated with rescue and fire on the roof, which means that they also have to deal with solar panels.

Energy storage systems connected to the solar plant will also be a possible problematic area in case of fire safety in the building, as the new battery technologies and the need for larger capacity batteries could pose a particular danger during fire.

I have conducted laboratory experiments to find an indication of whether solar panels have an impact on the fire classification of the roofing under the panels. The experiments were conducted at SPFRs premises in Trondheim, it was performed as a modified version of CEN / TS1187: "Test methods for external fire exposure to roofs". I have assessed the fire safety of a project in which a photovoltaic plant has been installed at Tunga gård in Notodden. It was evaluated if fire safety in the buildings was affected by the solar plant, and whether measures should be implemented to provide better facilities for fire suppression.

Finally, this thesis presents recommendations and "best practice" to solve the challenges associated with fire safety in buildings with solar plants

1 INNHOLD

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract.....	iii
Figurliste	3
Ordliste og ordforklaringer.....	4
1 Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Formål	8
1.3 Innhold	8
1.4 Avgrensninger	9
2 Metode.....	11
2.1 Litteraturstudie	11
2.2 Labratorieforsøk.....	11
2.3 Case-studie	11
2.4 Dybdeintervju	11
3 Rammebetingelser.....	13
3.1 Lover, forskrifter og veiledninger	13
3.1.1 Brannlovgivning	13
3.1.2 EL-lovgivning.....	21
3.1.3 Utenlands lovgivning.....	22
3.1.4 Standarder.....	25
3.1.5 Veiledninger for oppføring av solcellesystemer	29
3.1.6 Veiledninger for slokningsinnsats	29
4 Arenabeskrivelse	31
4.1 Objektbeskrivelse.....	31
4.1.1 Solcellepaneler	31
4.1.2 Bygningsintegreerte solceller(BIPV).....	32
4.1.3 Solcellesystemet.....	33
4.1.4 Vekselrettere	34
4.1.5 Gjennomgang av de ulike komponentene i et solcellesystem	35
4.2 Beskrivelse av utfordringer.....	36
4.2.1 Risiko for brann i solcelleanlegg	36
4.2.2 Risiko for støt ved innsats	38
4.2.3 Energilagring.....	42
4.2.4 Slokkeinnsats på tak.....	46
4.2.5 Plassering av brytere og merking av anlegget	49
5 Laboratorieforsøk	52

5.1	Introduksjon	52
5.2	Testmetode.....	53
5.3	Gjennomføring av test.....	54
5.4	Resultater	56
Gjennomgang av case-prosjekt.....		59
5.6	Prosjektet	59
5.7	Brannteknisk vurdering	60
Diskusjon.....		63
5.8	Risiko for og ved brann.....	63
5.9	Energilagring.....	63
5.10	Brannsikkerhet på tak	64
5.11	Innsats ved brann.....	67
5.12	Erfaringer fra de ulike aktører i markedet.....	68
6	Konklusjon	71
Videre arbeid.....		73
Referanser		75

FIGURLISTE

Figur 1 Dokumentasjonskrav for byggevarer.....	20
Figur 2 Solcellepanel, foto Eirik Smeplass	32
Figur 3 Solcelleanlegg, foto hentet fra http://www.pv-log.com/Resources/Public/Images/home-pv-anlage4.jpg	33
Figur 4 Bryter på DC-side av anlegget plassert ved siden av inverterene. Foto: Eirik Smeplass	39
Figur 5 effekten av strøm gjennom menneskekroppen (TUV, 2016).....	41
Figur 6 Illustrasjon av behov og produksjon av strøm i en husholdning med solcelleanlegg(til venstre) og bruk av energilagring ved tap av nettstrøm(til høyre)(SDI, u.d)	43
Figur 7 Laboratorietest	58

ORDLISTE OG ORDFORKLARINGER

PV - Photovoltaic	Solceller – teknologien som omdanner sollys til strøm
Inverter - vekselretter	Elektrisk komponent som omdanner likestrøm til vekselstrøm eller omvendt
BREEAM	Klassifiseringssystem for miljøavtrykket til bygninger
DC	Likestrøm
AC	Vekselstrøm
BIPV	Bygningsintegrerte solcellesystemer som inngår som en del av bygningens klimaskall

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Reduksjon av klimagassutslipp er et hovedmål i de fleste lands energi- og miljøpolitikk. Et av tiltakene for å nå disse målene er satsing på fornybar energi. Norge har lange tradisjoner for produksjon av fornybar energi i form av vannkraft, men nye tiltak for energisparing har vokst sterkt de siste årene. Alternative kilder til fornybar energi, samt det å bygge mer energieffektive, og til og med energiproduserende hus, har vært en økende trend de siste år. Klassifiseringsverktøy som BREEAM (ngbc) brukes aktivt til å sette fokus på miljøpåvirkningen til byggene, og et av de tiltakene vi ser mer og mer av bruken av solkraft.

Dette kan vi se gjenspeilt i økt bruk av solcelleanlegg i både næringsbygg og boligbygg. Statistikk fra Norsk Solenergiforening (Solenergiforeningen) viser en kraftig økning av solcelleanlegg i Norge i 2014 sammenlignet med tidligere år. Av denne økningen ser vi det største bidraget fra nettilknyttede anlegg. Disse økte fra 292kW, fra tidligere år, til 1712kW bare i løpet av 2014. Nettilknyttede anlegg er systemer som leverer strøm tilbake til strømmettet når bygget produserer mer strøm enn det bruker.

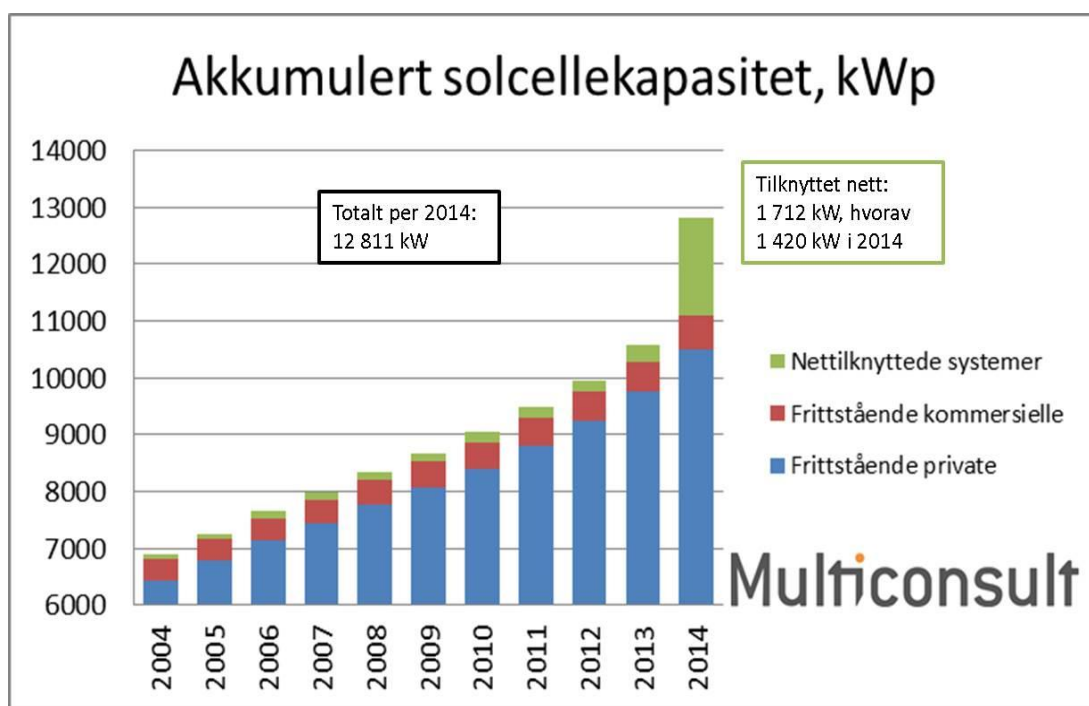


Figure 1 Bruk av solstrøm i Norge, solenergi.no/statistikk

I tillegg til den kraftige økningen fram til 2014 har vi siden det også sett mange store kommersielle anlegg dukke opp, samt flere som er planlagt, og en økning i solcelleanlegg på 700kW på boligtak i løpet av 2015, noe som er cirka 4 ganger mer enn i 2014. Det er blitt installert like mange paneler så langt i 2016 som gjennom hele 2015 (WWF and Accenture, 2016). På verdensbasis har det vært en kraftig vekst over lengre tid, med en årlig økning av solcelleinstallasjoner på 41 % hvert år siden år 2000 (Philipps and Warmuth, 2016).

Norge er tross den kraftige veksten veldig små når det kommer til solstrøm. Sverige og Danmark har langt større produksjon og marked for bruk av solcelleanlegg, med produksjon på henholdsvis 160MW og 750MW, mot Norges 15MW i 2015.(WWF and Accenture, 2016) Dette kan skyldes lavere lønnsomhet for solcelleanlegg i Norge. Med høye teknologipriser og lave strømpriser har solcelleanleggene vært vanskelig å føre inn i det norske markedet, men med støtteordninger, økende strømpriser og fallende teknologipriser vil lønnsomheten øke.

Med en økt bruk av solcelleanlegg har vi også sett et økt fokus på sikkerheten ved brann i bygg med disse anleggene. Media har ved flere anledninger skrevet om usikkerhet ved slokking av brann i hus med solcellepaneler, og også i utlandet har dette vært et tema(Nilsen, Svenningsson, 2015). Dette har medvirket til å skape fokus på de farene som er knyttet til brann i bygg med solcelleanlegg, og de unike utfordringene det fører med seg. På grunn av at det er en forholdsvis ny teknologi og nye utfordringer, har det oppstått usikkerhet rundt håndteringen av slike branner.

Solcellepaneler leverer strøm så lenge det er sol på panelene, også om bygget kobles av strømmettet. Det er ikke mulig å skru av panelene slik at de ikke lager strøm, noe som gjør at det vil være spenning i alle ledninger tilknyttet anlegget som ikke er koblet fra på noe vis. Dette medfører at skadde ledninger og annet utstyr tilknyttet solcelleanlegget utgjør en risiko for støt ved slokking- og redningsinnsats i bygget. Det kommer i tillegg utfordringer knyttet til energilagringen, innsats på taket, og informering av involverte planer som bør tas hensyn til for å holde brannsikkerheten på en akseptabelt nivå.

Brannsikkerheten i byggverk opprettholdes gjennom lover og regler for utførelse og vedlikehold av byggverkene. Solcelleteknologi er som tidligere nevnt ikke veldig utbredt i Norge, og vi har ikke registrert nevneverdige branner tilknyttet denne teknologien. Det er ikke utviklet et lovverk i Norge spesielt for solcelleanlegg, i motsetning til andre land der

teknologien er mer utbredt. For å sikre at utviklingen i Norge skjer på en god måte, vil det være hensiktsmessig å innføre relevant lovverk før den store utviklingen av markedet skjer.

1.2 FORMÅL

Denne oppgaven har som formål å beskrive utfordringene tilknyttet brannsikkerheten i bygg med solcelleanlegg, og foreslå endringer og tiltak som kan være med på å opprettholde brannsikkerheten på et forsvarlig nivå, såkalt «best practice». Det innebærer å se på de lover, regler og veiledninger som finnes for installasjon av slike anlegg, og vurdere risiko og tiltak for de ulike utfordringene som finnes. Risiko for brann, brannspredning, utvikling av farlige gasser, slukkearbeid og muligheter for trygg rømning er noen av de vesentlige aspektene ved den overordnede brannsikkerheten i bygget som må tas hensyn til ved vurdering av solcelleanleggets påvirkning. Målsetting er å kunne gi en oversikt over dagens regelverk og praksis, de mangler og behov som eksisterer, og de tiltak som kan gjøre for å bedre brannsikkerheten i byggverk med solcelleanlegg.

1.3 INNHOLD

Opgaven er delt inn i fire overordnede deler som sammen vil bygge opp mot konklusjonen. Den første delen omhandler Norsk og utenlandsk regelverk og veiledninger for solcelleanlegg. Den andre delen beskriver solcelleanlegget og utfordringene det medfører, samt tiltak som kan være med på å løse utfordringene. Den tredje delen består av et laboratorieforsøk som ser på solcellepanelers påvirkning på brannmotstanden til takmaterialet, og gjennomgang av et prosjekt der det installeres solcelleanlegg på en gård. Det sees på de tiltak og vurderinger som er gjort der, og hvorvidt solcelleanlegget påvirker brannsikkerheten i byggverket.

Den fjerde delen består av en diskusjon og konklusjon av de tiltak og utfordringer som er beskrevet.

1.4 AVGRENSNINGER

Det er ved denne oppgaven ikke sett nærmere på bygningsintegreerte solceller. Dette er et lite felt ettersom de fleste solcellepaneler som installeres ikke er integrerte, men det er et nytt, spennende og voksende felt som vil være interessant for videre forskning.

Det er hentet statistikk for risikoen for initiering av brann i solcelleanlegget, men et er tatt lite hensyn til den tekniske utformingen av solcellekomponenter og solcellekomponentene i seg selv. Det er valgt å fokusere på de bygningstekniske utfordringene og utfordringer knyttet til innsatsen ved brann.

Det er begrenset hva som har vært mulig å finne av tyske kilder da de ofte ikke er oversatt til engelsk, og språket har vært utfordrende.

2 METODE

2.1 LITTERATURSTUDIE

I denne oppgaven er det benyttet litteraturstudium som en av hovedaktivitetene. Formålet med litteraturstudiet er å kartlegge internasjonale regelverk og forskningsfronten internasjonalt for å kunne gi en bilde av hvilke behov og mangler som finnes i Norge. Det er gjennomført litteratursøk i relevante litteraturdatabaser, slik som Oria og ScienceDirect, og på internett etter nasjonale og internasjonale publikasjoner. Det er funnet artikler i media og fagblader gjennom søk på internett med søkemotorer slik som Google, samt tips fra veiledere.

2.2 LABORATORIEFORSØK

Det er utført laboratorieforsøk med branntesting av tak hos brannlaboratoriet ved SPFR i Trondheim. Forsøkene er basert på testen CEN/TS1187, en europeisk test for å bestemme brannklasse på takmaterialer. Grunnlaget for testen er å forsøke å finne ut om endringer i testoppsettet som representerer endrede forhold på taket på grunn av solcellepaneler vil utgjøre en forskjell for resultatene.

2.3 CASE-STUDIE

Det er gjennomført et case-studie av Tunga gård på Notodden for å se på de problemer som er oppstått og de løsninger som er gjort der. Dette for å kunne se hvilke utfordringer som kan finnes, vurdere prosjektet opp mot eksisterende regelverk og mulige tiltak som kan gjøres for å bedre brann sikkerheten.

2.4 DYBDEINTERVJU

Det er gjennomført dybdeintervju med relevante personer innen brannvesen, brannrådgivere og solcelleleverandører tilknyttet de tema og utfordringer oppgaven tar for seg. Intervjuene har blitt utført mer som flytende samtaler om bestemte tema enn vanlige intervju med faste spørsmål. Målet har vært å få en innsikt i hvordan de ulike partene har stilt seg til utfordringer, mulige løsninger og framtiden.

De ulike partene er:

Solcelleleverandører:	Brannvesen:	Brannrådgivere:	Energirådgivere:
Carl Christan Strømberg, Solcellespesialisten	Robert Fiskvik, TBRT	Bjørn Lundby, Multiconsult	Bjørn Thorud, Multiconsult
Morten Ganstad, Getek	Ole Ludvigsen, TBRT	Mona Storås, Rambøll	Inger Andresen, professor i integrert energidesign NTNU
		Vegard Ervik Olsen, Rambøll	

3 RAMMEBETINGELSER

3.1 LOVER, FORSKRIFTER OG VEILEDNINGER

Et bygg i Norge med solcelleanlegg har gjennom planlegging, bygging og bruk måtte forholde seg til en rekke lover, forskrifter og veiledninger som sier noe om de ytelse som må oppfylles. Hensikten med disse lovene er å sørge for at bygget er trygt for brukerne og at de som benytter bygget gjør det på en slik måte at det er minst mulig risiko for brann og andre ulykker. Solcelleanlegg må forholde seg til lover og forskrifter som styrer brann sikkerhet i byggverk, samt lover og forskrifter om el-installasjoner. El-tilsynsloven og dens forskrifter styrer elektrisk utstyr, og sier at elektriske anlegg skal prosjekteres, utføres, drives, vedlikeholdes og kontrolleres på en sån måte at de ikke frembyr fare for liv, helse og materielle verdier. Ettersom solcelleanlegget befinner seg i og utgjør en del av bygget må de også forholde seg til den brannlovgivningen som gjelder gjennom Plan- og bygningsloven og Brann- og eksplosjonsvernloven som regulerer brann sikkerheten i byggverk.

3.1.1 Brannlovgivning

Brann sikkerhet i byggverk reguleres av lover og forskrifter for det landet byggverket er oppført i. Dette kapitlet skal se nærmere på norske lover og forskrifter og hvordan de regulerer brann sikkerheten.

Grunnlaget for bygningslovgivningen og brannlovgivningen i Norge finner vi i Byggevareforordningen utviklet av EU. Alle medlemsland i EU og EØS er bundet til å tilpasse seg og ta inn forordninger og rettsakter fra EU. Bakgrunnen for Byggevareforordningen er at ved gjennom harmonisering av lovgivning kan man sikre fri flyt av byggevarer innen EU og EØS-området og sikre en minstestandard for miljø og sikkerhet. Forordningen stiller grunnleggende krav til byggverk som tar for seg blant annet brann sikkerhet.

- Mekanisk motstandsevne og stabilitet
- Brannsikkerhet
- Hygiene, helse og miljø
- Sikkerhet og tilgjengelighet ved bruk
- Vern mot støy
- Energiøkonomisering og varmeisolering
- Bærekraftig bruk av naturressurser

Funksjonskravene til brannsikkerhet gis i Byggevareforordningens vedlegg 1:

«Byggverket skal være utformet og bygget på slik måte at:

- a) byggverket kan antas å ha sin bæreevne i behold en viss tid,
- b) utvikling og spredning av ild og røyk inne i byggverket er begrenset,
- c) spredning av ild til byggverk i nærheten er begrenset,
- d) personer som befinner seg i byggverket, kan forlate bygningen eller reddes på annet vis,
- e) redningsmannskapets sikkerhet er ivaretatt.»

Disse funksjonskravene utgjør basisen for det lovverket som finnes i Norge.

I Norge er det Plan- og bygningsloven og Brann- og eksplosjonsvernloven, deres forskrifter og veiledninger som regulerer brannsikkerheten. Man kan dele regelverket mellom byggefasene og skiller mellom lover og forskrifter som gjelder i byggefasen og de som gjelder i bruksfasen.

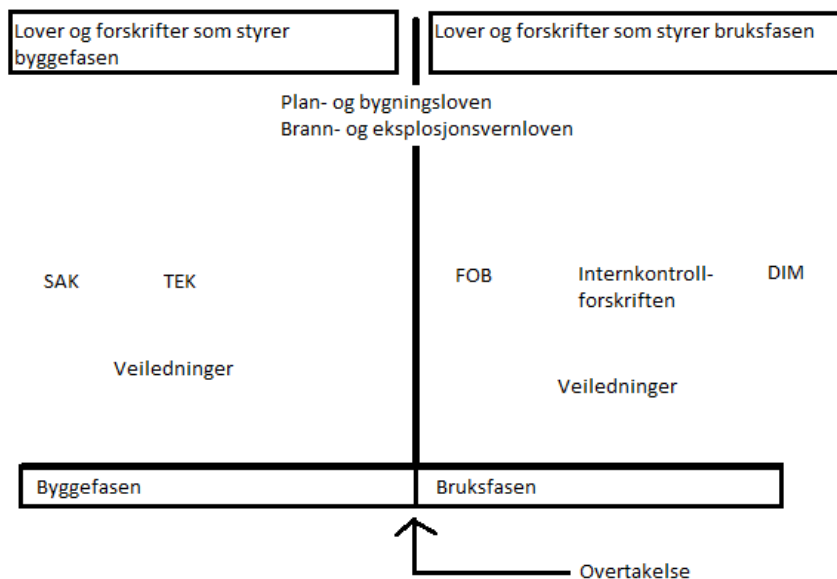


Figure 2 Lover og forskrifter for de ulike fasene i byggeprosessen

3.1.1.1 Plan- og bygningsloven (PBL)

Plan- og bygningsloven (PBL) av 2009 omfatter regler for offentlig byggesaksbehandling, gjennomføring av byggesaker og sanksjonering av ulovlig arbeid. Loven skal fremme bærekraftig utvikling, og ivareta prinsipper slik som universell utforming og estetisk utforming av omgivelser.

3.1.1.2 Teknisk forskrift (TEK)

Teknisk forskrift (TEK) er en forskrift med hjemmel i PBL. Den omfatter krav til byggverk og produkter til byggverk. Den er den viktigste forskriften man må forholde seg til ved brannteknisk planlegging, utførelse og saksbehandling.

Teknisk forskrift av 2010 angir minimumskrav myndighetene har satt for brannsikkerhet i bygninger. Forskriftene er basert på funksjonskrav, som gir generelle kvalitative formuleringer basert på behovet for brannsikkerhet i ulike bygningstyper. Kravene angitt i TEK sier ikke hvordan bygninger skal utformes eller utføres, men angir nødvendig funksjon for å oppnå tilfredsstillende brannsikkerhet.

TEK er utviklet etter bestemmelser i det europeiske byggeverdirektivet som følge av at Norge er medlemsland i EØS. Det gjør at Norge er forpliktet til å innta diverse vedtak i regelverket og praktisere dem som forutsatt.

Funksjonskravene til brannsikkerhet gitt i TEK finnes i kapittel 3 og 11 som omhandler henholdsvis krav til dokumentasjon om produkter som benyttes i bygget og sikkerhet ved brann. Kapittel 3 i TEK henviser til Forskrift om dokumentasjon av byggevarer(DOK) for krav til dokumentasjon av byggevarer, noe som vil bli gjennomgått senere.

Kapittel 11 i TEK setter kravene til brannsikkerhet i byggverk.

§ 11-1. Sikkerhet ved brann

§ 11-2. Risikoklasser

§ 11-3. Brannklasser

§ 11-4. Bæreevne og stabilitet

§ 11-5. Sikkerhet ved eksplosjon

§ 11-6. Tiltak mot brannspredning mellom byggverk

§ 11-7. Brannseksjoner

§ 11-8. Brannceller

§ 11-9. Materialer og produkters egenskaper ved brann

§ 11-10. Tekniske installasjoner

§ 11-11. Generelle krav om rømning og redning

§ 11-12. Tiltak for å påvirke rømnings- og redningstider

§ 11-13. Utgang fra branncelle

§ 11-14. Rømningsvei

§ 11-15. Tilrettelegging for redning av husdyr

§ 11-16. Tilrettelegging for manuell slokking

§ 11-17. Tilrettelegging for rednings- og slokkemannskap

De funksjonskravene og ytelsene som blir gitt i TEK må dokumenteres etter kapittel 2 Dokumentasjon av oppfyllelse av krav. Der TEK gir ytelseskrav må disse oppfylles og der det er funksjonskrav må disse være dokumentert på en av to måter:

- a. ved at byggverk prosjekteres i samsvar med preaksepterte ytelser, eller
- b. ved at byggverk prosjekteres i samsvar med ytelser verifisert ved analyse som viser at forskriftenes funksjonskrav er oppfylt.

Dette åpner for at det er mulig for prosjekterende å fravike preaksepterte ytelser gitt i VTEK hvis det er mulig å vise at forskriftenes funksjonskrav er oppfylt. En analyse vil følge av NS 3901 og kan være kvantitativ og kvalitativ, samt kan inneholde sensitivitetsanalyser, avanserte beregningsmodeller og simuleringer.

TEK omtales som en funksjonsbasert forskrift som gir grunnlaget for de preaksepterte ytelsesnivåene for brannsikkerhet som blir gitt i veiledningen til teknisk forskrift (VTEK). TEK inneholder likevel enkelte detaljkrav og ytelseskrav.

Solcelleanlegg blir direkte berørt av § 11-10. Tekniske installasjoner 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.»

3.1.1.3 Veiledning til teknisk forskrift (VTEK)

Veiledningen til teknisk forskrift (VTEK) angir ytelsesnivå på bakgrunn av funksjonskravene gitt i TEK. Ytelsesnivåene baseres på løsninger som i praksis har vist seg gode nok over tid og gjennom empiriske data. Følger man ytelsesnivåene i VTEK vil man også automatisk tilfredsstille funksjonskravene i TEK. Ytelsesnivåene i VTEK kan fravikes, men dette krever imidlertid god dokumentasjon som viser at brannsikkerheten er ivaretatt gjennom analyse.

Det finnes flere punkter i VTEK å merke seg som vil påvirke solcelleanlegg selv om det ikke er nevnt spesifikk i veiledningen. Noen av disse punktene listes opp her:

§ 11-9. Materialer og produkters egenskaper ved brann

«Preaksepterte ytelser - takteking

Takteking kan bidra til brannspredning i et byggverk og mellom ulike byggverk. Følgende ytelser må derfor minst være oppfylt:

Taktekking må tilfredsstill klasse BROOF(t2) [Ta]. Teglstein, betongtakstein, skifertak og metallplater kan uten ytterligere dokumentasjon antas å tilfredsstill klasse BROOF(t2) [Ta].

For småhus kan taktekking være uklassifisert der avstanden mellom de enkelte byggverk er minst 8,0 m. Med småhus forstås eneboliger, tomannsboliger og andre lave byggverk med et lite antall mennesker.»

Taktekkingen på enkelte bygg må tilfredsstill brannklassen BROOF(t2), men det tas ikke hensyn til hvorvidt et solcellepanel vil påvirke taktekkingens egenskaper. Det er gjort laboratorieforsøk for å finne en indikasjon på hvorvidt dette er tilfellet. Videre settes det krav til isolasjonen i takkonstruksjonen:

§ 11-9

«I byggverk i brannklasse 1 og 2 kan isolasjon som ikke tilfredsstiller klasse A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar] benyttes på takkonstruksjoner som har dokumentert bæreevne under brann (R-klasse i samsvar med § 11-4) og som tilfredsstiller klasse A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar]. Med mindre den bærende takkonstruksjonen i seg selv beskytter isolasjonen mot varmpåkjening fra undersiden (for eksempel betongdekke), må den brennbare isolasjonen legges på et underlag av isolasjon av klasse A2-s1,d0 med tilstrekkelig tykkelse til å isolere mot varmpåkjening fra undersiden. Isolasjonen må i tillegg være beskyttet på oversiden av materialer som tilfredsstiller klasse A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar] som forhindrer antennelse av og brannspredning i isolasjonen. Alternativt til beskyttelse på oversiden kan isolasjonen oppdeles i arealer på inntil 400 m².»

Isolasjon i tak i brannklasse 1, 2 og 3 kan være brennbar så lenge den ligger på ubrennbar isolasjon eller for eksempel et betongdekke og er oppdelt i arealer på inntil 400m² med ubrennbar isolasjon mellom for å hindre brannspredning. Det er ikke nevnt om solcellepaneler på taket vil påvirke dette kravet selv om dette kan påvirke brannspredningen og påvirke mulighetene for slokkingsarbeid.

§ 11-17. Tilrettelegging for rednings- og slökkemannskap

«Til første ledd:

Når en brann oppstår, er det viktig at forholdene i og rundt byggverket er lagt til rette for at brannvesenet skal kunne utføre effektiv rednings- og slukkeinnsats uten unødvendig risiko for skader på personell og utstyr.»

Dette betyr at solcellepaneler på tak bør være tilrettelagt på en slik måte at brannpersonell kan bevege seg uten unødig fare for å måtte gå på glatte eller ødelagte paneler, samt kan ta hull for å ventilere ut røyk og varme gasser uten å risikere å treffe strømførende ledninger eller måtte rive bort paneler for å komme til taket.

«Anbefaling:

Tilrettelegging for utlufting av røyk og branngasser bør avklares med brannvesenet.»

Behovet for tilrettelegging av ventilering og slukkeinnsats på taket bør avklares med brannvesenet. Brannvesen slik som TBRT har egne retningslinjer som beskriver nærmere hva som må gjøres for å tilfredsstille forskriftskravene i deres brannvernregion. Det står imidlertid ikke noe om solceller eller krav til hvordan disse skal plasseres på taket, men det er uttalt dette vil bli lagt til ved en større utbredelse av solcelleanlegg.

«Til tredje ledd

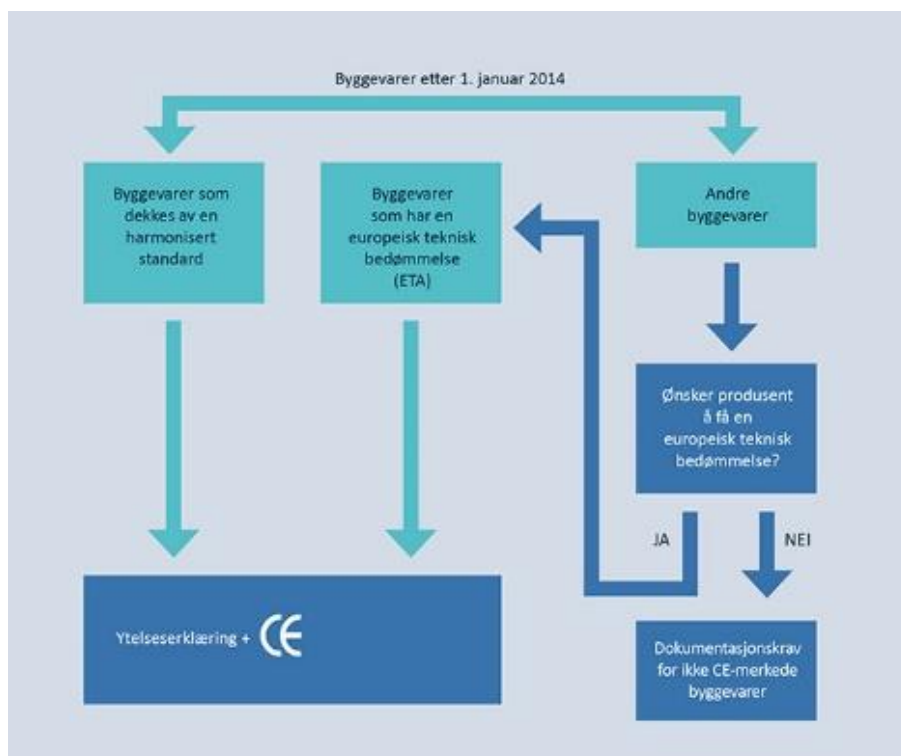
I byggverk i risikoklasse 3, 5 og 6, og i større byggverk i risikoklasse 2, må det ved inngangen til hovedangrepsveien være en orienteringsplan som inneholder nødvendig informasjon om brannskillende bygningsdeler, rømnings- og angrepsveier, slukkeutstyr, branntekniske installasjoner (alarm- og slukkeanlegg brannvernleder og annet viktig personell samt oversikt over særskilte farer i sammenheng med brann og ulykker. Se også annet ledd (parkeringskjellere).

Formålet er å gi brann- og redningspersonell nødvendig informasjon for å løse sine oppgaver på en effektiv måte. Det er dessuten vesentlig at kvalifisert personell som utfører ettersyn, service og vedlikehold av slike installasjoner, får god og lettfattelig informasjon om det enkelte system og sammenhengen mellom systemene.»

Solcelleanlegg kan argumenteres til ha å være en særskilt fare i sammenheng med brann og ulykker og bør være med som nødvendig informasjon ved orienteringsplanen ved hovedangrepsvei. Det kan være vanskelig å se solcelleanlegget fra utsiden, samt vite hvor komponentene i anlegget befinner seg.

3.1.1.4 Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK)

Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK) er en forskrift med hjemmel i PBL som omfatter kravene til dokumentasjon og salg av byggevarer. Reglene i Norge bygger på byggevareforordningen, en rettsakt fra EU, som gjelder i alle EØS-land. Forskriften åpner for to veier for CE-merking av byggevarer. Der det finnes harmoniserte produktstandarder, slik som for de fleste solcellepaneler, har man plikt til CE-merke. Det innebærer at man skaffer en europeisk teknisk bedømmelse av produktet gjennom testing. For produkter uten harmoniserte produktstandarder kan man velge å CE-merke produktet eller man kan la være. Man må uansett dokumentere de tekniske egenskapene til produktet. Fordelen med CE-merking er at da kan man fritt omsette produktene i hele EØS-området.



Figur 1 Dokumentasjonskrav for byggevarer

3.1.1.5 Brann- og eksplosjonsvernloven

Brann- og eksplosjonsvernloven har som formål å verne liv, helse, miljø og materielle verdier mot brann og eksplosjon, mot ulykker med farlig stoff og farlig gods og andre akutte ulykker, samt uønskede tilsiktede hendelser.

3.1.1.6 Forskrift for brannforebygging (FOB)

Forskrift for brannforebygging har hjemmel i Brann- og eksplosjonsvernloven. Den gjelder fra første bruksdag, og inneholder krav til at brannsikkerheten i bygget blir ivaretatt ved hjelp av organisatoriske og tekniske tiltak. Forskriftene sier at eier av bygget har ansvar og forpliktelser som blant annet å kontrollere og vedlikeholde installasjoner som skal oppdage eller begrense konsekvensene av brann (§5).

3.1.2 EL-lovgivning

Solcelleanlegg er som andre elektriske artikler og strømførende komponenter og omfattes av lover for elektrisk utstyr.

3.1.2.1 El-tilsynsloven

Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr (el-tilsynsloven) omfatter alle elektroniske anlegg og alt elektronisk utstyr. Den pålegger at elektriske anlegg skal prosjekteres, utføres, drives, vedlikeholdes og kontrolleres slik at de ikke frembyr fare for liv, helse og materielle verdier

3.1.2.2 Forskrift for elektriske lavspenningsanlegg (FEL)

Forskrift for elektriske lavspenningsanlegg (FEL) er en forskrift som har hjemmel i El-tilsynsloven og har som formål å oppnå en slik forsvarlig sikkerhet som er omtalt i loven. Forskriftene gjelder for elektriske anlegg med spenning opptil 1000 V vekselspenning og likespenning opp til 1500 V, noe som gjør at den omhandler solcelleanlegg. Innholdet sier noe om ytelseskravene det elektriske anlegget må ha med tanke på sikkerhet ved planlegging, utførelse og dokumentasjon.

«§ 35.Bygningskonstruksjonens mekaniske og brannsikkerhetsmessige egenskaper.

Anlegget skal være slik utført at bygningskonstruksjonens mekaniske og brannsikkerhetsmessige egenskaper ikke er svekket.»

Dette vil for solcelleanlegg innebære at panelene og solcelleanlegget ikke kan svekke takets brannsikkerhetsmessige egenskaper. Hvorvidt dette blir overhold omtales senere i oppgaven.

Forskriftene referer til NEK 400 som en metode for oppfylle sikkerhetskravene.

3.1.2.3 NEK 400

NEK 400 er en normsamling utviklet av Norsk Elektroteknisk Komité og forholder seg til strømforsyningsenheter med lavspenning, krav til installasjoner med stasjonære batterier og krav for installasjoner der strømforsyningsenheten kan drives i parallell med andre strømkilder. Den omtaler spesielt solcelleanlegg i NEK 400 7-712 og gir der krav til montasje og supplerer med installasjonsskjema.

3.1.3 Utenlands lovgivning

3.1.3.1 Sverige

Brannlovgivningen i Sverige er også bygd opp rundt den Byggevareforordningen, og er utformet på lik måte som i Norge. Plan- og bygglag (2010:900) tilsvarer plan- og bygningsloven og plan- og byggförordningen (2011:338) stiller forskriftskrav til byggverk. Forskriftskravene til brannvern tilsvarer kravene i Byggevareforordningen.

Boverkets Byggeregler (BBR) er en byggeforskrift som inneholder funksjonskrav og «almäna råd» til Plan- og bygglag og Plan- og byggförordningen. Forskriftens kapittel 5 angir funksjonskrav for brannsikkerhet og tilhørende «almäna råd» som er ytelseskrav.

Ytelsenivåene i BBR angir myndighetenes minimumskrav på samme måte som i VTEK. På lik linje med i Norge gir forskriften mulighet til å dokumentere brannsikkerheten ved analyse dersom forskriftskravene ikke blir fulgt. Det finnes ikke tekniske krav med hensyn til solcellanlegg i BBR.

På linje med Norge blir solcelleanlegg innfattet under el-lovgivningen i Sverige.

Elsäkerhetsverkets föreskrifter og Starkströmsföreskrifterna er de forskriftene som gir krav til sikkerheten ved utførelse og drift av el-anlegg og deriblant solcelleanlegg. Utdypning av disse kravene gis i underordnede standarder samt at Sverige, slik som Norge, stiller krav til

CE-merking av utstyr som brukes i el-installasjoner. En samling av de lover og regler som omfatter solcelleanlegg i Sverige følger her:

- Elsäkerhetsverkets föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar skall vara utförda, ELSÄK-FS 2004:1
- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet
- Starkströmsföreskrifterna, ELSÄK-FS 1999:5, om innehavarens ansvar och tillsyn i Avdelning C
- AMP, Svensk Energi - Anslutning av Mindre Produktionsanläggningar till elnätet
- Svensk Standard SS 436 40 00, Elinstallationsreglerna (bland annat Del I Introduktion 712 Kraftförsörjningssystem med fotoelektriska solceller)
- Svensk Standard SS 437 01 40, Anslutning av lågspänningsinstallasjoner till elnätet.
- Handbok om rutiner mellan nätägare, elinstallatör och kund utgiven av Svensk Energi och EIO.
- Svensk Standard SS 437 01 45, El- och teleinstallasjoner i byggnader.
- Svensk Standard SS 437 01 46, Elinstallasjoner i byggnader – uttag og andra anslutningspunkter – omfang og plassering.
- Svensk Standard SS-EN 61727, Solkraftverk - Anslutning till elnät
- Svensk Standard SS-EN 61173, Solkraftverk - Anvisningar för skydd mot överspänning
- Produktstandarder SS-EN (IEC) 61215 - Solceller - Konstruktions- og typgodkännande av solcellsmoduler av kristallint kisel
- SS-EN (IEC) 61646 - Solceller - Konstruktions- og typgodkännande av solcellsmoduler i tunnfilmsteknik
- ENS - Skydd mot Ö-drift (DIN VDE 0126) för växelriktarna
- CE-märkning og EMC-direktivet (89/336/EEC) för växelriktarna

Disse forskrifter og standarder gir krav til utførelse, drift og utstyret som brukes for å minke risiko for feil ved anlegget noe som kan lede til brann, men gir ingen krav til solcelleanleggets oppførsel under brann utenom kravene til solcellepanelenes brannmotstand som må opprettholdes for at panelene skal være CE-merket.

3.1.3.2 Danmark

På lik linje med Sverige og Norge har også Danmark bygd opp brannlovgivningen rundt byggevevareforordningen. Byggeloven (1995) tilsvarer Plan- og bygningsloven og inneholder funksjonskrav og regler om saksbehandling i byggesaker.

Bygningsreglementet BR15 har hjemmel i Byggeloven og er en byggeforskrift med tilhørende veiledning og fungerer på samme måte som TEK og VTEK. Den har funksjonskrav og minimum ytelsesnivå noe som også er likt det vi gjør i Norge. Forskriftskrav til brannsikkerhet finnes i kapittel 5. Det gis ingen tekniske krav i bygningsreglementet med tanke på solcelleanlegg.

Solcelleanlegg tilknyttet strømmettet må utføres etter Teknisk Forskrift 3.2.1 eller 3.2.2 for elproduserende anlegg avhengig av hvor store de er og hvor mye strøm de produserer. Forskriftene inneholder tekniske og funksjonelle minimumskrav for utførelse og drift av solcelleanlegg. Det stilles ingen krav til oppførsel ved brann eller brannsikkerheten i anlegget utenom de kravene som er gitt for å minimere risiko for feil i anlegget som kan medføre skade og risiko for at brann oppstår.

3.1.3.3 USA

Den amerikanske brannlovgivningen er oppdelt i flere bygningsregler. Man har IBC (International Building Code) utgitt av ICC og det som kalles NFPA 1 Fire Code utgitt av National Fire Protection Association. Disse er konkurrerende lovverk som begge kan benyttes ved oppføring av bygninger. Disse fungerer som forskrifter som stiller funksjonskrav, og har egne og delte underliggende standarder som nærmere beskriver hvordan disse kan oppfylles. Disse standardene utgis av flere organisasjoner slik som UL (Understudies Laboratories), ANSI (American National Standards Institute), ASTM og NFPA.

I tillegg til dette har hver stat egne føringer og krav til byggverkene. Nevneverdig er California der det er størst tetthet av solcelleanlegg i USA der staten stiller krav til takflatene til hus for å kunne utnyttes til solcelleanlegg. Brannvesenet legger også her føringer for hvordan utforming av solcelleanlegg skal gjøres med krav til største flate uten oppbrudd og avstander mellom flater for passasjer for brannvesen. Alle solcelleanlegg skal godkjennes av brannvesenet for å sikre at forskriftene blir fulgt.

I USA stilles det krav til å ha lysbuevern i alle nye solcellesystemer og UL 1699B er en standard for å teste og sertifisere systemer for lysbuevern. Den er utviklet av Underwriters Laboratory, og gir krav til komponenter på likestrømssiden av solcellesystemer for beskyttelse mot kortslutninger og lysbuer for å minke risiko for brann. (Zgonena et al., 2011, Brooks, 2012)

3.1.4 Standarder

Standarder gir retningslinjer for hvilke krav som settes til varer og utførelse av tjenester. De gir mer detaljerte beskrivelser til de funksjonskravene man finner i EU-direktivene, de nasjonale lovene og forskriftene, og utdypet ofte med ytelseskrav. Det er ofte frivillig å bruke standardene men noen ganger må man oppfylle krav og metoder som er gitt i standardene slik at man er nødt til å ta hensyn til dem. Standardene gir gjerne forslag til løsninger på det tema de handler om, noe som kalles en preakseptert løsning. Det vil si at hvis man følger standarden vil man gjøre det på en slik måte at det ikke må etterprøves at det er riktig. Det finnes en rekke ulike typer standarder men innhold fra krav og retningslinjer, prøvemetoder, sertifiseringskrav og mer. Standarder er delt opp etter nasjonalt (NS), europeisk (EN/CEN) og internasjonalt (ICE/ISO) nivå der standarder kan finnes på flere nivåer.

Det finnes mange standarder som omtaler solcelleanlegg og utformingen av disse. I USA har de utviklet en standard for den branntekniske utformingen av solcelleanlegg; ASTM E2908 - 12 en standard om brannsikkerhet ved prosjektering av solcelleanlegg (ASTM, 2012). Den tar for seg grunnleggende prinsipper for moduldesign og installasjon av systemet for å redusere risiko for brann med utspring i solcelleanlegget. Den ser imidlertid ikke på systemets oppførsel i brann eller gir retningslinjer i forhold til redningsinnsats i bygg med solcelleanlegg. VDE-AR-E 2100-712 er en tysk standard for solcelleanlegg med hensyn til brannbekjempelse. Den ser på tiltak på likestrømssiden av et solcelleanlegg for å opprettholde sikkerheten ved brann og branninnsats. NEK EN 50178:1997 er en europeisk standard som setter krav til elektronisk utstyr for bruk i elkraftanlegg. Standarden stiller minimumskrav for testing, design og produksjon av komponenter til bruk i elkraftanlegg og vil dermed også dekke solcelleanlegg.

Det finnes også en rekke europeiske og internasjonale standarder som ser på krav til de ulike komponentene i et solcelleanlegg. Blant disse kan vi skille mellom produktstandarder for solcellemodulene og standarder som ser på resten av det elektriske systemet. Noen spesifikke standarder som ser på deler av solcellesystemet som brukes i EU gjengis her:

- EN 62109-1 (Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – General requirements) gir krav til invertere og tilhørende utstyr til bruk i solcelleanlegg.
- EN 62109-2 (Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Particular requirements for inverters) Gir spesielle krav til inverterene slik som overspenningsvern.
- EN 62446 (Grid connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection) Er en standard for nettilkoblede solcelleanlegg.

Det finnes også en rekke spesifikke internasjonale standarder for produksjon av ulike typer solcellemoduler av forskjellige materialer og oppbygging som stiller krav til produksjonen, testing av panelene og ytelseskrav:

- IEC 61215 for Crystalline Silicon Modules
- IEC 61646 for Thin Film Modules
- IEC 62108 for CPV Modules

I tillegg til disse standardene har vi de standardene som stiller krav til kvaliteten og durabiliteten ved panelene. Den amerikanske standarden UL 1703 inneholder en rekke tester for solcellepaneler inkludert branntestene «Burning brand test» og «Spread of flame test». I 2013 ble standarden revidert til å vurdere med underliggende tak i branntestene for å teste total brannsikkerhet av takkonstruksjonen og solcelleanlegget. Det ble gjort basert på tanken om at solcellepanelene og taket påvirker hverandre og at de separate brannklassifiseringene ikke nødvendigvis blir representative for den totale brannsikkerheten i takkonstruksjonen. I Norge kreves det at tak på større bygg oppfyller brannklassen

Broof(t2). Denne brannklassen oppnås ved gjennomføring av en test som måler flammespredning i taktekkingen. Testen er gitt i CEN/TS1187: "Test methods for external fire exposure to roofs», og resultatet som måles er skadene i materialet ved branneksporing. Dette kravet antas å være oppfylt ved bruk av vanlige ubrennbare materialer for takkledning slik som skifer, steinmaterialer og metallplater. Dette kravet vil være aktuelt å se nærmere på ved bruk av BIPV-tak, da disse ofte benytter andre oppbygginger av takkonstruksjonen enn vanlige.

IEC 61730 er den internasjonale ekvivalenten for UL 1703 og tar for seg sikkerhetskvalifikasjonene til fotovoltaiske (PV) moduler. Den inneholder også «Burning brand test» og «Spread of flame test». NEK EN 61730 er den europeiske tilpasningen av den internasjonale standarden, men inneholder ikke branntestene. Oppfyllelse av kravene i standarden kreves for å få CE-merking av solcellemodulene, noe som kreves for at solcellemodulene skal kunne omsettes på det europeiske og norske markedet.

I tillegg til standarder for produksjon og sikkerhetskrav har vi også IEC 61724 som er en internasjonal standard for ytelsesovervåking, målinger og datautveksling for solcelleanlegg. Det blir det nærmeste vi kommer en standard for vedlikehold av solcellepaneler, da den tar for seg metoder for å teste og undersøke den driftsmessige standen til panelene.

For Norge vil de gjeldende standardene dermed si noe om installasjon, elektrotekniske krav, og krav til bestandighet og sikkerhet for komponenter i solcellesystemet. De sier ikke noe spesifikt i forhold til brannteknisk prosjektering, utførelse, tester, dokumentasjon eller vedlikehold. Dette kan det imidlertid finnes mer om i de Europeiske, internasjonale og amerikanske standardene.

Det finnes og en rekke standarder for batterier som ofte brukes i solcellesystemer. Disse standardene angår forskjellige typer batterier og skiller mellom batterier i systemer som er koblet til strømnettet og frittstående systemer. Det finnes standarder under utvikling som vil se nærmere på krav til batterier som benytter ny teknologi som er i stadig utvikling.

- *IEC 61427-1, Secondary cells and batteries for renewable energy storage - General requirements and methods of test - Part 1: Photovoltaic off-grid applications*, er en internasjonal standard som gir generell informasjon tilknyttet kravene til sekundære

batterier benyttet i solkraft-systemer og testmetoder for godkjenning av batteriytelsen. Standarden tar for seg batterier benyttet i solcelleanlegg som ikke er tilknyttet strømmettet for salg av strøm tilbake til leverandørene og tar for seg alle typer sekundære batterier, deriblant litium-ione-batterier.

- *IEC 61427-2, Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General*

requirements and methods of test – Part 2: On-grid applications, er del to av standarden for batterier i solcelleanlegg som tar for seg batterier i systemer koblet til strømmettet. Den tar for seg testmetoder for batteriers holdbarhet, egenskaper, ytelse. Testmetodene er universelle for alle typer sekundære batterier og vil da fungere for litium-ione-batterier og blybatterier. Batterienheter koblet til strømmettet skiller seg fra andre batterier da ettersom de er koblet til strømmettet vil fungere som kilder eller brønner for energi og kan da stabilisere strømmettet når det produseres mye strøm fra for eksempel solceller om dagen, og det benyttes mye strøm på kvelden.

- *IEC 62619, Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid*

electrolytes - Safety requirements for large format secondary lithium cells and batteries

for use in industrial applications, er en standard under utvikling fra IEC som vil gi krav til sikkerhetsaspekter ved oppføring, vedlikehold og destruksjon av batterier til litium-batterier. Det er ikke en system-standard som vil ta for seg hele batterisystemet, men kun gi krav til batteriene for seg selv.

- *UL Subject 9540, Outline of Investigation for Energy Storage Systems and Equipment*

(UL 9540), vil være en overordnet standard for energilagringssystemer og ikke bare batteriløsninger.

- *IEC 62897, Stationary Energy Storage Systems with Lithium Batteries – Safety*

Requirements, er en standard under utvikling fra IEC som vil gi generelle sikkerhetskrav for stasjonære energilagringssystemer med litiumbatterier. Standarden vil inneholde en rekke krav for potensielle farer ved energilagringssystemer slik som elektrisk sjokk, flammespredning, overopphetelse, eksplosjon, gasser og kjemiske farer. Standarden vil dekke små batterisystemer for husholdninger som kan bli koblet til strømmettet.

3.1.5 Veiledninger for oppføring av solcellesystemer

For å sikre god praksis ved oppføring av solcelleanlegg har våre naboland utviklet veiledninger for dette.

SolEL, en svensk nasjonalt utviklingsprogram for solcellesystem finansiert av både energimyndigheten og næringslivet, har utviklet en installasjonsguide for solcelleleverandører. Denne har som hensikt at installasjonen skal gjennomføres på sikrest mulig måte gjennom at installasjonen gjøres etter gjeldende regler, beste mulig praksis og at vedlikeholdet utføres på sikkert vis. Denne ser ikke nærmere på brann sikkerheten ved solcelleanlegget i en brannsituasjon. (SolEL, 2016)

Danmark har også utviklet en veiledning for montering av solcelleanlegg som henvender seg til montører og installatører. Veiledningen er satt opp som en «best practice» guide til en byggeteknisk forsvarlig montering av solcellene som forholder seg til gjeldende lovverk. Denne veiledningen behandler heller ikke problemstillinger rundt brann i bygninger med solcelleanlegg. (Teknologisk-Institut, 2012)

3.1.6 Veiledninger for slokningsinnsats

Redningspersonells innsats under brann kan være avgjørende for å sikre liv og helse. At redningspersonell har så mye informasjon som mulig om bygget og eventuelle farer er derfor svært viktig (Grant, 2013). Hvis redningspersonell ikke vet hvordan de skal forholde seg til en brann i et bygg med solcelleanlegg kan det gå ut over deres egen sikkerhet, og samtidig påvirke rednings og slokningsarbeidet. I Danmark, Sverige og Tyskland har myndighetene og interesseorganisasjoner utviklet egne veiledninger for brannvesenet om hvordan de skal forholde seg til branner i bygg med solcelleanlegg. Disse har som formål å fjerne usikkerhet og sikre at redningspersonell ikke utsetter seg for unødig risiko og komme med retningslinjer for teknikker som brukes.

Veiledningene har som fellestrekk at de informerer om hva solcelleanlegg er og hvordan man skal forholde seg til dem. Det er blant annet viktig at brannvesen gjør seg kjent med hvordan solcelleanlegget er montert, og hvor man eventuelt kan bryte strømmen slik at man utsetter seg for minst mulig fare. Avstander ved slokking med vann på potensielt spenningsatte objekter er også spesifisert i veiledningene. Det er ganske store forskjeller på

innhold og omfang på veiledningene, men et fellestrekk er at de inneholder et flytskjema som gir en hurtig guide for fremgangsmåte ved innsats i bygg med solcelleanlegg.

(Feuerwehrverband, Feuerwehrverband, 2010)

I Norge har vi per dags dato ingen slike veiledninger, men det har vært interesse for å utvikle en Norsk veiledning med bakgrunn i det raske veksten i solcellemarkedet og det framtidige behovet for kjennskap til slike anlegg.

Eksempler på slike veiledninger fra utlandet:

- DIN VDE 0132 er en tysk standard for brannbekjempelse ved elektriske installasjoner. Den tar for seg opplæring av brannmenn og inneholder blant annet krav om minimum avstand ved slokking av elektriske komponenter med vann.
- «Vejledning om indsats i forbindelse med solcelleanlæg» er en Dansk veiledning utgitt av beredskapsstyrelsen (Beredskabsstyrelsen, 2012). Den inneholder mye informasjon om hva et solcelleanlegg er og hvordan det virker. Fremgangsmåte ved slokking og innsats fremgår også av veiledningen.
- «Råd för räddningstjänst i samband med insats i byggnader med elproducerande solceller» er en Svensk veiledning utgitt av myndigheten för samhällsskydd (MSB, 2014). Den inneholder ikke informasjon om hvordan solcellesystemet virker, men gir veiledning til fremgangsmåte ved slokking og håndtering av farer og risiko.

4 ARENABESKRIVELSE

4.1 OBJEKTBEKRIVELSE

Målet med dette avsnittet er å gi en generell forståelse av solcelleanleggs oppbygging og hvilke komponenter et anlegg består av.

Solceller, eller photovoltaics (pv), er en teknisk installasjon som benytter sollys til å generere strøm. Dette gjør de ved å benytte den fotoelektriske effekten, som går ut på at elektroner flytter seg fra et stoff til et annet når de blir utsatt for sollys og absorberer fotoner. En solcelle er en halvleder der baksiden og forsiden er dopet på en slik måte at det blir overskudd av frie elektroner på forsiden og underskudd på baksiden. Fotoner som treffer cellen kan gjøre bundne elektroner frie og disse vil transporteres til cellens fremside, og dersom man forbinder forsiden og baksiden med en elektrisk krets kan man generere strøm.

Solceller har en virkningsgrad som er forholdet mellom innstrålt effekt og produsert strøm. Denne virkningsgraden er vanlig å angi separat for solceller, moduler og systemer. En modul er flere solceller montert sammen til et panel inkludert rammen og de tilhørende delene, og vil derfor alltid ha litt mindre virkningsgrad enn solcellene for seg selv.

Systemvirkningsgraden vil være enda noe lavere da overføring av strøm gjennom kabler og omdannelsen av likestrøm produsert av solcellene til vekselstrømmen som brukes i husholdningen alltid har et tap. Solceller vil også tape noe ytelse over tid og man regner med at man har omtrent 10% redusert ytelse etter 25 år. De mest effektive kommersielle systemene har per dags dato en virkningsgrad på omtrent 20% når de er nye, noe som vil si at de konverterer 20% av innstrålt effekt om til strøm.

4.1.1 Solcellepaneler

Et solcellepanel er et panel med mange solceller koblet i serie for å oppnå egnet spenning og størrelse. Et panel kan inneholde ca. 50 solceller koblet sammen med en glassplate foran og en bakplate som ofte består av Tedlar. Dette er for å beskytte solcellene fra omgivelsene

samt vær og vind. Den maksimale ytelsen til panelene er gitt i Wp (wattpeak), som er maksimal strømproduksjon i watt. Vanlig produksjon er avhengig av lysforholdene, men paneler har ofte en ytelse på rundt 200 Wp, ved en spenning på ca. 25 volt. Panelene kan komme i mange forskjellige former og med ulike typer solceller med ulike egenskaper.



Figur 2 Solcellepanel, foto Eirik Smeplass

4.1.2 Bygningsintegrerte solceller (BIPV)

BIPV er en form for solcelleteknologi der panelene er bygd som en del av takkonstruksjonen eller veggen. I stedet for å feste panelene på utsiden av det ferdige bygget blir panelene brukt som for eksempel ytre kledning i veggen. Det gjør at man kan slippe unødvendig materialbruk samtidig som det gir større frihet til utforming og estetikk. Solcellepanelene blir

nødt til å oppfylle krav til bestandighet og funksjon som del av bygningens klimaskall samtidig som de skal produsere strøm.

4.1.3 Solcellesystemet

Solcellesystemer er alle komponentene som skal til før vi kan utnytte strømmen fra solcellene samlet. Disse systemene kan være forskjellige, men vi kan skille i to hovedgrupper som inneholder de samme basiskomponentene: Nettilkoblede systemer og systemer som ikke er koblet til strømmettet. Et system som ikke er koblet til strømmettet bruker all strømmen som produseres selv og kan gjerne være plassert et sted som ikke har noe noen tilgang på strøm fra et kraftnett slik som en hytte. Disse benytter som regel alltid batterier for å samle energien når man ikke bruker den slik at den kan brukes når man trenger det. Et nettilkoblet system leverer strømmen til strømmettet så lenge produksjonen i anlegget er større enn forbruket til bygget. Ved å selge strøm tilbake til strømleverandørene kan man tjene inn solcelleanlegget raskere enn ved bare å redusere forbruket i huset samtidig som man bidrar til å skape strøm til andres forbruk.



Figur 3 Solcelleanlegg, foto hentet fra <http://www.pv-log.com/Resources/Public/Images/home-pv-anlage4.jpg>

4.1.4 Vekselrettere

Inverteren er en viktig komponent i solcellesystemet da det er denne som gjør at vi kan bruke strømmen som solcellene produserer ved å gjøre likestrømmen til vekselstrøm som kan sendes til strømnettet eller brukes i huset. Det finnes mange ulike invertere men vi kan dele i de vanligste typene som er strenge-invertere, sentralinvertere og microinvertere. Power optimizers er også noe som bør nevnes selv om det ikke er en inverter men noe som brukes sammen med invertere.

Strenge-invertere er de mest brukte inverterene i mindre solcelleanlegg der strenger med seriekoblede paneler kobles inn til en inverter som konverterer og transformerer strømmen i en eller flere strenger om til vekselstrøm med riktig spenning til å kunne brukes videre. Avhengig av størrelsen på anlegget brukes en eller flere slike invertere som gjerne settes på loftet eller andre praktiske steder i bygget. Sentralinvertere er i utgangspunktet bare store strenge-invertere som tar imot mange strenger fra større solcelleanlegg. En slik inverter er gjerne plassert på taket i et teknisk rom.

En tredje type er microinvertere, som er små invertere plassert bak hvert enkelt panel og gjør at panelene sender fra seg vekselstrøm uten at det ligger likestrøm i kabler. Disse inverterene kan være separat fra panelene, men festet tett til dem, eller være innebygget i panelene. Microinvertere har et par andre fordelaktige funksjoner ved å kunne styre hvert panels produksjon av strøm og dermed optimere strømproduksjonen. De vil også hindre redusert produksjon ved skygge på deler av anlegget ved at ikke hele strenger får redusert produksjonen.

Power optimizers er ikke invertere da de ikke konverterer strømmen fra likestrøm til vekselstrøm, men de har mange av de samme funksjonene som microinvertere og har blitt en produkt som har fått utstrakt bruk. De plasseres bak hvert panel slik som microinvertere og optimerer strømproduksjonen for hvert enkelt panel og motvirker reduksjon i strømproduksjonen ved skygge eller skade på enkeltpaneler.

4.1.5 Gjennomgang av de ulike komponentene i et solcellesystem

Dette avsnittet forklarer et vanlig solcelleanlegg for bolighus.

Solcellemoduler/paneler konverterer sollys til likestrøm. Rekker med paneler kobles sammen ved at hvert panel er koblet i serie til det neste i det som kalles en streng, før det til slutt ender i en koblingsboks. Strengene som samles i koblingsboksen kan ha en spenning på rundt 300 V hver. I koblingsboksen samles strømmen fra flere strenger med paneler/moduler og sendes ut i en ledning med likestrøm til vekselretteren. Denne strømmen kan ha en spenning på opptil 1000 V basert på hvor stort anlegget er. På ledningen mellom koblingsboksen og vekselretteren er det en likestrømsbryter, som kan bryte strømmen slik at det kan gjøres vedlikehold på vekselretteren. For stor strøm i ledningene kan medføre brannfare. I vekselretteren konverteres strømmen til vekselstrøm og spenningen transformeres til 230 V slik at den kan brukes i husstanden. Etter vekselretteren er det en vekselbryter som har lik funksjon som likestrømsbryteren bare for vekselstrøm. Bryterene sikrer at man kan stanse strømmen fra anlegget slik at man kan gjøre vedlikehold på vekselretteren.

Til slutt ender strømmen opp i fordelingsskapet (sikringsskap) der den blir fordelt rundt i huset. Hvis systemet er nettilkoblet vil man gjerne ha en energimåler som kontrollerer hvor mye kraft som produseres, leveres tilbake til kraftnettet, hentes fra kraftnettet og forbrukes i husstanden. Hvis man leverer tilbake strøm til strømmettet ved produksjon i solcelleanlegg må man ta hensyn til spenningsnivået som sendes ut slik at det passer til strømmettet.

Et solcellesystem vil også gjerne benytte batterier som kobles til solcelleanlegget og lades når produksjonen er høy og forbruket er lavt. Det gjør at man kan utnytte strømmen i anlegget når man vil i stedet for kun når solcellene produserer. I tillegg vil man gjerne ha en laderegulator som passer på at batteriene lades og brukes optimalt for å sikre høy ytelse og lang levetid. Batteriene lagrer likestrøm og batteriene vil derfor ofte være koblet til solcellesystemet før strømmen blir omformet til vekselstrøm, men det finnes også batterier som har egne vekselrettere slik at batteriene også kan være på vekselstrømssiden av anlegget.

4.2 BESKRIVELSE AV UTFORDRINGER

Målet med dette avsnittet er å kartlegge og gi en beskrivelse av de utfordringene som oppstår når man benytter solcelleanlegg i bygg.

4.2.1 Risiko for brann i solcelleanlegg

En av aspektene ved brannsikkerheten i bygg med solcelleanlegg er hvorvidt solcelleanlegget og dets komponenter bidrar til økt risiko for brann. Med en raskt økende bruk av solcelleanlegg i norske bygg er det viktig å se på hva denne tilleggs-brannrisikoen har å si for bygget og eventuelt om det er noe man kan gjøre med det. Norge har per dags dato ikke et stort bruk av solcelleanlegg og dermed heller ikke mye statistikk knyttet til branner i bygg med solcelleanlegg.

Brannstatistikk hentet fra DSB viser at det fra 1990 til 2013 har blitt registrert kun ett enkelt tilfelle der det er rapportert at brannen har oppstått i forbindelse med solcelleanlegget og i dette tilfellet oppsto brannen i batteriet tilknyttet solcelleanlegget (Nordløyken et al., 2016). Det kan likevel ha vært flere branner tilknyttet solcelleanlegg, der årsak er rapportert som elektrisk feil uten nærmere benevning. At solcelleteknologi er nytt og forholdsvis lite brukt innebærer også at det ikke nødvendigvis har blitt med i rapportene. Dette gjør at det er vanskelig å si noe om risikoen tilknyttet disse anleggene. For å kunne si noe om sannsynligheten for brann i slike anlegg er det derfor bedre å se på statistikk fra Tyskland, der de har hatt en mye mer utstrakt bruk av solcelleanlegg over mange år.

Tyskland har per dags dato i overkant av 1,5 millioner solcelleanlegg og har gjennom mange år hatt en jevn stor vekst i solkraftmarkedet. En tysk rapport (Laukamp et al., 2013) viser til data fra branner i bygg med solcelleanlegg samlet fra 1995 til 2012. Av de 400 rapporterte tilfellene var solcelleanleggene skyldige for antennelse av 180 av brannene mens de resterende 220 er branner som har oppstått i eksterne kilder i bygget mens solcelleanlegget har blitt skadet under brannforløpet. Disse data gjennomgår hvilke komponenter av solcelleanlegget som er involverte og sier dermed også noe om hvilke komponenter som er kritiske. Gjennom de årene dataene har blitt samlet er det anslått at omlag 1,3 millioner solcelleanlegg ble installert i Tyskland.

Ved å se på antall anlegg og tilfeller med brann for hvert år tilsvarer dette en årlig risiko på $30 * 10^{-6}$, med andre ord 30 branner per million anlegg, for bygningskader på grunn av

brann som oppstår i solcelleanlegget. Ved å benytte funnet statistikk for årlig brannrisiko i bolighus fra USA og norske tall for prosentvis antall branner med utspring i elektriske artikler kan man sammenligne sannsynligheten for brann i solcelleanlegget med branner med utspring i annet elektrisk utstyr. Det oppgis en årlig risiko for brann i bolighus i USA på 0.35% og DSB oppgir at 40% av norske branner har utspring i elektronikk, noe som samlet gir en årlig risiko for brann i bolighus grunnet elektrisk utstyr på 1400 branner per million boliger. Ved å sammenligne risikoen for brann i solcelleanlegget med den overordnede risikoen for brann kan man si at risikoen for brann i solcelleanlegget generelt er svært lav.

Videre ser rapporten på hvilke typer solcellesystemer og montering av solcelleanleggene som fører til branner. De typer systemer som ble vurdert var BIPV-tak, BIPV-fasader, paneler liggende på flate tak, paneler stående på skinner og frittstående paneler ved siden av bygget. Antall ulykker per systemtype hadde en tydelig korrelasjon med markedsandelen til de ulike typene, foruten BIPV-tak som hadde en mye høyere risiko for bygningsskade ved brann enn de andre. Sammenlignet med solcellepaneler montert på taket med skinner hadde BIPV-tak 20 ganger så høy risiko for bygningsskade ved brann, samtidig som BIPV-taket hadde 10 ganger så høy risiko for utspring av brann generelt. Dette kan forklares ved at solcellepaneler montert på skinner på taket er montert slik at takkonstruksjonen skiller brannen fra resten av bygget, mens en brann som oppstår i bygningsintegreerte solcellepaneler per definisjon allerede er inne i bygget og må regnes som en bygningsskade.

Rapporten ser også på hvilke komponenter av solcelleanlegget som var utgangspunktet for brannen der dette var mulig å spore. De mest utsatte delene av solcellesystemet er komponentene på likestrømssiden (DC-siden) av anlegget og vekselretteren (inverteren). Årsakene til brannene er dominert av produktfeil og installasjonsfeil som sammen utgjør ca. 70 % av branner med utspring i solcellesystemet.

Utvikling av brann i solcelleanlegg skjer oftest ved at det oppstår lysbuer i elektriske komponenter som ikke oppdages og skader materialene over tid. Likestrømskomponenter er i stor grad utsatt for lysbuer ved høy spenning og aldring av komponenter (Strobl and Meckler, 2010). Man kan skille mellom parallelllysruer og serielysruer ved at de oppstår i kretser som er koblet parallelt eller i serie. Det er enklere å oppdage parallelllysruer enn serielysruer da man kan se på lavfrekvente endringer i strømmen i den elektriske kretsen, noe som er vanskelig ved serielysruer da disse endringene er mer høyfrekvente. Risikoen for

brann ved lysbuer og jordfeil kan bedres ved bruk av lysbuevern og jordfeilbrytere (Armijo et al., 2014, Brooks, 2012, Flicker and Johnson, 2013).

4.2.2 Risiko for støt ved innsats

Å få støt under slokking av en bygningsbrann er et faremoment for innsatspersonell. Å kutte strømmen for å fjerne faren for støt er en viktig oppgave i enhver brann. Det er stort sett en enkel prosess da de fleste bygg mottar strøm fra strømmettet, og strømmen kan da skrus av ved en enkel operasjon. Det vil imidlertid kunne være en mer krevende prosess når bygget mottar strøm fra et solcelleanlegg i tillegg. Ved å bryte strømmen i et bygg med solcelleanlegg vil det være fortsatt være likestrøm i kablene fram til inverteren.

Likestrømmen vil ikke bli omdannet og sendt videre så lenge det ikke er nettstrøm til inverteren, men denne kan være plassert slik at det føres likestrøm gjennom store deler av bygget.

Solcelleanlegg vil generere strøm så lenge solen skinner og dermed utgjøre en ekstra utfordring for innsatspersonell på dagtid. Det er ikke mulig å slå av solcellene slik at de stopper å produsere strøm og alternativene blir da å dekke til panelene slik at de ikke får sol på seg, eller bryte strømmen mellom solcellene og resten av bygget. Panelene vil ikke produsere strøm på natten, men vil fortsatt produsere strøm når solen står opp og det skinner lys på de. Det er derfor viktig at anlegget kobles fra resten av bygget uansett hvilket tidspunkt innsatsen skjer på slik at det ikke blir overraskelser senere. Skadde ledninger vil kunne utgjøre en fare for støt og oppblussing av brannen lenge etter slukningsarbeidet er endt. (Backstrom R and D, 2011)

Å dekke til panelene med filt eller annet materiale for å blokkere lys er en mulighet som kan fjerne risikoen for støt, men være vanskelig å gjennomføre i praksis. Materialet er nødt til å blokkere en så stor andel av lyset at panelene ikke produserer farlig spenning, samtidig som det må dekke over alle panelene. Mange anlegg er så store at dette blir tilnærmet umulig i praksis med mindre det på forhånd er prosjektert med en løsning for å gjøre dette. Det kan også være en vanskelig oppgave for innsatspersonell som må opp på taket for å dekke panelene i et branntilfelle med mange variabler som må tas hensyn til, blant annet vind. Dette er likevel en løsning som kan være aktuell for mindre solcelleanlegg og småhus.

En bedre løsning kan da være å bryte strømmen mellom bygget og solcellepanelene. Det er krav i NEK 400 om å kunne bryte strømmen før vekselretteren på likestrømssiden av anlegget:

«NEK 400 712.537.2.1.1

For å muliggjøre vedlikehold av solcelleomformerer skal den anordnes utstyr for frakobling av solcelleomformerer både fra DC-siden og fra AC-siden.

NEK 400 712.537.2.2.5

Det skal benyttes en lastskillebryter på DC-siden av solcelleomformerer»

En slik bryter gir muligheten til å bryte strømmen før den kommer til vekselretteren men det er ingen krav til plasseringen av en slik bryter og som regel vil den være plassert ved siden av vekselretteren ettersom dette er mest praktisk for vedlikehold. Dette vil i praksis ikke utgjøre noen forskjell da strømmen uansett vil stoppe ved vekselretteren når bygget kobles av nettstrømmen. Selv om det finnes en bryter ved solcellene kan den være vanskelig å nå i en brannsituasjon, da de kan være plassert på en slik måte at redningspersonell kan ha vanskeligheter med å vite om eller finne bryteren.



Figur 4 Bryter på DC-side av anlegget plassert ved siden av inverterene. Foto: Eirik Smeplass

Selv etter å ha stengt av strømmen fra solcellene til resten av bygget bør kabler og komponenter tilhørende solcelleanlegget behandles som om de er strømførende og aktive til enhver tid.

Kontakt med strømførende kabler fra solcelleanlegget utgjør en betydelig risiko for personer inne i bygget da de i et branntilfelle kan være skadd og gi livsfarlige støt. Solcelleanlegget har gjerne kabler i takkonstruksjonen frem til vekselretteren og deretter videre til et fordelingsskap. Disse kan gå tvers gjennom bygget avhengig hvor fordelingsskapet, panelene og vekselretteren er plassert. Dette gjør at mange vanlige oppgaver for redningspersonell får en ekstra risiko:

- Solceller på fasade der brannmenn må redde personer ut av vinduer ved hjelp av stiger. Disse stigene som gjerne er av aluminium må da lenes mot potensielt skadde solcellepaneler for å komme seg fram til personene i bygget.
- Hulltaking i tak med solcelleanlegg for å ventilere ut røyk av taket på bygget. Da risikerer man å kutte seg gjennom ledninger fra solcelleanlegget som fører likestrøm.
- Eventuelt arbeid med å demontere solcellepaneler for å kunne ta seg gjennom taket som er under.
- Slukkearbeid der det sprutes vann på skadde solcellepaneler eller skadde ledninger der strømmen ledes gjennom vannstrålen og tilbake til brannmannskap.
- Generell ferdsel i bygg der bygningsdeler kan være "aktive", det vil si spenningssatte på grunn av en skadet strømledning fra solcelleanlegget. Det kan også innebære stående vann fra slokkingen som leder strøm.

Større anlegg med solcellepaneler koblet i serie kan oppnå spenninger på opptil 1000 V likespenning. Elektrisk sjokk fra spenninger over 120 V kan føre til hjertestans og andre alvorlige tilstander. De fleste anlegg vil ha en spenning på mer enn 120 V på grunn av seriekoblingen av panelene. Ved seriekobling av solcellepaneler vil strømmen være lik, mens spenningen øker. Det er vanlig å omtale faren ved strømmen gjennom spenningen, men det er like viktig å ta for seg mengden strøm i ampere. Hvor farlig strømmen er avhenger av forholdet mellom spenningen og mengden strøm. Alt over 100 milliampere omtales som potensielt dødelig for mennesker avhengig av eksponeringstid og veien

strømmen tar gjennom kroppen. Ved en spenning på 230 V, det samme som vi bruker i stikkkontakten i huset, og en motstand på 10000 Ohm som kan være motstanden gjennom et vanlig menneske vil mengden strøm som passerer gjennom kroppen være på omtrent 23 milliampere. Dette er nok til at man mister kontroll over musklene. Lavere spenninger enn 120 V vil være relativt ufarlige da det ikke er nok potensiale til å sende strømmen gjennom en menneskekropp.

EFFECTS OF ELECTRICAL CURRENT IN THE HUMAN BODY	
Current	Reaction
Below 1 Milliampere	Generally not perceptible
1 Milliampere	Faint Tingle
5 Milliampere	Slight shock felt. Not painful but disturbing. Average individual can let go. Strong involuntary reactions can lead to other injuries.
6 to 25 Milliampere (women)	Painful shocks. Loss of muscle control.
9 to 30 Milliampere (men)	The freezing current or "let go" range. If extensor muscles are excited by shock, the person may be thrown away from the power source. Individuals cannot let go. Strong involuntary reactions can lead to other injuries.
50 to 150 Milliampere	Extreme pain, respiratory arrest, severe muscle reactions. Death is possible.
1.0 to 4.3 Amperes	Rhythmic pumping action of the heart ceases. Muscular contraction and nerve damage occur; death is likely.
10 Amperes	Cardiac arrest, severe burns, death is probable.

Figur 5 effekten av strøm gjennom menneskekroppen (TUV, 2016)

Likestrøm er også problematisk i seg selv i større grad enn ved vekselstrøm. Likestrømmen har større sannsynlighet til å skape ufrivillige muskelsammentrekninger i kroppen enn vekselstrøm. Muskelsammentrekningene kan skje ved at man er griper i en skadet ledning slik at strømmen spenner musklene og gjør det vanskelig å slippe ledningen, man blir «frosset fast». Dette kan gi en forlenget tid i kontakt med strømmen noe som kan gi brannskader. (circuits, 2016)

Vanligvis vil brannvesenet kutte strømmen til et bygg når det skal slukkes med brannslange. Det er for å fjerne risikoen for elektrisk sjokk fra ledninger og utstyr som er «aktive» via vannstrålen fra slokkingen. Ettersom man ikke kan skru av strømproduksjonen fra solcellepanelene vil dette derfor likevel gi en risiko for elektrisk sjokk hvis vannstrålen treffer paneler eller spenningsatte ledninger. (Tommasini et al., 2014)

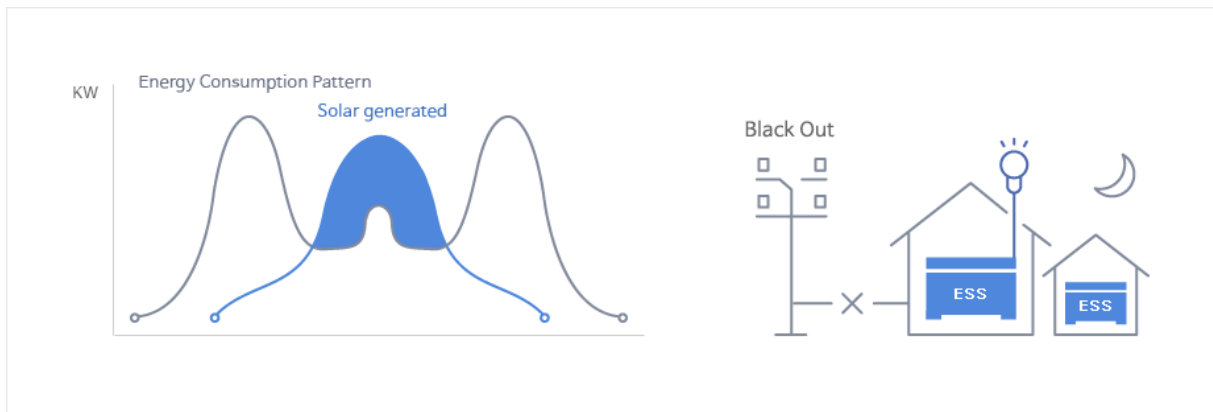
Et italiensk forskningsprosjekt undersøkte risikoen for elektrisk sjokk ved slokking av solcellesystemer med vann. De lagde et forsøk som gikk ut på å sprute vann på et gitter satt

under spenning for å måle kontakten mellom gitteret og munningen på vannslangen, og dermed strømmen gjennom vannet. Prosjektet konkluderte med at man trygt kan bruke vannstråler på spenninger opp til 1000 V likestrøm, så lenge man opprettholder en minimum avstand på mellom 1 og 5 meter fra spenningskilden. Denne avstanden avhenger av trykket på vannstrålen, spredningen på munningen og vannets konduktivitet. Ved høyere trykk på vannet vil man oppnå en diskontinuerlig stråle som gir høyere motstand for strømmen. Det vil si at ved veldig høyt trykk på strålen vil strømmen som føres gjennom vannet bli neglisjerbar. Vannets innhold av salter og urenheter vil også i stor grad påvirke konduktiviteten. Stor spredning på strålen vil også gi en oppdelt stråle der strømmen vil ha stor motstand på grunn av luftboblene som finnes mellom vannet. Det prosjektet omtaler som trygg mengde strøm for mennesker er under 2 milliampere. (Tommasini et al., 2014)

I Tyskland og Danmark har myndighetene inkludert avstand ved slokking i veiledninger for brannvesenet ved innsats i bygg med solcelleanlegg. Disse veiledningenes sier man bør holde avstander til spenningsutsatte objekter på 5 m ved konsentrert vannstråle og 1-1.5 m ved spredt vannstråle.

4.2.3 Energilagring

Solcelleanlegg har ofte behov for energilagring for å kunne utnytte energien de skaper effektivt. Solcellene produserer mest strøm når solen er sterkest og derfor vil det produseres mest strøm på dagen. Forbruket av strøm i en husholdning vil være størst på ettermiddagen når solen er svakere og folk er hjemme og lav på dagen når huset står tomt. I en husholdning vil det derfor være effektivt å benytte energilagringssystemer til å lagre energien på dagtid til ettermiddagen og kvelden når den trengs. Energilagring vil kunne forsyne med strøm ved tap av nettstrøm, også kjent som Blackout, noe som er særlig aktuelt mange steder i Norge som er avsides og hvor ulykker ved kraftforsyning kan ta lang tid å reparere. Også for nettilkoblede anlegg vil det være fordelaktig å kunne styre salget av strøm til strømnettet til når behovet er størst.



Figur 6 Illustrasjon av behov og produksjon av strøm i en husholdning med solcelleanlegg (til venstre) og bruk av energilagring ved tap av nettstrøm (til høyre) (SDI, u.d)

Energilagring kommer i mange former og brukes til å supplere strømmettet eller et lokalt nettverk. Energilagringssystemer kan ha en av følgende teknologier som utgangspunkt:

- Elektrokjemisk lagring

Elektrokjemisk lagring består gjerne av et sekundærbatteri, et batteri som kan lades opp igjen ved tilførsel av strøm, som via en kjemisk prosess kan levere strøm ved behov.

- Kjemisk lagring

Kjemisk lagring består gjerne av en kilde av hydrogengass eller annet drivstoff samt brenselceller eller generator for å kunne produsere strøm fra kilden ved behov.

- Mekanisk lagring

Mekanisk lagring av energi skjer gjennom komprimering av gass, pumping av vann eller tilsvarende løsninger der man tilfører potensiell energi mekanisk for å kunne hente det ut i form av strøm ved behov.

- Termisk lagring

Termisk lagring av energi skjer ved å bruke en oppvarmet substans, for eksempel luft, til å lagre energi som ved tilhørende systemer kan brukes til å drive en elektrisk generator til å lage strøm ved behov.

Solcelleanlegg benytter batterier som er en form for elektrokjemisk lagring i sine energilagringssystemer. Batteriene i et solcelleanlegg kan komme i mange varianter.

Tradisjonelt har batteriene brukt i solcelleanlegg vært blybatterier som er tunge og robuste batterier, men lettere og mer energitette litium-ion-batterier har sett en økning i bruk i solcelleanlegg og energilagringssystemer i bygg.

Batteriener for husholdninger er gjerne på mellom 1 og 10 kWh, og kommersielle systemer kan være mye større med lagringskapasitet på 20 til 100 kWh og over. Spenningen i systemene varierer også basert på type batteriteknologi, strømstyringssystem og produsent, og ligger stort sett mellom 48 og 1000 volt likestrøm. (Blum and Long, 2016)

Litium-ione-batterier har blitt den dominerende teknologien for oppladbare batterier innen husholdningsteknologi, og ligger også an til å bli en stor aktør innen industri, elbiler og energilagring. Forskjellen på litium-ione-batterier og andre batterier slik som blybatterier er energitettheten og elektrolytten som er en brennbar organisk komponent i motsetning til hos for eksempel blybatterier der elektrolytten er en vannholdig løsning. Dette fører til nye utfordringer i forhold til design av batteriet, men også for brannsikkerheten. Utfordringene knyttet til batteriene og da særlig litium-ione-batterier er følgende (Long et al., 2013):

- Plasseringen av batteriet i bygget og de omliggende materialene.
- Krav til ventilasjon og hensyn til giftige gasser.
- Slokking av batterier under brann.
- Lite data knyttet til brann i litium-ione-batterier

Plasseringen av batteriene tilknyttet et solcelleanlegg kan være en brannteknisk utfordring. Størrelsen på anlegget og batteriene, samt utformingen av bygget kan spille inn på hvor man plasserer batteriene i bygget. Kravene til sikkerhet for batterier i Norge stilles gjennom NEK EN 50272-2 som inneholder sikkerhetskrav for sekundære batterier og batteri-installasjoner. I standarden stilles følgende krav til plassering av batteriene (NEK, 2001):

«Batteri skal plasseres i beskyttede omgivelser. Hvis nødvendig må arrangeres med elektriske eller låste elektriske omgivelser.

Følgende typer av lokalisering kan velges:

- *Separate rom for batterier i bygninger*
- *Spesielt adskilte områder innen elektriske omgivelser*
- *Kabinetter eller kapslinger inne i eller utenfor bygninger*
- *Batterirom i apparater (kombikabinetter)*

De følgende faktorer skal tas i betraktning når det skal velges lokalisering:

- a) *Beskyttelse mot ytre fare.*

For eksempel brann, vann, sjokk, vibrasjon, skadedyr

b) Beskyttelse mot farer generert av batteriet.

For eksempel høy spenning, eksplosjonsfarer, elektrolyttfarer, korrosjon

c) Beskyttelse mot adgang av ikke autoriserte personer.

d) Beskyttelse mot ekstreme påvirkninger fra omgivelsene.

For eksempel temperatur, fuktighet, luftbåret forurensning»

For større batterier vil det være mest aktuelt å benytte egne batterirom for batteriene. NEK EN 50272-2 inneholder også krav til ventilasjon av rom med batterier da de kan avgi farlige gasser ved overspenning, høye temperaturer og skade. Det stilles ingen direkte krav for omgivelsene som skal skille batteriet fra resten av bygget. I det amerikanske regelverket IBC står det at Litium-ione-batterisystemer med vekt på mer enn 1000 pounds (500 kg) skal skilles fra resten av bygget med omgivelser med brannmotstand på 1 eller 2 timer avhengig av typen bygg og bruksområde. Dette kravet er stilt med tanke på blybatterier og ettersom litiumteknologien er betraktelig lettere i vekt i forhold til lagret energi vil det være naturlig å finne en annen måte å betrakte batteriene enn vekt.

Ved brann i et bygg med et større energilagringssystem i form av litium-ione-batterier kan det være en betydelig utfordring å slukke. Kjent fra el-biler er det utfordrende å slukke branner med slike batterier. De kan avgi mye varme og holde seg i gang over lang tid på grunn av den lagrede energien i batteriet. Et fenomen som kan skje ved skade på batteriene ved oppvarming, overspenning eller mekanisk skade er det som kalles «thermal runaway» på engelsk. Det kan oversettes til termisk rømling og er en eksoterm reaksjon i battericellen som skaper rask varmeavgivelse og er en selvforsterkende effekt. Det kan forårsake brann og spredning til resten av cellene i batteripakken.

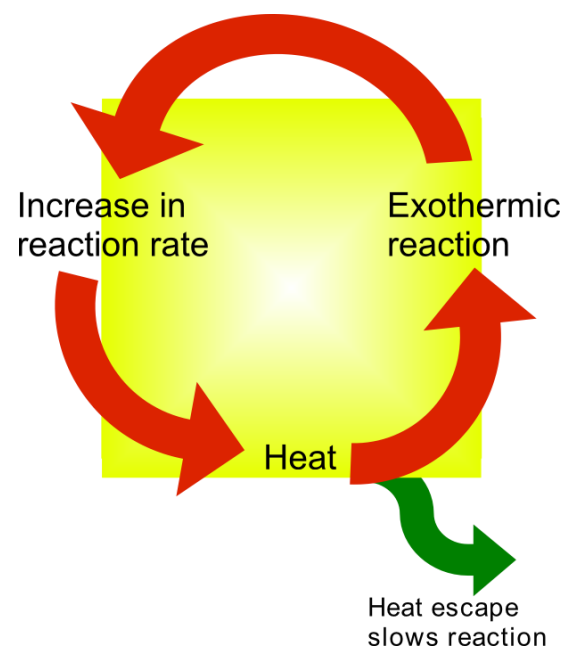


Figure 3 Termisk rømling

Det finnes svært lite data knyttet til slokking av litium-ione-batterier og bygningsbranner. Dette skyldes at det er en forholdsvis ny teknologi som skiller seg fra de tidligere teknologiene i et brannforløp. Derfor er det nødvendig å se til bilbransjen for å hente data og erfaringer for denne typen batterier. El-biler har eksistert i flere år og mange biler har benyttet tilsvarende batterier som nå blir brukt i bygninger. Tesla er en av produsentene av el-biler som har utviklet retningslinjer til slokking av brann i deres biler (TeslaMotors, 2015, Long et al., July 2013).

Det er to strategier som blir benyttet når det slukkes el-biler: Aktiv slokking og passiv slokking. Aktiv slokking skjer ved bruk av store mengder vann til å bekjempe flammene og kjøle ned batteriet slik at man hindrer spredning av brann og varmeutvikling mellom battericellene. Passiv slokking ved at man lar bilen og batteriet brenne ned etter å ha flyttet det til en åpen plass slik at det ikke skjer skade på omgivelsene. Passiv slokking vil åpenbart være en problematisk fremgangsmåte når batteriet ikke er plassert i en bil, men i et hus.

4.2.4 Slokkeinnsats på tak

Solcelleanlegg i byggverk benytter som regel taket som plassering av solcellepanelene. Det er fordi det er der det er mest sol da taket har den beste vinkelen mot himmelen samt at det er eksponert for solen en større del av dagen. Både flate tak og tak med helning er godt egnet til å bruke som underlag for panelene da det stort sett ikke brukes til noe annet, og det ikke er noe som skygger for solen. Ved å benytte solceller på taket oppstår det likevel nye utfordringer tilknyttet en brannsituasjon som taket og brannvesenet må være forberedt på.

Solcellepaneler medfører en økning i lasten på taket som trolig ikke vil være medregnet når det skal tas hensyn til et skadet taks bæreevne under brann. Solcellepaneler har i utgangspunktet ikke en høy vekt, og ettersom de er spredt over en stor flate vil ikke lasten per flate være stor. Derfor er det lite trolig at solcellepanelene kan medføre en kollaps som ikke ville vært der uten panelene til stede. Likevel vil skadde paneler utgjøre en risiko for personell på bakken da de kan falle ned fra taket. Brann i takkonstruksjonen kan skade innfestningen av panelene og medføre risiko for ras og fallende deler av panelet slik som

glass. Brannvesen kan gjøre lurt i å lage en sikkerhetszone fri for ferdsel i de områdene som er utsatte for eventuelle ras av paneler.

En av de mest åpenbare utfordringene med solcellepaneler er at de er glatte og kan særlig under mørke forhold utgjøre en ekstra fare for å snuble eller skli mens man holder på med arbeid på taket. Ferdsel på solcellepaneler bør unngås der mulig, både for å unngå risiko for støt og uhell, men også for å unngå skade på panelene.

Brann i byggverk skaper mye røyk som både er giftig og varm. I noen tilfeller vil det være svært fordelaktig for innsatsen i bygget å kunne ventilere denne ut. Denne operasjonen kalles røykventilasjon. Prinsippet bak røykventilasjon er å endre trykkforholdene i en brennende bygning slik at man kan ventilere ut røyk fra bygget. Formålet med å ventilere ut gasser og røyk kan variere etter bygg og behov for redningsinnsats, men vil være en eller flere av følgende:

- Redusere røyk og varmepåkjeningen på innestengte mennesker i bygget og tilrettelegge for rømning fra bygget.
- Tilrettelegge for redningsinnsats ved å minke varmepåkjeningen i bygget og bedre sikten.
- Hindre og redusere brann og røykspredning i bygget ved redusert trykk og varme i luften samt redusere risiko for overtenning.
- Tilrettelegge for berging i et tidlig stadium av redningsinnsatsen.

(Svensson, 2006)

Det er ofte nok å benytte eksisterende åpninger slik som dører, vinduer og takluker for å ventilere ut røyk og farlige gasser, men noen ganger må man også lage nye hull i taket eller vegger for å kunne ventilere. Det er flere grunner til å benytte hulltaking i bygget som alle relateres til røykventilasjon. Det å ventilere ut et brennende rom slik at røyklaget ikke bygger seg opp reduserer varmepåkjeningen fra røyken, og motvirker overtenning av rommet. Ventilering av tilstøtende rom senker temperaturen, hindrer brannspredning og bedrer sikt og rømningsforhold. Det er ofte også nødvendig å ta hull i konstruksjonen for å kunne komme til i deler av konstruksjonen som er avgrensede for å kunne slukke, slik som loft og inne i veggkonstruksjoner.

Solcelleanlegg vil kunne påvirke røykventilasjon og hulltaking i en brannsituasjon.

Solcellepanelene dekker takets overflate og vil kunne hindre brannvesenet å ta hull i taktisk viktige posisjoner. Å ødelegge eller skjære seg gjennom paneler for å kunne komme seg til taket under vil være svært farlig for brannmennene som utfører oppgaven. (Grant, 2013)

Teknisk forskrift sier i §11-17 at det må legges særlig vekt på utforming av tak for effektiv slokking og det anbefales at tilrettelegging for røykventilering bør avklares med brannvesenet. Brannvesenet har per i dag ingen retningslinjer for utforming solcelleanlegg på tak for å tilrettelegge for utlufting av røyk og branngasser.

Los Angeles Fire Department i USA har utviklet retningslinjer for utforming av solcelleanlegget på tak med tanke på ferdsel på taket under innsats og ventilering av branngasser (LAFD, u.d). Et utdrag av retningslinjene sier følgende:

“(1) Panels shall be located in a manner that provides one three-foot wide clear access pathway from the eave to the ridge on each roof slope where panels are located.

(2) The access pathway shall be located at a structurally strong location on the building (i.e. bearing wall).

b. Buildings with a single ridge:

(1) Panels shall be located in a manner that provides two three-foot wide access pathways from the eave to the ridge on each slope where panels are located.

(2) Access pathway clear width shall not include any eaves overhang.”

Disse retningslinjene gir krav til at det skal være omtrent 1 meter brede passasjer for ferdsel mellom solcellepanelene hvis de er plassert i større felt samt 1 meter brede tilkomstveier langs kanten på taket som ikke inkluderer overheng. I tillegg sier retningslinjene følgende om ventilasjon:

“2. Ventilation:

a. An uninterrupted section of photovoltaic panels (array) shall not exceed 150 feet by 150 feet in dimension in either axis.

b. Panels shall be located no higher than three feet below the ridge.

EXCEPTION: The panels may be located two feet below the ridge if the Department has determined that an approved product or method will provide an equal or greater opportunity for ventilation.”

Blant tiltakene står det at det skal ikke være større uavbrutte felt enn 15x15 meter samt at panelene skal trekkes minst en meter ned fra mønet. Dette er for å sikre mulighetene til røykventilasjon.

4.2.5 Plassering av brytere og merking av anlegget

En av de viktigste oppgavene for brannvesenet i en brannsituasjon er å skaffe seg informasjon om bygget så tidlig som mulig for å kunne ta informerte beslutninger. At brannvesenet informeres om solcelleanlegget vil være viktig for å redusere farer tilknyttet innsatsen. En av måtene brannvesenet kan oppnå den nødvendige informasjonen kan være gjennom orienteringsplanene i bygget. I teknisk forskrift § 11-17 tredje ledd står det i veiledningen:

«I byggverk i risikoklasse 3, 5 og 6, og i større byggverk i risikoklasse 2, må det ved inngangen til hovedangrepsveien være en orienteringsplan som inneholder nødvendig informasjon om brannskillende bygningsdeler, rømnings- og angrepsveier, slukkeutstyr, branntekniske installasjoner (alarm- og slukkeanlegg, brannvernleder og annet viktig personell samt oversikt over særskilte farer i sammenheng med brann og ulykker. Formålet er å gi brann- og redningspersonell nødvendig informasjon for å løse sine oppgaver på en effektiv måte. Det er dessuten vesentlig at kvalifisert personell som utfører ettersyn, service og vedlikehold av slike installasjoner, får god og lettfattelig informasjon om det enkelte system og sammenhengen mellom systemene.»

Solcellesystemet nevnes ikke som en særskilt fare i sammenheng med brann, men vil kunne ha en innvirkning på innsatsen og informasjon om systemet og plassering av komponenter kan være nødvendig for at redningspersonell skal kunne løse sine oppgaver med minst mulig risiko.

Det å kunne bryte strømmen fra solcelleanlegget er viktig for å begrense risikoen tilknyttet redningsinnsatsen og plasseringen av brytere og komponenter i solcelleanlegget er kritisk for

at brannvesenet skal kunne bryte strømmen. Per i dag finnes det krav om at anlegget skal inneholde en bryter på DC-siden av vekselretteren, gitt i NEK 400, men denne bryteren vil gjerne være plassert ved vekselretteren og har som formål å bryte strømmen for å kunne utføre vedlikehold på vekselretteren. Det vil si at i praksis er det ingen krav om å kunne bryte strømmen før den når vekselretteren ved brann. Det finnes mange løsninger for å stoppe strømmen ved panelene som er frivillige, slik som power optimizers, microinvertere og brannmannsbrytere. Disse varierer mellom å bryte strømmen automatisk når bygget kobles fra strømmettet, og å bryte strømmen ved en manuell bryter. En brannmannsbryter vil være en manuell bryter plassert ved inngangen til bygget. Slike brytere finnes allerede i flere kommersielle bygg som benytter neonskilt med høy spenning.



Figure 4 Brannmannsbryter, bildet hentet fra mkwheatingcontrols.co.uk

Merking av utstyr og komponenter er viktig for å unngå unødvendige farer. I forskriftene for elektriske lavspenningsanlegg står det:

«FEL § 32

Merking av kabler, vern og annet materiell

Det skal i nødvendig grad foretas merking slik at kabler, utstyr, vern og annet materiell kan identifiseres og for øvrig i den utstrekning det er nødvendig for å unngå fare.»

Dette innebærer at alle komponenter i solcelleanlegget, særlig på likestrømssiden, bør merkes som strømførende og være identifiserbar.

Trondheim Brann og Redningstjeneste (TBRT) har utviklet en veileder for utforming av orienteringsplaner. I denne er det beskrevet at en orienteringsplan skal inneholde følgende som kan knyttes opp mot solcellanlegg (TBRT, 2011):

«Høyrisikoområder markeres med farge og beskrivende tekst

Eventuelle andre forhold/installasjoner som er vesentlige for slukkeinnsatsen»

Selv om solcelleanlegg ikke er nevnt med tekst vil det passe inn under installasjoner som er vesentlige for slukkeinnsatsen. Områder av bygget som blir berørt av en kabel fra solcelleanlegget som leder likestrøm til en inverter kan markeres som høyrisikoområde.

5 LABORATORIEFORSØK

5.1 INTRODUKSJON

Branntesting av tak for ekstern eksponering av brann er påkrevd for alle takbelegg som brukes i Norge. Unntaket er hvis det er småhus med mer enn 8 meter avstand til nærmeste hus. Småhus regnes som eneboliger, tomannsboliger eller andre lave byggverk med lavt persontall. Dette betyr at mange av byggene i Norge ikke egentlig trenger å ha en klassifisert takteking, men de fleste produkter vil likevel ønske å oppnå brannkravet for å kunne benyttes i alle bygg. Grunnlaget for brannkravet er å hindre brannspredning mellom byggverk som skjer ved at brennende materiale blir fraktet gjennom luften og lander på taktekingen til nærliggende hus. For hus som ligger nær hverandre vil også strålingen ha mye å si for brannspredningen. I Norge vil teglstein, betongtakstein, skifertak og metallplater kan uten ytterligere dokumentasjon antas å tilfredsstille klasse BROOF(t2), som er det gjeldende brannkravet for tak. Dette er fordi disse produktene er antatt å ha så gode brannegenskaper (ubrennbare) at det ikke trengs å teste de.

I dagens regelverk sies det ingenting om hvorvidt takets brannklasse blir påvirket av at det monteres solcellepaneler over taktekingen. Mulige bidrag til flammespredning kan i et slikt tilfelle være refleksjon av varmestråling fra undersiden av panelet, og en tunnel-effekt for vind som presser flammene nærmere taktekingen og øker flammespredning. Dette laboratorieforsøket prøver å finne en indikasjon på hvilken effekt solcellepaneler har for flammespredningen på taktekingen, og om dette kan påvirke brannklassen til materialet. Brannklassen til selve solcellepanelene blir ikke undersøkt da dette hører hjemme i solcellepanelenes egen produktstandard. Det kan nevnes at det har blitt gjort tidligere forsøk ved SPFR som viste at koblingsbokser som er vanlig brukt hengende under panelene kan falle ned og brenne på taktekingen ved kortslutning i boksen. Denne testen er et representativt bilde på en slik situasjon.

5.2 TESTMETODE

Brannklasse BROOF(t2) gis gjennom den europeiske standarden CEN/TS1187: "Test methods for external fire exposure to roofs". Den inneholder fire forskjellige tester (t1)-(t4) hentet fra ulike europeiske lands eksisterende nasjonale testmetoder. De ulike testene er ganske like, men har noe forskjellig innhold.

Test 1: Testmetode med brennende krybbe

Test 2: Testmetode med brennende krybbe og bestemt vindhastighet

Test 3: Testmetode med brennende krybbe, bestemt vindhastighet og varmestråling

Test 4: Testmetode som går over to steg med brennende krybbe, bestemt vindhastighet og varmestråling

Testene gir også forskjellige brannklasser:

Test 1 Fører til brannklasse Broof(t1), Froof(t1)

Test 2 Fører til brannklasse Broof(t2), Froof(t2)

Test 3 Fører til brannklasse Broof(t3), Croof(t3), Droof(t3), Froof(t3)

Test 4 Fører til brannklasse Broof(t4), Croof(t4), Droof(t4), Eroof(t4), Froof(t4)

Ulike land i Europa bruker forskjellige tester og produsenter av takteking må derfor vite hvilke land produktet skal selges i for å gjøre de testene som er relevante. Tyskland benytter test 1, Skandinavia bruker test 2, Frankrike test 3 og England test 4. Det arbeides for å utvikle en felles europeisk test for brannklassifisering av takteking (WFRGENT, 2016).

Laboratorieforsøket tar utgangspunkt i test 2 som gir det norske kravet til brannklasse, BROOF(t2), for tak. Testen benytter en luftkanal av stål der materialet som skal testes og ønsket underlag kan utgjøre bunnen av kanalen. En trekrybbe blir så antent og plassert oppå taktekkingsmaterialet etter den har tatt godt fyr, og ligger der til den har brent ned. Deretter måles tid til antennelse av takmateriale, tid til flammene dør ut og tilslutt tid til det ikke lengere gløder av krybben eller materialet. Maksimal tid for testen er 15 minutter og etter dette skal resterende glør slukkes og testen avsluttes. Resultatene fra testen fås ved å ta ut prøvestykket og måle lengden av det skadde materiale fra senter av trekrybbens plassering og oppover materialet. Det måles også skade på underlagsmaterialet. For å få brannklasse BROOF(t2) må materialet ikke ha en gjennomsnittlig skadet lende på mer enn 550mm og enkeltprøver med skadet lengde på over 800mm.

Det ble gjort en vesentlig forskjell i oppsettet av denne testen i forhold til en vanlig test for å kunne gi en indikasjon på solcellepaneler sin effekt på takbelegget under en brann. En plate som representerte solcellepaneler ble senket over taktekkingen med en høyde på 12.5 cm (5 inches), som antas som en representativ høyde for plassering av solcellepaneler. Platen ble brukt var av et ubrennbart gipsmateriale med glatt og lys overflate. Solcellepaneler kan ha forskjellige materialer i bakplaten men det er som regel hard plast. Det kan gi ulike resultater og være brennbar, selv om platen som brukes i solcellepaneler som regel er lite brennbar (Wikipedia, 2016). Denne variabelen ble ikke tatt hensyn til i disse forsøkene.

5.3 GJENNOMFØRING AV TEST

Forsøkene ble gjort hos SPFR i Trondheim i deres lokaler på Bratsberg. Materialene benyttet i testen og utstyret er også fra SPFR og testen ble utført av Eirik Smeplass med veiledning fra Robert Olofsson. Dato for forsøkene var 11.04.16.

Materialet som ble testet ble tatt av restmateriale som SPFR hadde på lager, og som de hadde gjennomført tidligere tester med. Dette var for å kunne sammenligne resultatet fra denne testen med tidligere tester av samme material for å kunne se på forskjellene, og dermed påvirkningen av «solcellepanelene». Som isolasjonsunderlag under taktekkingen ble det benyttet mineralull. Testen ble gjennomført seks ganger totalt, med tre ganger for en vindhastighet på 2 meter per sekund og tre ganger for en vindhastighet på 4 meter per sekund. Dette er vanlig prosedyre for å få representative data for materialet. Det ble skåret 6 striper med takbelegg for testene og 2 striper med mineralull. Ettersom mineralullen er et ubrennbart materiale ble den ikke mer skadet av forsøkene enn at den kunne vendes slik at en uskadet side kunne benyttes i neste forsøk.



Figure 5 Testriggeren, Foto Eirik Smeplass

Testen har en relativt enkel metode som kan gjennomføres av en person med stoppeklokke, målebånd og mulighet til å notere resultater. De første 2 forsøkene ble gjennomført med hjelp og tilsyn av Robert Olofsson, mens de resterende ble gjort selvstendig. Selv om resultatene har relativt store variasjoner på noen av testens målepunkter er dette å forvente med branntesting da flammer er uberegnelige. Det var ingen hendelser eller avvik fra vanlig testprosedyre å melde om.



Figure 6 Forsøket i gang, Foto Eirik Smeplass

5.4 RESULTATER

Resultatene som er notert fra testen er utført med tidtaking av tre vesentlige hendelser i brannforløpet; Antennelse av tekkingsmaterialet, flammer dør ut og ferdig brannforløp.

Notater ble ført slik som dette:

	Test 1
Lufthastighet	2
Vekt på krybbe	40,41
Tid til antennelse	25
Flamme dør ut	6,01
Glo dør ut	13,46
Lengde på skadet takbelegg	460
Lengde på skadet isolasjon	150

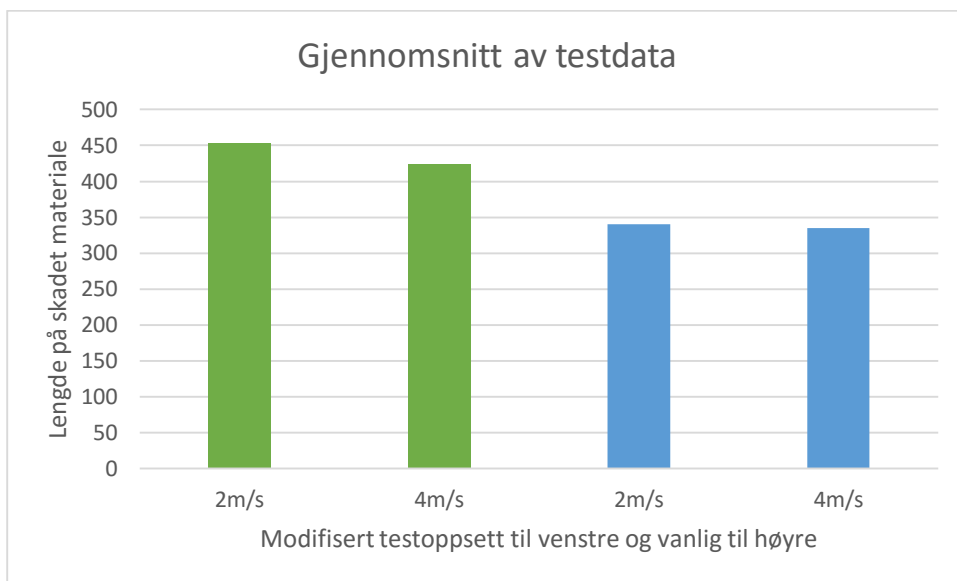
Der lufthastigheten er gitt i meter per sekund og varierer mellom 2 og 4 for testen. Økning av lufthastigheten ga et raskere brannforløp slik at krybben brant ned raskere og flammen døde ut tidligere. Tiden til glørne døde ut og testen ble avsluttet ble også betydelig raskere. Lengden på skadet takmateriale ble derimot ikke større, selv om flammen blir «skjøvet» lengere opp langs taket.

Resultatene fra testen blir sammenlignet med tidligere resultater fra to forskjellige forsøk for samme materiale utarbeidet tidligere hos SPFR. Disse resultatene er basert på kun en enkelt test for hver lufthastighet som skal gi en indikasjon på egenskapene til materialet. Dette gir begrenset nøyaktighet, men vil likevel fungere i dette tilfellet ettersom målet også her er å gi en indikasjon på hvorvidt det kan eksistere en forskjell på testresultatene ved en endring i testmetoden.



Figure 7 Skadet materiale etter endt test, Foto Eirik Smeplass

Testen viser en økning på lengden av skadet takmateriale i testene som inneholdt «solcellepaneler» i forhold til de tidligere utførte testene som ikke hadde montert «solcellepaneler». Gjennomsnittlig forskjell mellom resultatene for vindhastighet på 2m/s var på hele 25% økning i lengde på skadet takbelegg mens for vindhastighet på 4m/s var forskjellen på omtrent 20%. Det gir en indikasjon på at monterte «solcellepaneler» har en betydelig effekt på skadeomfanget av taktekingen. Dette kan også dermed påvirke brannklassen for enkelte tekkingsmaterialer ved at testen gir for store skader.



Figur 7 Laboratorietest

GJENNOMGANG AV CASE-PROSJEKT

5.6 PROSJEKTET

Det er gjennom oppgaven sett nærmere på et prosjekt der det er montert solcelleanlegg på taket av en gårdsbygning på Tunga gård på Notodden. Anlegget er prosjektert og levert av Solcellespesialisten, en Norsk solcelleleverandør. Panelene kommer fra IBC Solar i Tyskland, er produsert i Kina og følger Standardene IEC 61215 og IEC 61730 som sikrer at panelene oppfyller krav til CE-merking. Forventet produksjon fra anlegget er 130 MWh per år og det er koblet til strømmettet og vil selge strøm tilbake til nettet når produksjonen er høyere enn forbruket. Det er ikke involvert batterier i systemet og gården vil trekke strøm fra strømmettet som vanlig så lenge solcellepanelene ikke dekker forbruket. Byggene som er involvert er driftsbygningene som brukes som fjøs og redskapshuset brukes som garasje. Takkonstruksjonene solcellepanelene er plassert på består av stålplater.

Solcellepanelene er plassert på en driftsbygning med to deler og på et redskapsbygning like ved. Den ene delen av driftsbygningen er fra 1991 og har 178 paneler spredt utover den ene halvdelen av takflaten som er vestvendt og har en helning på 27 grader. Panelene ligger tett opp mot kantene på taket og er trukket helt opp til mønet. Slik det fremgår av figuren dekker panelene hele taket som en kontinuerlig flate.



Figure 8 Tunga gård driftsbygning fra 1991, Foto Ole Holta

Den andre delen av driftsbygningen er fra 2014 og har 384 paneler fordelt utover den vestvendte halvdelen av taket. Her er panelene trukket noe enn fra kantene og går ikke helt

opp til mønet. Slik det fremgår av figuren er det en stor kontinuerlig flate som dekker mesteparten av taket med noe plass på sidene og langs mønet.



Figure 9 Tunga gård driftsbygning fra 2014, Foto Ole Holta

Redskapsbygget har 102 paneler på den sørlige siden av taket.



Figure 10 Tunga gård redskapsbygg, Foto Ole Holta

Solcellepanelene er seriekoblet i strenger med 12 og 18 paneler per streng. Disse kobles sammen og føres inn de totalt 4 inverterene som er plassert i teknisk rom i redskapsbygget. Det vil si at det føres likestrømskabler fra driftsbygget med høy spenning under tunet i et beskyttet kabelrør før det trekkes inn i teknisk rom i redskapsbygget. Det vil si at Likestrømssiden av anlegget er kablene på takene, en kabel under tunet og inn i redskapsbygget.

5.7 BRANNTEKNIISK VURDERING

Ettersom byggene er prosjektert og ferdigstilt før solcelleanlegget er lagt til har ikke den branntekniske prosjekteringen av byggene tatt hensyn til solcelleanlegget. Det stilles ingen

spesielle krav til branntekniske tiltak i teknisk forskrift som anlegget må ta hensyn til, men installasjonen må ikke vesentlig øke faren for at brann oppstår eller sprer seg. Det er gjort tiltak for å bedre brannsikkerheten ved å redusere faren for at brann oppstår eller sprer seg på følgende vis: Teknisk rom er utført med vegger med over 1 times brannmotstand gjennom mange lag gips på begge sider av veggen. Inverterene er plassert på en ubrennbar betongplate som skiller de fra andre brennbare materialer. Dette hjelper mot spredning av brannen til andre rom fra teknisk rom.

Ved brann i et av byggene med solcellepaneler på taket vil det kunne være aktuelt å ventilere ut branngasser for å motvirke overtenning og bedre forhold for rømning. Ettersom solcellepanelene er trukket helt opp til mønet på den eldste delen av driftsbygningen kan dette gjøre det vanskelig å få en optimal plassering av hulltakingen, men da kun den ene siden av bygget er dekt av solceller vil likevel den andre siden være fri til bruk. Den nyere delen av driftsbygget deler ikke det samme problemet da solcellepanelene ikke er trukket opp til mønet noe som gjør det aktuelt å ventilere branngasser ut der det ikke er paneler.

I et branntilfelle vil brannvesenet kunne kutte strømmen til byggene. Da vil strømmen brytes ved inverterene og likestrømssiden av anlegget fortsatt være spenningsatt. Likestrømssiden av dette anlegget innebærer takene med solcellepanelene og kabelen som føres fra taket, ned langs veggen og under tunet før den føres inn i teknisk rom. Dette vil trolig ikke by på utfordringer da strømmen ikke føres gjennom bygget på noe tidspunkt foruten inn til teknisk rom, noe som gjør at det ikke vil være en risiko for støt ved redning og slokking i byggene.

Underlaget til panelene er stålplater som er ubrennbare. Dette gjør at solcellepanelene ikke vil medføre risiko for å spre brann til taket eller medføre en større fare ved brann på taket.

Den helhetlige vurderingen av prosjektet er at solcelleanlegget ikke medfører en redusert brannsikkerhet for byggene. Eventuelle tiltak som ikke er vurdert er å splitte opp feltene med solcellepaneler på taket for å bedre fremkommeligheten.

DISKUSJON

5.8 RISIKO FOR OG VED BRANN

Vi kan skille mellom to måter solcelleanlegg vil påvirke brannsikkerheten i bygg på:

Risiko for at brann oppstår i solcelleanlegget, og solcelleanleggets påvirkning på bygget under en brann.

Sannsynligheten for brann i bygget med oppstart i solcelleanlegget er svært liten i forhold til risikoen for brann generelt slik som vist i kapittel 6.2.1. Solcelleanlegget vil derimot ha en mye større innvirkning på brannsikkerheten i bygget i løpet av et brannscenario. Det er derfor ikke valgt å se nærmere på tiltak som reduserer risiko for brann med utspring i solcelleanlegget, men heller på utfordringer og tiltak knyttet til redning og slokking i bygg med solcellesystemer.

5.9 ENERGILAGRING

Energilagring er et stadig mer aktuelt tema når det kommer til brannsikkerhet. Både fra solcelleanlegg, som har store fordeler ved å bruke batterier for energilagring, men også fra en trend som har begynt å spre seg, særlig i USA, med energilagringssystemer i vanlige husholdninger for å effektivisere energibruken, og samtidig ha muligheten til å lagre egen energi, ofte omtalt som Powerbanks. En av de mest populære teknologiene for batterier i både private og kommersielle energilagringssystemer er litium-ione-batterier. Det er den samme teknologien som brukes i El-biler, blant annet Tesla.

Ved valg om aktiv bekjempelse av brann i batteriet kreves det store mengder vann for å kjøle ned batteriet nok til å hindre spredning av brannen. Vann brukt i slokking kan splittes til hydrogen og oksygen ved elektrolyse i kontakt med batteriet, noe som vil bidra ekstra til branngasser som frigis. Dette er også noe som bidrar til at man må bruke mye vann ved slokkingen for at det skal ha en ønsket effekt. Så store mengder vann kan skape utfordringer for bygget og rommet batteriene er plassert i, slik at bruk av sluk bør vurderes. De som slukker bør holde en trygg avstand slik at man unngår unødig risiko for støt gjennom vannstrålen. Det bør så lenge det er mulig slukkes på en slik måte at man sikter vannet mot åpninger i batteripakken med den hensikt å oversvømme batteriet så mye som mulig. Dette

er for at vannet skal være i kontakt med så mye overflate på batteriene som mulig, slik at kjøleeffekten blir stor. Slukkepersonell bør ha røykdykkingsutstyr da batteriet kan lekke farlige gasser når det er utsatt for høye temperaturer eller overspenning. Batteriene kan ha en veldig lang nedbrenningstid på mange timer, og det kan ta opptil 24 timer før batteriet har kjølt seg helt ned. Slukkede batterier kan begynne å brenne igjen på grunn av eksoterme reaksjoner i materialene i skadde battericeller.

På grunn av stadig større energilagringssystemer og vanskelighetene ved slokking av enkelte typer batterier bør det vurderes hvorvidt det bør tas bygningstekniske tiltak for å bedre brannsikkerheten. Per i dag er krav til sikkerhet i batterienheter gitt i NEK EN 50272-2, der det står at batterier skal plasseres i beskyttede omgivelser, uten at det gis nærmere forklaring på hva dette innebærer. I de amerikanske bygningsreglene IBC er det oppgitt at batterier over en gitt vekt skal være avskilt fra resten av bygget med brannklassifiserte vegger med brannmotstand på 1-2 timer. Dette kravet er gitt med tanke på blybatterier som er mye tyngre enn litiumbatterier. Hvorvidt vekt er en effektiv måte å kategorisere batterier bør vurderes. Litiumbatterier er brennbare og gir en annen brannsituasjon enn blybatteriene.

Det vil være gunstig å sette krav til konstruksjonen mellom batterier og resten av bygget. Dette kan løses ved å plassere batteriene i et teknisk rom eller batterirom og benytte samme krav som stilles til tekniske rom som betjener flere andre brannceller, eller fyrrom der vegger må oppfylle EI 60. I store kommersielle bygg kan dette løses ved å benytte et teknisk rom over yttertak med brannmotstand minst som branncellebegrensende bygningsdel.

5.10 BRANNSIKKERHET PÅ TAK

Solcellepaneler på tak skaper en ny og utfordrende situasjon for innsats på taket ved brann. I mange tilfeller, både på større kommersielle bygg og småhus, vil brannvesen ha behov for å kunne bevege seg og utføre arbeid på taket i en brannsituasjon. Dette er arbeid som gjøres mer og mer med lift, men for større hus der flatene er for store til å dekkes med liften, eller områder der brannvesen ikke disponerer lift vil det være nødvendig for brannvesenet å kunne bevege seg på taket av bygget. Slik situasjonen er i dag, finnes det ingen retningslinjer eller regler for hvordan man skal legge panelene, eller hvor man skal legge dem. På mange bygg vil panelene dekke hele eller halve taket etter utforming og takretning. Å ferdes oppe

på solcellepanelene er noe som bør unngås av brannvesenet da dette kan føre til ulykker, og mindre viktig; ødelagte paneler. Hvis man skal unngå å måtte ferdes på solcellepanelene samtidig som man skal kunne ha mulighet til å gjennomføre innsats på taket bør det innføres regler for hvordan solcellepanelene kan legges.

I California har Los Angeles Fire Department (LAFD) innsatt regler for hvordan man kan utforme solcellepaneler på taket for å sikre trygg innsats for brannvesen. LAFD er et av de brannvesen som har mest erfaring med håndtering av solcelleteknologi og brann da California har en av de tetteste samlingene av solcelleanlegg i verden. California har satt obligatoriske regler om at bygninger under 10 etasjer har klargjort 15 prosent av taket for utbyggings av solcellepaneler, og fra 2017 vil San Fransisco være første by som krever at det blir utbygd paneler på disse 15 prosentene. (Coren, 2016)

Reglene innebærer å sette grense for maksimal størrelse på sammenhengende flate av solcellepaneler, krav til frie passasjer mellom panelene, og fritt leide langs mønet av taket for hulltaking. I tillegg skal brannvesenet kontrollere alle planer for utbygging av paneler på tak for å sikre at det blir gjort på en forsvarlig måte. Dette er regler som er enkle å overholde, samtidig som de gir enklere ferdsel på taket for innsatspersonell og vedlikehold av solcellepanelene. Gjennom TEK stiller vi i Norge krav til at byggverk skal være utformet slik at slokkemannskap skal ha god tilgjengelighet til byggverket for en effektiv slokkeinnsats. Videre i veiledningen presiseres det at det skal være lagt til rette for at brannvesenet skal kunne utføre slokkeinnsats uten unødvendig risiko for skader på personell og utstyr. Dette behovet må avklares med det lokale brannvesenet, og de lager retningslinjer for å oppfylle forskriftskravene. I Trondheim har TBRT gjennom en veileder beskrevet mer nøyere hva som gjøres for å tilfredsstille forskriftskravene, men det er imidlertid ikke nevnt noe om solcellepaneler (TBRT, 2016).

TBRT har gjennom dialog gitt inntrykk av at denne typen regler for utforming av solcellepanelene på taket kan være aktuelt å adoptere til Norge. Det å sette brannvesenet som ansvarlig for å kontrollere alle planer for solcellepaneler på tak vil gi en stor ekstra mengde arbeid for brannvesenet, men vil samtidig gi innsyn i utformingen av anlegget, noe som kan være svært nyttig kunnskap ved en brannsituasjon. Slik som brannlovgivningen er i Norge i dag, er kontroll av prosjektering og utførelse en privatisert oppgave der bygningsmyndigheter fører kontroll med at private foretak utfører arbeidet i henhold til

loven. Det vil derfor ikke være aktuelt at brannvesenet kontrollerer alle takplaner, men ved spørsmål om tilrettelegging for brannvesenets innsats vil det være naturlig å kontakte brannvesenet for drøfting av utfordringer.

Solcellepanelene vil påvirke selve tak-konstruksjonen de er festet til. I Norge stiller vi krav til takets brennbarhet i form av krav til isolasjonsmaterialer og krav til taktekkingsmaterialet. Hvis det stilles krav til taktekkingsmaterialet må dette oppfylle kravet Broof(t2), et mål på materialets brennbarhet, og hvor stor skade det tar under brann. Dette målet vil si noe om lett en brann kan spre seg fra et bygg til et annet gjennom flyvende og brennende materialer som lander på taket. For småhus har vi lange tradisjoner i å bruke ubrennbare steinmaterialer slik som skifer, og disse antas automatisk å tilfredsstille kravene. Likevel vil det være mange tak som benytter materialer som må være godkjent gjennom testing.

I denne oppgaven ble det utført laboratorieforsøk for å prøve å finne en indikasjon på hvorvidt solcellepaneler lagt oppå tekkingen vil påvirke resultatene fra denne testen. Resultatene viste mellom 20 og 25 prosents øking i skadd materiale, noe som selv ved en liten indikativ test vil være nok til å påstå at solcellepanelene har en negativ effekt på brannklassen til taket. Innfestingen av panelene vil også kunne påvirke taket, men det er ikke blitt undersøkt nærmere. I et scenario der brennende materialer lander på et tak med solcellepaneler vil det også være naturlig å tenke at materialet kan lande på toppen av solcellepanelene, og at de vil fungere som en barriere mellom brannen og taket.

Brannkravene til panelene blir gitt gjennom egne standarder for solcellepaneler. Ved tidligere forsøk ved SPFR der koblingsbokser under solcellepanelene ble utsatt for kortslutning viste det seg at boksene tok fyr og falt ned på underlaget under panelene. Dette gir ekstra grunnlag for å sette krav til det underliggende materialet da et slikt tilfelle vil være svært likt testoppsettet som viste at skaden er større ved solcellepaneler enn uten. Det bør derfor så langt som mulig velges ubrennbare materialer i taket ved bruk av solcellepaneler. Brennbar isolasjon i taket bør ikke benyttes da solcelleanlegget vil være en bidragsyter til å spre brann gjennom brennbare kabler og samtidig gjøre slukkeinnsats vanskeligere ved å dekke for brannen. Ved bruk av brennbar isolasjon bør det uansett ikke brukes under felt der det monteres solcelleanlegg.

5.11 INNSATS VED BRANN

Under rednings- og slokkeinnsats er noe det mest kritiske at mannskapet har den informasjonen de trenger for å kunne ta riktige valg og unngå fare. Brannvesenet får denne informasjonen fra flere steder:

- Leder for innsatsen befarer bygget ved ankomst, noe som innebærer å se hvor brannen er, hvor stor den er, hvilke farer det er mulig å se ved en runde rundt bygget, fare for spredning av brannen og andre mulige forhold det er mulig å se.
- Informasjonssystemer for alarmsentralen og utrykningsbilene. De kan inneholde informasjon om bygget, innsatsplaner, og annet data som er relevant for bygget og lagt inn i systemet.
- Informasjon fra eier av bygget eller brukere av bygget. De som varsler brannen eller er godt kjent med bygget, kan gi viktig informasjon til brannvesenet ved ankomst til stedet eller via telefon. Dette kan være oppdatert informasjon om brannens spredning, forholdene i bygget og mer.
- Orienteringskart og annen informasjon tilgjengelig i bygget ved ankomst. Bygg skal være utformet med orienteringsplaner ved brannsentralen som skal være lett tilgjengelig ved angrepsvei. Denne kan informere brannvesenet om plassering av teknisk utstyr og byggets utforming.

Brannvesenet har uttrykt gjennom dialog(Hermansen, 2016) at erfaringsmessig fra deres side blir ikke informasjonen som ligger inne i informasjonssystemene benyttet i reelle branner. Men de erfarer samtidig at orienteringsplanene og informasjon fra eier/bruker av bygget blir flittig brukt og fungerer godt. Dette, kombinert med informasjonen innsatsleder henter inn ved en runde rundt bygget ved ankomst, vil da legge grunnlaget for de valgene som blir tatt for innsatsen. Solcelleanlegg vil ofte være synlige fra utsiden av bygget, særlig ved små hus, men kan også være vanskelig å se. Høyde på taket og omgivelsene rundt kan gjøre det vanskelig å se paneler på taket. Ny teknologi som gjør at solcellepanelene ligner på vanlige takmaterialer slik som takstein, kan også gjøre det vanskelig å vite at det genereres strøm på taket. Det gjør at det blir ekstra viktig at orienteringsplanene inneholder informasjon om solcelleanlegget slik at brannvesenet får kjennskap til installasjonen.

Ved slokkeinnsats på tak eller i småhus vil det være vanskelig å unngå å forholde seg til at solcellepanelene eller deler av bygget kan føre strøm på dagtid. Det finnes en fare for at

slokkemannskap kan få støt gjennom vannstrålen fra slangene hvis det ikke benyttes enkle tiltak i forhold til avstander til det strømførende og spredningen på munningen av slangen. Per i dag har vi ikke noen retningslinjer på dette i Norge, i motsetning til våre naboland og Tyskland. Ved å holde spredningen høy ved kort avstand på under 2 meter og opp til 5 meter avstand ved liten spredning vil man unngå fare for støt på slokkepersonell (Tommasini et al., 2014). Dette bør følge opplæringen til brannvesenet og også være en del av veiledningen til hvordan man skal forholde seg til brann i solcelleanlegg.

5.12 ERFARINGER FRA DE ULIKE AKTØRER I MARKEDET

Det ble i løpet av oppgaven gjennomført samtaler med brannrådgivere, solcelleleverandører og brannvesenet om deres erfaringer og de utfordringene vi har i Norge i forhold til solcelleanlegg.

Brannvesenet (TBRT)

Trondheim har så langt hatt en svært liten utbygging av solcelleanlegg, men ser framover mot større prosjekter som inkluderer solcellepaneler slik som Heimdal VGS, Trondheim Spektrum, Powerhouse Brattøra og Askos varehus på Tiller. Solcelleanlegg er ikke noe brannvesenet har erfaring med per dags dato, da det ikke finnes mange anlegg. Det er heller ikke oppsøkt kunnskap utenfra om emnet, men det vil bli vurdert etter hvert som det blir flere anlegg, og et større behov for kunnskap. Brannvesenet har inkludert solcelleanlegg og de utfordringene som følger med i samtaler med brannrådgivere og prosjekterende ved prosjektet Heimdal VGS, der det gjennomgås tilrettelegging for brannvesenets innsats. Det ble diskutert om utforming av solcellepanelene på taket og muligheten det gir for trygg ferdsel på taket i et branntilfelle.

Brannvesenet er skeptiske til ferdsel i bolighus med solcelleanlegg der det ikke er bekreftet at bygget er strømløst, på grunn av potensielt farlige likestrømskabler. Per i dag opererer brannvesenet ved å kontakte strømløst som kobler ut strømmen slik at det trygt kan slukkes. Trondheim har en vannkilde med få salter og lite urenheter, og det rene vannet er en bidragsyter til at det ikke er stor fare for strøm gjennom vannet, da vann med mye salter og urenheter leder strøm bedre. Erfaringsmessig har brannvesenet svært lite problemer med støt ved slokking, og dette oppleves ikke som en utfordring. Det er likevel en skepsis til

likestrøm fra solcelleanlegg i bygget, grunnet usikkerhet om anlegget er strømløst, og at likestrøm kan være mer skadelig ved kontakt.

Ettersom utkobling fra strømmettet vil stoppe strømmen fra solcelleanlegget ved vekselretteren, vil det bare være stykket mellom vekselretteren og solcellepanelene som er strømførende. Det finnes imidlertid ingen retningslinjer for plassering av vekselretteren, og denne kan være i kjelleren, noe som fører likestrømskabler gjennom hele bygget.

Brannvesenet ser en løsning i å bruke en bryter som bruker styringsstrøm fra strømmettet til å bryte strømmen på et punkt nært panelene automatisk ved strømbrydd eller frakobling fra strømmettet (Ludvigsen, 2016). Dette vil kunne gjøre at den vanlige prosessen ved at strømleverandør fjerner strømmen fra bygget også fjerner strømmen fra panelene. Dette ser brannvesenet på som en bedre løsning enn å bruke brannmannsbrytere i inngangspartiet til bygget, da dette er noe som fort kan oversees i et branntilfelle der brannvesenet ikke nødvendigvis ser at det er solceller på taket.

Begge løsningene vil bidra til å kunne stoppe strømmen fra solcelleanlegget like ved panelene, og fjerne risiko for støt ved innsats i bygget. Det vil imidlertid fortsatt være en risiko å utføre innsats og slokking på taket da panelene fortsatt vil produsere strøm.

Brannmannsbrytere vil per i dag være et relativt fordyrende tiltak for å bedre brannsikkerheten, og da brannvesenet ikke ser på det som en god løsning vil jeg heller ikke anbefale denne løsningen. Løsninger som bruker styrestrøm fra strømmettet vil være påslått og bruke strøm til enhver tid, og samtidig bidra til å øke monteringskostnadene mye. Det bør derfor vurderes nærmere hvorvidt dette er et gunstig tiltak.

Brannrådgivere

Per i dag er det svært liten erfaring i med prosjektering av bygg med solcelleanlegg hos norske brannrådgivere. Dette skyldes at de fleste større solcelleanlegg blir installert i eksisterende bygg, uten at brannsikkerheten vurderes nærmere. Der solcelleanleggene inngår i prosjekteringen av bygget, har det også vært begrenset hvorvidt anlegget inngår i den branntekniske vurderingen. Der det har blitt stilt krav til anlegget, har det i noen tilfeller kun blitt satt et overordnet krav til at anlegget skal kunne gjøres strømløst ved brann. Det er også blitt henvist til at danske retningslinjer/veiledninger for montasje av panelene skal følges. Når det prosjekteres flere bygg der solcellepanelene er med i prosjekteringen av

bygget fra starten av, vil det bli et større behov for å vurdere solcelleanlegget i den brann tekniske prosjekteringen av bygget. Det betyr at brannrådgivere må tilegne seg kunnskap om hvordan solcelleanlegget påvirker bygget, og hvilke løsninger og tiltak som kan gjøres for de ulike bygg. En stadig økende bruk av bygningsintegreerte solceller vil også kreve strengere vurdering av brann sikkerheten i bygget grunner mer kompliserte løsninger.

Bruk av batterier er også et tema som i større grad vil måtte vurderes hvis det blir brukt større batterier i sammenheng med solcellesystemer. Batterier kan medføre en større brannrisiko, og bør prosjekteres med egne batterirom eller plasseres ved andre tekniske installasjoner som krever omgivelser med brannmotstand. Slike rom bør også utføres med sluk ettersom det kreves store mengder vann for å slukke batteriene hvis cellene i batteriet gjennomgår «thermal runaway».

Solcelleleverandører

Det finnes mange små og større solcelleleverandører i det norske markedet med ulik erfaring og fartstid i markedet. Generelt er det små marginer når det gjelder både pris og lønnsomhet i markedet. Fordyrende tiltak for å bedre brann sikkerheten vil kunne stoppe veksten av solcelleanlegg og er ofte lite ønsket av leverandørene hvis de ikke vurderes som strengt nødvendige. Det brukes forskjellige retningslinjer ved montering og prosjektering av anleggene, der noen benytter tyske retningslinjer, og andre forholder seg til det regelverket vi har i Norge, uten å hente erfaringer fra utlandet. En løsning er når leverandører samarbeider med større tyske solcelleleverandører, og får paneler og systemer med garanti fra Tyskland, mot at deres retningslinjer og krav blir fulgt. Ulikhetene mellom de ulike aktørene gjør at det blir valgt mange forskjellige løsninger med forskjellig brann sikkerhet. Noen løsninger er gode, mens andre ikke er gode med tanke på oppførsel under brann og risiko ved redningsinnsats.

Leverandørene skiller seg også på at noen benytter elektrikere for montasje og installasjon av anlegget, mens andre benytter ufaglærte og får anlegget godkjent av en el-installasør ved ferdigstillelse. Det er blitt tatt initiativ i bransjen til opplæring av solcellemontører for å sikre god kvalitet i monteringen.

6 KONKLUSJON

- Solcelleanleggene vil ved riktig montasje ikke medføre en særlig fare for at brann oppstår, men vil kunne ha en innvirkning på byggets brannsikkerhet ved en brann i bygget.
- Batterier bør plasseres i egne batterirom med brannmotstand tilsvarende fyrrom. Størrelsen på batteriene vil være vesentlig for kravet til brannmotstand. Det bør også vurderes å benytte sluk i rommet da en slokking vil innebære store mengder vann.
- Solcellepaneler bør plasseres slik at brannvesenet har mulighet til å drive effektiv innsats på taket uten unødvendig risiko for kontakt med panelene. Dette innebærer å planlegge passasjer og oppdelinger av panelene. Behovet for tilrettelegging bør avklares med brannvesenet.
- Det bør ikke benyttes brennbar isolasjon i takkonstruksjonen under solcellepaneler. Det bør så langt det er mulig også benyttes et lite brennbart eller ubrennbart tekkingsmaterial som underlag for panelene.
- Orienteringsplanene i bygg med solcelleanlegg bør inneholde informasjon og plasseringer av viktige komponenter i solcelleanlegget slik at brannvesenet kan gjøre informerte avgjørelser i innsatsen.

VIDERE ARBEID

Et av områdene som er sett på gjennom oppgaven er bruk av litiumbatterier som energilagringssystem tilknyttet solcelleanlegg. Dette er en forholdsvis ny teknologi som også brukes i el-biler. Det finnes noe forskning på brann i slike batterier, også for batteripakker tenkt til bygninger, men det finnes lite forskning på hva det har å si for byggverket det står i med tanke på brannenergi, «thermal runaway», slokking av batteriene og gassutvikling.

Solcellepaneler har en innvirkning på takkonstruksjonen ved brann og vil kunne være med på spredning av brann i bygget. Denne innvirkningen bør undersøkes nærmere gjennom forsøk som vil kunne si noe om spredningen av brann og mulighetene for slokking.

Grunnet lite erfaring med solcelleanlegg vil utvikling av veiledninger for brannvesenets innsats være gunstig. Slike veiledninger er utviklet i mange andre land og inneholder informasjon om solcelleanlegget og fremgangsmåter for slokking og innsats.

Retningslinjer for tilrettelegging for brannvesenets innsats med tanke på solcelleanlegget vil være gunstig for prosjekteringen av anlegget. Slike retningslinjer bør inneholde merking av anlegget på orienteringsplaner og plassering av solcellepanelene på taket.

REFERANSER

- ARMIJO, K. M., JOHNSON, J., HARRISON, R. K., THOMAS, K. E., HIBBS, M. & FRESQUEZ, A. 2014. Quantifying photovoltaic fire danger reduction with arc-fault circuit interrupters. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*.
- ASTM 2012. Standard Guide for Fire Prevention for Photovoltaic Panels, Modules, and Systems.
- BACKSTROM R & D, D. 2011. Fire fighter safety and photovoltaic installations research project. Underwriters Laboratories, Inc.
- BEREDSKABSTYRELSEN 2012. Vejledning om indsats i bygninger med solcelleanlæg.
- BLUM, A. F. & LONG, R. T. 2016. Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems. NFPA.
- BROOKS, B. 2012. The ground-fault protection blind spot: Safety concern for larger PV systems in the US. *Solar American Board for Codes and Standards*.
- CIRCUITS, A. A. 2016. *Physiological effects of electricity* [Online]. Available: <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-3/physiological-effects-electricity/> [Accessed 05.05.16].
- COREN, J. M. 2016. *San Francisco will require new buildings to install solar panels* [Online]. qz.com: Quartz. Available: <http://qz.com/665574/san-francisco-will-require-new-buildings-to-install-solar-panels/> [Accessed 26.05 2016].
- FEUERWEHRVERBAND, D. „Einsatz an Photovoltaikanlagen—Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten“, 1. Auflage, Okt. 2010.
- FEUERWEHRVERBAND, D. 2010. Taschenkarte Handlungsempfehlungen Photovoltaikanlagen.
- FLICKER, J. & JOHNSON, J. 2013. Photovoltaic ground fault and blind spot electrical simulations. *Sandia National Laboratories*.
- GRANT, C. C. 2013. Fire Fighter Safety and Emergency Response for Solar Power Systems. Quincy, MA, USA: NFPA.
- HERMANSEN, A.-K. 26.05 2016. *RE: Brannsikkerhet solcelleanlegg*. Type to SMEPLASS, E.
- LAFD. u.d. *Solar Power uses and placement requirements* [Online]. ladf.org: Los Angeles Fire Department. [Accessed 26.05 2016].
- LAUKAMP, H., BOPP, G., GRAB, R., WITTEW, C., HÄBERLIN, H., PHILLIP, S., REIL, F., SCHMIDT, H., SEPANSKI, A. & THIEM, H. PV FIRE HAZARD-ANALYSIS AND ASSESSMENT OF FIRE INCIDENTS. Proceedings of 28 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 2013.
- LONG, R., BLUM, A., BRESS, T. & COTTS, B. July 2013. Emergency response to incidents involving electric vehicle battery hazards.
- LONG, R., SUTULA, J. & KAHN, M. 2013. Lithium-ion batteries hazard and use assessment Phase IIb. Fire Protection Research Foundation.
- LUDVIGSEN, O. 02.06 2016. *RE: Brannsikkerhet og solcelleanlegg*.
- MSB 2014. Råd för räddningstjänst i samband med insats i byggnader med elproducerande solceller.
- NEK 2001. Sikkerhetskrav for sekundære batterier og batteri-installasjoner- Del 2: Stasjonære batterier.
- NGBC. *BREEAM-NOR* [Online]. ngbc. Available: <http://ngbc.no/breeam-nor/> [Accessed 16.05 2016].
- NILSEN, J. Solcellepanel kan gi livsfarlige støt og hindre redningsarbeid. *Teknisk ukeblad*.
- NORDLØKKEN, P. G., SESSENG, C. & WORMDAHL, E. D. 2016. Energibesparende bygg og brannsikkerhet. SPFR.
- PHILIPPS, S. & WARMUTH, W. 2016. Photovoltaics report. Fraunhofer ISE.
- SDI, S. u.d. *Energy storage system application* [Online]. <http://www.samsungsdi.com/ess/energy-storage-system-application.html>. [Accessed 26.04 2016].
- SOLEL 2016. Installationsguide nätanslutna solcellsanläggningar.

- SOLENERGIFORENINGEN. *Statistikk* [Online]. Available: <http://solenergi.no/statistikk/> [Accessed 16.05 2016].
- STROBL, C. & MECKLER, P. 2010. Arc faults in photovoltaic systems. *2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*. IEEE Holm Conference on Electrical Contacts.
- SVENNINGSSON, A. 2015. Solcelleanläggningen - brandmännens mardröm. *Bilagan*, 2.
- SVENSSON, S. 2006. *Brandgasventilation*, Räddningsverket.
- TBRT 2011. Utførelse av branntegninger i TBRTs kommuner. tbrt.no.
- TBRT 2016. Retningslinjer for tilrettelegging for rednings- og slökkemannskap i TBRTs kommuner. tbrt.no.
- TEKNOLOGISK-INSTITUT 2012. Solceller - Baggrundsrapport for montage- og installasjonsveiledninger.
- TESLAMOTORS 2015. Lithium-Ion Battery Emergency Response Guide, Model S & X.
- TOMMASINI, R., PONS, E., PALAMARA, F., TURTURICI, C. & COLELLA, P. 2014. Risk of electrocution during fire suppression activities involving photovoltaic systems. *Fire Safety Journal*, 67, 35-41.
- TUV. 2016. *Effect of electric current on human body* [Online]. Available: https://www.tuv.com/media/usa/aboutus_1/pressreleases/fieldevaluation/Effects_of_Electrical_Current_in_Human_Body.pdf [Accessed 05.05.16].
- WFRGENT. 2016. *Fire test for roof: external fire exposure* [Online]. <http://www.wfrgent.com/en/reaction-to-fire/fire-tests-for-roofs-external-fire-exposure.html>: Warringtonfiregent. [Accessed 30.04.2016].
- WIKIPEDIA. 2016. *Polyvinyl fluoride* [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_fluoride: Wikipedia. [Accessed 07.04.16].
- WWF & ACCENTURE 2016. Solkraft i Norge - Fremtidige muligheter for verdiskapning.
- ZGONENA, T., JI, L. & DINI, D. Photovoltaic DC arc-fault circuit protection and UL Subject 1699B. Photovoltaic Module Reliability Workshop, Golden, CO, 2011.