



Høgskulen på Vestlandet

Master Thesis (ING5002)

ING5002-MOPPG-2021-VÅR-FLOWassign

Predefinert informasjon

Startdato:	30-03-2021 09:00	Termin:	2021 VÅR
Sluttdato:	01-06-2021 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Masteroppgave		
Flowkode:	203 ING5002 1 MOPPG 2021 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.:	103
---------------------	-----

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner
Antall ord *:	22802
Engelsk tittel *:	Applied methods regarding fire department operations on house fires with PV-installations

Sett hake dersom ja
besvarelsen kan brukes
som eksempel i
undervisning?:

Egenerklæring *: ja
Inneholder besvarelsen nei
konfidensielt
materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har ja
registrert
oppgavetittelen på
norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Jeg godkjenner avtalen om publisering av masteroppgaven min *

ja

Er masteroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er masteroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Nei



Høgskulen
på Vestlandet

MASTEROPPGAVE

Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner

Tobias Rød

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap, institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag, Master of Science i Brannsikkerhet

Veiledere: Reidar Skrunes og Stefan Andersson

1. juni 2021

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Forord

Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med et masterstudium i ingeniørfag i brann sikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet. Solcelleinstallasjoner var et tema som vekket interesse, da dette hadde en praktisk problemstilling i sammenheng med brannvesenets slokkeinnsats. Jeg jobber selv som brannkonstabel, noe som gjør at det å finne en praktisk løsning på en praktisk problemstilling virket interessant å bryne seg på.

Prosessen med å skrive en oppgave om solcelleinstallasjoner og brannslukking har vært svært lærerikt og interessant, spesielt fordi den elektrotekniske kompetansen har økt fra så og si å være fraværende, til å bli noenlunde. I tillegg føler jeg at problemstillingen både er aktuell og betydelig. Prosessen har innebåret å samle en elektroteknisk og en brannteknisk verden, i både et teoretisk og praktisk perspektiv, dette har vært utfordrende. Utfordringene rundt dette har ført til frustrasjon, men har også vært det største bidraget til motivasjon, da løsninger kan ha kommet frem av arbeidet som er gjort i denne studien.

Å skrive en stor avhandling alene er til tider svært utfordrende, og hjelp av personer rundt seg føles som helt nødvendig for å komme i mål med arbeidet. Dette er noe jeg er svært takknemlig for. Først og fremst vil jeg takke veilederne mine, Stefan Andersson og Reidar Skrunes, som har stilt opp med veiledning til oppgaven hele veien i prosessen. Jeg har opplevd stor hjelp av flere engasjerte fagfolk, her vil jeg spesielt trekke frem Ola Johansson fra Solcellespesialisten som med sine fagkunnskaper og engasjement har bidratt til å heve den faglige kvaliteten på oppgaven betraktelig. Du har hjulpet mye med forklaringer rundt både lovverk, normer, solcelleinstallasjoner og elektro, dette takker jeg for. Andre fagfolk som har hjulpet meg og vært interessert er Ove Frydenberg og Henrik Trømborg fra Drammensregionens brannvesen, Ketil Tiller fra Trøndelag brann- og redningstjeneste, Kjetil Solberg fra DSB, Fredrik Harila fra Norges brannskole, Ragni Mikalsen med kollegaer fra RISE Fire Research, Are Karlsen og Joachim Møller fra Wenaas Workwear og Marie Kolderup fra Nelfo. Takk for hjelpen jeg har fått.

Videre ønsker jeg å takke gode kollegaer i Halden brannvesen for faglige diskusjoner og hjelp med bildetaking. Takk til Lene Simensen Rød, Anne Lise Rød og Frida Eriksen for korrekturlesning og tolkning av studien uten faglig tilknytning. Takk til Brynjar Jacobsen for korrekturlesning og bistand til elektrotekniske spørsmål. Takk til Kristian Gunhildrud og Frode Rød for elektrofaglige diskusjoner og bistand til elektrotekniske spørsmål. Takk til Jostein Korsæth, Natalie Stordal og Thea Simensen for korrekturlesning på engelsk.


Sist, men på ingen måte minst, ønsker jeg å rette en takk til venner og familie som har vist sin støtte under skrivingen. Dere har bidratt til motivasjon i stor grad. Den som fortjener den største oppmerksomheten i denne forbindelsen er min samboer, Marlene, som gjentatte ganger har bidratt til hevet hode og senkede skuldre da det har vært strengt nødvendig. Uten deg ville dette arbeidet vært svært mye tyngre. Tusen takk.

Høgskulen på Vestlandet
Campus Haugesund
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND



Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner

Masteroppgave i Brannsikkerhet

Forfatter: Tobias Rød	Forfatter signatur: 
Oppgaven uttatt: Høst 2020	Gradering: Åpen oppgave
Veileder: Stefan Andersson	
Ekstern veileder: Reidar Skrunes (IF Skadeforsikring)	
Stikkord: Innsatsmetodikk Brannvesen Solcelle Solcelleinstallasjoner Elektrisitet Verneutstyr Livreddende innsats	Antall sider: 59 + Vedlegg: 15 Haugesund/Sarpsborg, 31. mai 2021

Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet. Studenten står selv ansvarlig for metodene som er anvendt, resultatene som er fremkommet og konklusjoner og vurderinger i arbeidet. Alle bilder og illustrasjoner som er benyttet, er godkjent benyttet av den som har opphavsrett eller fritt tilgjengelig for deling og bruk.

Sammendrag

De senere årene har fokuset på miljøet stadig blitt større. Dette har ført til at miljøvennlighet og bærekraft er et aktuelt tema. En strategi for å oppnå miljøvennlighet er å benytte fornybar energi, som innebærer å hente energi fra blant annet solenergi. En av måtene solenergi blir benyttet i dag, er ved bruk av solceller. Solceller omdanner energi fra solstråling og omdanner disse til elektrisk energi. Solcelleinstallasjoner øker i omfang hvert år på verdensbasis. Dette gjelder også i Norge.

Problematikken rundt solcelleinstallasjoner dreier seg om at de ikke kan gjøres spenningsløse av en bryter dersom de får tilført lys. Selv om solceller leverer den høyeste effekten når solen er på sitt sterkeste, kan de også generere farlig berøringsspenning dersom de blir utsatt for andre lyskilder som lyskastere eller lys fra flammer. Berøringsfaren ved elektriske anlegg som ikke er frakoblet er et kjent fenomen, og fører til utfordringer for brannvesenet når de skal gjøre sin innsats ved en bygningsbrann.

Det finnes per i dag ingen anbefalt arbeidsmetode for brannvesenet når det gjelder solcelleinstallasjoner. Det er gjort noe forskning på området, men det å holde avstand er informasjonen som er videreformidlet til brannvesenet. Å holde avstand til panelene ved en bygningsbrann kan føre til en kraftig deeffektivisering av brannvesenets innsats. Formålet med denne studien er å tilføre ny og oppdatert kunnskap til brannvesenet vedrørende innsatsmetodikk ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner, slik at slukke- og redningsarbeid kan utføres på en effektiv og sikker måte.

Studien benytter en kvalitativ forskningsmetode som hovedsakelig baserer seg på et teoretisk litteraturstudie. Det vil si en innsamling av lovverk, normer, teori, informasjon og annen nødvendig kunnskap rundt problematikken.

For å oppnå en effektiv innsats ved bygningsbrann, kan det være hensiktsmessig at brannvesenet gjør solcelleinstallasjoner spenningsløse selv. For at brannvesenet skal kunne gjøre dette må de ha rett vernebekledning, ha lov til det og ikke minst inneha nødvendig kompetanse. Derfor er det undersøkt lovverk og normer tilhørende brannvesen og elektriske arbeider, samt sammenlignet verneutstyret til brannvesenet med det som kreves dersom det skal utføres elektriske arbeider. Relevante lovverk og normer er presentert i studien.

Konklusjonen er at brannvesenet med høy sannsynlighet allerede benytter verneutstyr ved bygningsbrann som oppfyller kravene til elektriske arbeider, dersom de benytter 1000 V-hansker.

Det er analysert hvilken risiko solcelleinstallasjoner medfører for brannvesenet, med tanke på produksjon av spenning, strømstyrke og energi. Dersom det tas noen forhåndsregler, og brannvesenet faller inn under definisjonen «instruert personell», kan brannvesenet gjøre solcelleinstallasjoner spenningsløse selv dersom det er nødvendig ved bygningsbranner.

Denne studien munner ut i et forslag til en ny arbeidsmetode for brannvesen ved bygningsbrann der det forekommer solcelleinstallasjoner. For at arbeidsmetoden skal være lovlig, er det nødt til å oppklares om brannvesenet kan defineres som «instruert personell», og deretter sørge for at de oppfyller kravene som utløses av dette. At brannvesenet per dags dato ikke har en arbeidsmetode ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner må sees på som alvorlig, da dette kan lede til alvorlige konsekvenser. DSB oppfordres til å snarest gjøre oppklaringer vedrørende dette.

Summary

Over the past few years, the environment has become a bigger area of interest for many, and the focus on becoming eco-friendly has increased. One way to achieve an eco-friendly world is the use of renewable energy, among renewable energy sources is solar energy. Solar energy can be used to create electric energy with the help of, among other things, solar cells or PV-cells. The utilization of PV-cells are increasing rapidly, both worldwide and in Norway.

The main issue regarding PV-cells and fire safety, is that voltage produced by the PV-cells cannot be shut off. Even though PV-cells have the highest energy production during periods with intense sunlight, do they also produce dangerous voltage levels at night when exposed to other light sources. These light sources can for instance be searchlights or lights from flames. Coming in contact with cables with significant voltage may be dangerous. This leads to challenges for the fire department when conducting firefighting on a housefire where it is PV-installations.

To this day, there are no recommended procedure for fire departments in Norway on how to act at housefires where there are PV-installations. There has been done some research on the area, but the only recommendation is to keep distance to the PV-cells. To simply keep distance during a housefire could decrease the fire departments efficiency significantly. The purpose of this thesis is to add new and updated knowledge to the fire departments on this subject, making firefighting and rescuing more efficient and safe at such residents.

The thesis uses a qualitative research-method, based on a theoretical literature study, using a collection of rules, laws, regulations, guidance's, theory and other sources of information.

To achieve effective rescuing and firefighting, it could be advantageous if the fire department are able to kill the voltage in PV-panels themselves. To do so, they need appropriate and sufficient safety equipment, have authorization by the law in taking action and to have the necessary proficiency to do it. Therefore, laws and regulations on both firefighting and electrical work have been investigated, in addition to comparing fire departments safety equipment to what is required in electrical work. Relevant laws and regulations are presented in this thesis.

The conclusion is that the fire department most likely has sufficient safety equipment when it comes to combating housefires with PV-installations, compared to what is required for electrical work, provided that the fire department use 1000 V-gloves.

It has been conducted a risk assessment to shed light on the risks current, voltage and energy produced by PV-panels pose to the fire department. If only a few precautions are taken, and the firefighters are comprised by the definition "instructed personal", they can disconnect PV-installations themselves if necessary on a housefire.

The result of this thesis is a proposal to a new procedure for the fire department on housefires with PV-installations. For the working method to be legal, it has to be clarified if the fire department can be defined as "instructed personal". The fact that the fire departments in Norway do not have a recommended procedure on housefires with PV-installations must be addressed as soon as possible, since in a worst-case scenario, this lack in methodology could lead to great consequences.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	iv
Figurliste	viii
Definisjoner	ix
1 Innledning	1
1.1 Utbredelse av solcelleinstallasjoner	2
1.2 Formål med studien	3
1.3 Problemstilling	4
1.4 Avgrensing på rapport	4
1.5 Struktur på oppgaven	5
2 Forskningsmetode	6
2.1 Forskningstilnærming	6
2.2 Forskningsdesign	7
2.3 Forskningsstrategi	9
2.3.1 Teoretisk litteraturstudie	9
2.3.2 Høringsrunder	9
2.3.3 Intervjuer	10
2.4 Analyse av innsamlet forskning, litteratur, lovverk og normer	10
2.4.1 Analyse og tolkning av regelverk	10
2.5 Vurdering av gyldighet og pålitelighet	10
2.6 Svakheter ved metoden	11
3 Tidligere rapporter og veiledere	12
3.1 Energibesparende bygg og brannsikkerhet fra 2016	12
3.2 Solcelleteknologi og brannsikkerhet fra 2018	13
3.3 Energieffektive bygg og brannsikkerhet fra 2019	13
3.4 Veileder om solenergi til brann- og redningsvesen fra 2020	14
3.5 Utenlandske veiledere fra Sverige og Danmark	14
4 Brannvesen i Norge	15
4.1 Brann i bygning	16
4.2 Arbeid under brann i bygning	18
4.3 Hvilke krav stilles til brannvesenets vernetøy?	19

5	Elektrisitet	21
5.1	<i>Teori om elektrisitet</i>	21
5.2	<i>Likestrøm og vekselstrøm</i>	22
5.3	<i>Elektrisk krets</i>	22
5.4	<i>Sammenheng mellom elektrisk strøm, spenning, motstand, energi og effekt</i>	23
5.5	<i>Lysbuer</i>	23
5.6	<i>Berøringsfare</i>	24
6	Solenergi	25
6.1	<i>Solcelleanlegg</i>	25
6.1.1	<i>Solcellepanel</i>	26
6.1.2	<i>Vekselretter/inverter</i>	27
6.1.3	<i>DC-brytere og MC4 plugger</i>	27
6.2	<i>Hvor mye strøm, spenning og effekt?</i>	28
6.3	<i>Prosedyre for elektrisk arbeid med solcelleanlegg</i>	28
6.3.1	<i>Fare for lysbuer ved frakobling av DC-kabler</i>	29
6.3.2	<i>Risikomomenter ved arbeid med DC-kabler til solcelleanlegg</i>	30
6.4	<i>Brann i bygning med solceller</i>	31
6.4.1	<i>Innsats ved brann i bygning med solceller</i>	31
6.5	<i>Dagens innsatsmetodikk i forbindelse med brannslukking vedrørende solcelleinstallasjoner</i>	31
6.5.1	<i>Strømgjennomgang i forhold til bruk av vann som slökkemiddel</i>	32
6.6	<i>Hvilke lysbuer kan forventes ved et solcelleanlegg og hvor farlige er de?</i>	32
6.6.1	<i>Hva kreves av vernetøy for å beskytte seg mot lysbuer i solcelleanlegg</i>	33
7	Regelverk	34
7.1	<i>Lovverk</i>	34
7.1.1	<i>Lovverk som omfatter arbeider på elektrisk anlegg</i>	34
7.1.2	<i>Lovverk gjelder ved brann i bygning</i>	34
7.2	<i>Normer</i>	35
7.2.1	<i>Normer elektriske arbeider</i>	35
7.2.2	<i>Normer for innsatspersonell i brannvesenet</i>	35
7.3	<i>Funn i regelverk</i>	36
7.3.1	<i>Funn i El-tilsynsloven [54]</i>	36
7.3.1.1	<i>Funn i FEK [57]</i>	37
7.3.1.1.1	<i>Elsikkerhet nr. 73 [61]</i>	37
7.3.1.1.2	<i>Elsikkerhet nr. 84 [62]</i>	38
7.3.1.2	<i>Funn i FEL [56]</i>	38
7.3.1.2.1	<i>Funn i NEK 400 – Elektriske lavspenningsinstallasjoner [60]</i>	38
7.3.1.3	<i>Funn i FSE [55]</i>	39
7.3.1.3.1	<i>Funn i NEK 50110 – Sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg [48]</i>	40
7.3.1.3.2	<i>Funn i NEK 61482 – Vernebekledning mot termiske farer ved lysbuer [59]</i>	41
7.3.1.3.3	<i>Funn i IEEE 1584 – Guide for performing arc-flash hazard calculations [8]</i>	41
7.3.2	<i>Funn i Brann- og eksplosjonsvernloven [15]</i>	42
7.3.2.1	<i>Funn i Forskrift om organisering av brannvesen [14]</i>	42
7.3.2.1.1	<i>Funn i Røykdykkerveiledningen [21]</i>	42
7.3.2.1.2	<i>Funn i NS 20471 – Svært synlig vernetøy [64]</i>	42
7.3.2.1.3	<i>Funn i NS 659 – Vernehansker for brannvesen [65]</i>	43
7.3.2.1.4	<i>Funn i NS 20344 og NS 20345 – Personlig verneutstyr, fottøy [66] [67]</i>	43
7.3.2.1.5	<i>Funn i NS 469 – Vernetøy for brannmannskap [63]</i>	43
7.3.3	<i>Funn i Arbeidsmiljøloven [53]</i>	44
7.4	<i>Svar fra høringsrunder</i>	44

8	Diskusjon	45
8.1	<i>Er livreddende innsats trygt ved solcelleanlegg?</i>	46
8.2	<i>Verneutstyr til brannmann i forhold til elsikkerhet</i>	47
8.3	<i>Kan innsatspersonell i brannvesenet lovlig gjøre et solcelleanlegg spenningsløst under en bygningsbrann?</i>	48
8.4	<i>Fare for støt og strømgjennomgang ved å nappe ut eller klippe kablene i et solcelleanlegg</i>	50
8.5	<i>Ny alternativ arbeidsmetode for brannvesenet vedrørende rednings- og slokkeinnsats der det forekommer solcelleanlegg</i>	51
9	Konklusjon	52
10	Forslag til videre arbeid og anbefalinger	53
10.1	<i>Ny alternativ arbeidsmetode for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner</i>	53
10.2	<i>Brannspredning i hulrom bak solcellepanel</i>	53
10.3	<i>Videre informasjonsflyt til brannvesen om ny teknologi som utfordrer deres innsatsarbeid</i>	54
11	Bibliografi	55
12	Vedlegg	59

Figurliste

Figur 1 NVE.no: Solkraftstatistikk de siste årene	2
Figur 2 Skjematisk fremstilling av vaktberedskapen til brannvesen	15
Figur 3 Skisse av fasene i en brannutvikling.....	17
Figur 4 SINTEF [20]: Skisse av brann i hulrom innenfor ytterkledning	17
Figur 5 Flytskjema over brannvesenets innsatsmetodikk.....	18
Figur 6 Grunnutrustning utrykningstøy.....	20
Figur 7 Grunnutrustning røykdykkerbekledning med åndedrettsvern klart til bruk	20
Figur 8 Full røykdykkerbekledning med fullstendig åndedrettsvern	20
Figur 9 Grunnutrustning røykdykkerbekledning med 1000 V-hansker og hjelmvisir.....	20
Figur 10 Grunnutrustning røykdykkerbekledning med 1000 V-hansker og brannhansker.....	20
Figur 11 Full røykdykkerbekledning med fullstendig åndedrettsvern og 1000 V-hansker	20
Figur 12 Bilde av en PC-lader med likeretter.....	22
Figur 13 Shutterstock.com: Bilde av lysbue i form av lyn.....	23
Figur 14 Shutterstock.com: Bilde av lysbue i form av elektrisk lighter	23
Figur 15 RISE [9]: Forenklet skisse av solcelleanlegg	25
Figur 16 Shutterstock.com: Skisse av et solcellepanel.....	26
Figur 17 Shutterstock.com: Bilde av hvordan en vekselretter kan se ut	27
Figur 18 Pixabay.com: Nødbryter	27
Figur 19 Pixabay.com: MC4-plugg.....	27
Figur 20 AC Solar Warehouse: Lysbue bildeserie, sammenkoblede kabler	30
Figur 21 AC Solar Warehouse: Lysbue bildeserie, lysbue oppstår.....	30
Figur 22 AC Solar Warehouse: Lysbue bildeserie, kabler fra hverandre og lysbue opphører.	30
Figur 23 Jakke fra Wenaas med ATPV-verdi 49 cal/cm ²	33
Figur 24 Hansker fra Wenaas med ATPV-verdi 71 cal/cm ²	33
Figur 25 Ulltrøye fra Wenaas med ATPV-verdi 6 cal/cm ²	33
Figur 26 DSB: Skisse av hierarkiet til lovverket i Norge.....	34
Figur 27 NEK 400 [47]: Merking på bygning hvor det er installert en solcelleinstallasjon	38
Figur 28 NEK 400 [47]: Merking på DC-siden i et solcelleanlegg.....	38

Definisjoner

Begrep	Definisjon
Regelverk	Samlebetegnelse for både lovverk og normer
Lovverk	Juridisk bindende offentlige dokumenter
Normer	Offentlige dokument som ikke er juridisk bindende, men som gir forslag til oppfyllelse av krav i juridisk bindende dokumenter
Lov	Høyest rangerte dokumentet i lovverket
Forskrift	En mer detaljert beskrivelse av en lov, som er juridisk bindende
Veiledning	Norm som er en detaljert beskrivelse av forskriften
Standard	Norm som er en detaljert teknisk spesifisering
Solenergiklyngen	Organisasjon av aktører i solenerginæringen
Nelfo	Organisasjon som blant annet bidrar til at sikkerheten ivaretas i forbindelse med elektrotekniske løsninger
Beredskapsstyrelsen	Myndighetsorganet til brannvesenet i Danmark
Elektrisk leder	Materiale som leder strøm
Fluid	Samlebetegnelse på gasser og væsker
Eksitere	Tilføring av energi til elektroner, slik at de blir slått løs fra atomer
Solcelleanlegg	En komplett installasjon av et strømforsyningsanlegg av solceller
Solcellemodul	Én enkel «plate» av solceller som er frittstående, og koblet til andre solcellemoduler ved hjelp av kabler
Solcellepanel	Synonym til solcellemodul
Solcellestreng	Flere solcellemoduler koblet i serie
Solcellematrise	Flere solcellestrenger koblet i parallell

Forkortelse	Fulltekst	Forklaring
AUS	Arbeid under spenning	Elektrisk arbeid på spenningsførende anlegg
RISE	Research Institutes of Sweden	Norges branntekniske kompetansesenter eid av svenske RISE og norske SINTEF
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap	Myndighetsorganet til brannvesenet i Norge
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap	Myndighetsorganet til brannvesenet i Sverige
NEK	Norsk Elektroteknisk Komite	Komite som forsyner det norske markedet med nasjonale, europeiske og internasjonale standarder
FEK	Forskrift om elektroforetak	Forskrift som regulerer virksomheter som driver med elektriske arbeider
FEL	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg	Forskrift som regulerer elektriske lavspenningsanlegg
FSE	Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg	Forskrift som regulerer arbeider som blir gjort ved eller i elektriske anlegg
AC	Direct Current	Likestrøm
DC	Alternating Current	Vekselstrøm
ATPV	Arc Thermal Performance Value	Beskriver beskyttelsesgrad mot lysbuer

Symbol	Navn på måleenhet	Bruksområde
A	Ampere	Måleenheten for elektrisk strømstyrke
V	Volt	Måleenheten for elektrisk spenning
Ω	Ohm	Måleenheten for elektrisk motstand/resistanse
J	Joule	Måleenheten for energi
Cal	Kalori	Annen måleenhet for energi tilsvarende 4,2 J
W	Watt	Måleenheten for effekt, tilsvarer energi per tid (J/s)
MWp	Megawatt peak	En måleenhet som beskriver hvor mye effekt et solcelleanlegg leverer under standard testforhold

1 Innledning

Utvikling av ny teknologi er noe som stadig foregår, dette skjer også i bygningsmarkedet. De senere årene er det blitt satt større fokus på miljøvennlighet og bærekraft, som har ført til et større fokus på fornybar energi, gjennom å hente energi fra for eksempel vann, vind og sol, som ikke gir negative utslipp.

Solcellepanel benyttes til å omdanne solstråling til elektrisk energi. På den måten utnyttes solenergi til å få strøm i stikkontaktene. Utviklingen rundt å innhente energi på miljøvennlige måter er et steg i riktig retning mot et mer bærekraftig samfunn. Samtidig som utvikling av ny teknologi fører til forbedrede metoder på enkelte områder, må det utredes hvilke konsekvenser det får for andre aspekt. Eksempelvis innen brann sikkerhet.

Utvinnning av ny teknologi har en tendens til å ligge i forkant av risikovurderinger i forhold til sikkerhet, og kan i ytterste konsekvens føre til alvorlige ulykker. Dette er fordi risikovurderingene kommer som en naturlig følge av erfaring. Det er viktig å etterstrebe at det utledes risikovurderinger for all ny teknologi før alvorlige konsekvenser inntreffer.

Solcelleinstallasjoner er en elektrisk installasjon, og vi har allerede mange ulike elektriske installasjoner i bygningene våre. Antennelse i elektriske installasjoner er ikke et nytt fenomen. Det som gjør at solcelleinstallasjoner skiller seg ut med tanke på brann sikkerhet, er at det ikke er mulig å få kuttet den elektriske spenningen ved en bryter dersom brannvesen skal gjøre slokningsarbeider. Solcelleanleggets oppgave er å generere elektrisk energi ved å omdanne energi fra stråling. Selv om solstråling er den beste energikilden for solceller, genererer solceller også elektrisk energi fra lys som kommer fra lyskastere eller flammer.

Dette fører til en problemstilling i forhold til slokningsarbeid, da solceller kan generere farlig berøringsspenning selv etter solnedgang. Slokningsarbeid innebærer blant annet rivning av kledning, hulltaking og berøring, noe som fører til en potensiell fare for støt for innsatspersonell i brannvesenet. Det er av den grunn behov for å gjøre rede for alternative måter som kan benyttes til å gjøre solcelleanlegg spenningsløse.

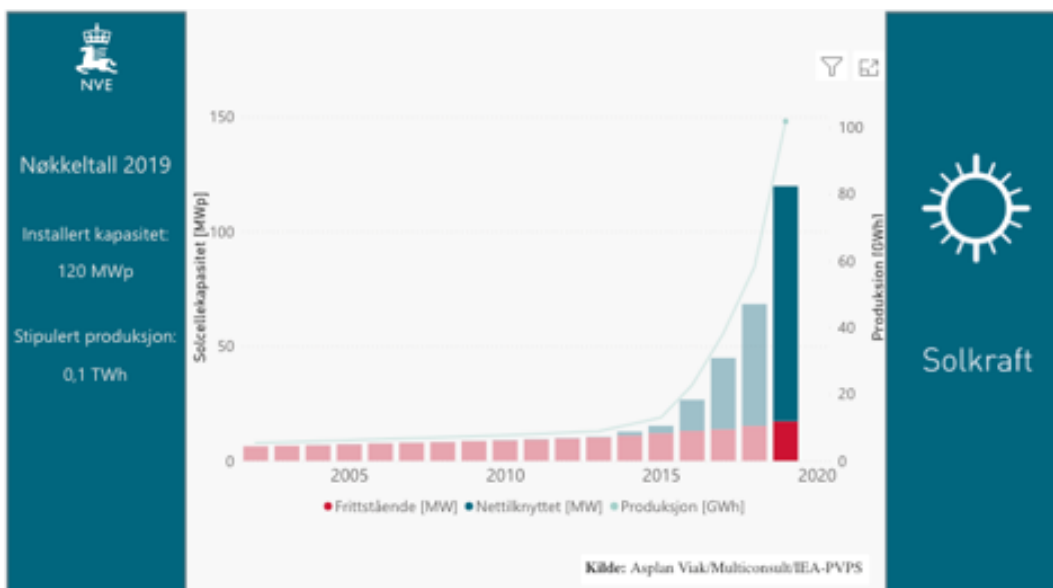
Hvis brannvesenet kunne gjøre solcelleanlegget spenningsløst ved bygningsbranner, kunne de deretter fulgt normale arbeidsprosedyrer. Det vil være til fordel for både liv, helse, miljø og samfunnsøkonomien.

Formålet med studien er derfor å tilføre ny og oppdatert kunnskap om brannslukking og solcelleanlegg slik at brannslukking kan utføres på en sikker og effektiv måte der det er solcelleinstallasjoner. På bakgrunn av arbeidet som utføres i studien skal det også bli gitt forslag til ny arbeidsmetode for brannvesenet ved bygningsbrann der det forekommer solcelleinstallasjoner.

1.1 Utbredelse av solcelleinstallasjoner

Vannkraft har de senere år stått for store deler av energiproduksjonen i Norge. Trenden har vært noe nedadgående, men sto fremdeles for mer enn 93% av all produksjon i 2019 [1]. I motsetning til vannkraft har satsingen på solkraft ikke vært stor i Norge til nå. Dette kommer av at forholdene for utnyttelse av vannkraft er større enn sol, da solforholdene i Norge er dårlige sammenlignet med mange andre land. Mange mener likevel det vil være en stor del av fremtiden [2].

Otovo er en av Norges ledende leverandører av solcelleanlegg til privatmarkedet, og daglig leder Andreas Thorsheim forteller at det norske privatmarkedet vedrørende solceller nesten har tredoblet seg hvert år siden 2014 [2]. NVE opplyser også på sine hjemmesider at det totalt var installert rundt 120 megawatt peak (MWp) ved utgangen av 2019, hvorav 51 MWp ble installert i 2019 [3]. Figur 1 viser hvor mange MWp som har blitt installert de senere årene, og hvor mye det er totalt. Dette tyder på at solceller blir en økende trend også i årene som kommer. Det vil medføre at sannsynligheten for at brannvesenet får en bygningsbrann hvor det er installert solcelleanlegg, vil fortsette å øke i årene som kommer.



Figur 1 NVE.no: Solkraftstatistikk de siste årene

1.2 Formål med studien

Formålet med denne studien er å tilføre ny og oppdatert kunnskap om brannsløkking og solcelleanlegg, slik at dette kan utføres på en sikker og effektiv måte der disse forekommer. Det er gjort en del forskning de senere årene rundt brannsikkerhet og solceller, men fokuset på hvordan brannvesenet kan utføre effektive og sikre rednings- og slokkearbeider er noe mangelfull.

Det er kartlagt noe om hvordan brannvesenet skal begrense sitt arbeid, slik at det ikke er fare for at de blir utsatt for strømgjennomgang. Disse anbefalingene kan redusere effektiviteten rundt sloknings- og redningsarbeider for brannvesenet. Dette gir ikke direkte løsninger på problemet, der det vil være nødvendig for brannvesenet å foreta hulltaking i konstruksjoner for å lokalisere og bekjempe brann.

Problemet er i hovedsak at det kan være farlig elektrisk spenning i et solcelleanlegg selv om strømtilførsel til bygget fra hovedstrømnettet er brutt. Anbefalingene om å holde avstand med strålerøret, løser derfor ikke problemet. Det vil være mulig å få spylt vann, men det vil ikke være mulig å få ikke lagd hull i konstruksjoner. Det er også usikkert hvorvidt brannvesenet kan gå inn med røykdykkere for å gjøre livreddende innsats. Denne problematikken må anses som alvorlig, ettersom det i ytterste konsekvens kan føre til skade på miljøet og tap av store materielle verdier. Dersom det var en måte for brannvesenet å gjøre anlegget spenningsløst på egenhånd, ville problemet vært løst. Da kunne brannvesenet jobbet som de gjør ved andre bygningsbranner. Derfor har denne studien som formål å kartlegge om det er gjennomførbart at brannvesenet har som rutine å gjøre solcelleanlegg spenningsløse, for å deretter utføre slokke- og redningsinnsats som normalt. Eventuelt hvilke arbeider som brannvesenet kan gjøre trygt etter at visse tiltak er gjort ved solcelleanlegget.

Prosessen med å få omforent klarhet i hva som skal gjelde av lovverk og normer for brannvesenets arbeidsmetoder i bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner, kan være langvarig. Av den grunn kan det gå utover tidsaspektet til denne studien. Studien tar derfor sikte på i det minste å bidra til et ryddig og strukturert fundament for videre diskusjoner og avklaringer i forhold til en mer hensiktsmessig, sikker og effektiv innsats ved bygningsbranner der solcelleanlegg forekommer. I tillegg er formålet å redegjøre som blir gjort i denne studien skal bidra til en skissering av et nytt forslag til en praktisk veileder, som er ment for brannvesenet ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner.

1.3 Problemstilling

Med bakgrunn i temaer som er beskrevet i kapittel 1.2, har følgende problemstilling blitt formulert.

Hvordan kan brannvesen jobbe med rednings- og sløkkearbeid ved bygninger med solcelleinstallasjoner på en måte som gir akseptabelt risikonivå i forhold til elsikkerhet?

Med bakgrunn av den økende installasjon av solcelleanlegg i Norge, har det dukket opp flere hypoteser vedrørende sløkningsarbeid der det er solcelleinstallasjoner. Disse er knyttet til problemstillingen og vil bli videre diskutert:

1. Er brannvesenets verneutstyr like godt eller bedre enn pålagt verneutstyr ved AUS?
2. Har brannvesenet lov til å gjøre solcelleinstallasjoner spenningsløse? Hvis ikke, hvilke tiltak må til for at brannvesenet kan gjøre dette lovlig?
3. Er det sikkert for brannvesenet å utføre livreddende innsats der det forekommer solcelleinstallasjoner?
4. Hvordan kan sikker og effektiv sløkkeinnsats for brannvesenet utføres der det forekommer solcelleinstallasjoner, og er det behov for at brannvesenet får en ny arbeidsprosedyre i disse tilfellene?

1.4 Avgrensing på rapport

Denne studien er rettet mot solcelleanlegg og sløkkeinnsats. I tillegg til tiltak som kan gjøres ved et solcelleanlegg, og hva som er ansett som sikkert arbeid etter at disse tiltakene er utført. Det blir også sett på verneutstyret til brannvesenet i forhold til AUS, samt hvilke sertifiseringer som er nødvendig for at brannmannskapet skal kunne gjøre et solcelleanlegg spenningsløst. Rapporten baserer seg på innsatsmetodikken til brannvesen i Norge.

Det vil ikke bli fokusert på krav til elektrotekniske løsninger eller andre branntekniske aspekt vedrørende solcelleteknologi og brann. Antennelse i selve anlegget ved for dårlig integritet på den elektriske sikkerheten, regelverk rundt prosjektering og installering av solcelleanlegg er eksempler på temaer som faller utenfor rapportens omfang. Dette gjelder også branndynamikk og brannspredning i forbindelse med solceller.

Det skal likevel nevnes at brannspredning via hulrom er en kjent problematikk. Dersom solceller benyttes som fasadekledning med hulrom bak, vil det skje en «skjult» brannspredning i disse hulrommene. For at brannvesenet skal lokalisere og bekjempe disse brannene, er hulltaking i konstruksjon helt essensielt. Det er derfor av største betydning at det blir funnet en løsning på problematikken rundt sløkking av branner bak disse hulrommene.

1.5 Struktur på oppgaven

Sett i sammenheng med den mest normale disposisjonen til vitenskapelige rapporter, skiller strukturen på denne oppgaven seg ut. Det er valgt å ha forskningsmetodekapitlet straks etter innledningskapitlet. Bakgrunnen for dette, er å gjøre rapporten lettleselig og oversiktlig i størst mulig grad. Ettersom forskningsmetoden hovedsakelig er en teoretisk litteraturstudie og formålet med oppgaven er å samle informasjon vedørende problemstillingen, er all informasjon sett på som funn og resultat av studien.

Videre vil samlet informasjon om hvert enkelt tema bli presentert i rekkefølge. Argumentet er at dette vil gjøre oppgaven oversiktlig i større grad enn ved tradisjonell struktur.

2 Forskningsmetode

Dette kapitlet vil beskrive hva slags forskningsmetode som er benyttet i denne studien. Dette inkluderer forskningstilnærming, forskningsdesign, forskningsparadigmer, forskningsperspektiv og forskningsstrategi. Det vil også bli beskrevet forskningsmetodens svakheter, gyldighet og pålitelighet, samt en beskrivelse av analyser gjort av innsamlet data og litteratur. Forskningsmetodekapitlet er basert på metodebeskrivelser gitt i [4], [5] og [6].

2.1 Forskningstilnærming

Forskningsmetoden i denne studien er valgt basert på eksisterende forskning, lovverk og normer. Det viste seg tidlig under utarbeidelsen av problemstillingen at det er behov for ny og oppdatert kunnskap til brannvesenet om hvordan de skal forholde seg til solcelleinstallasjoner i forbindelse med brann i bygning.

Innledningsvis var det behov for å gjøre rede for hva som var gjort av tidligere forskning på temaet. Det er skrevet enkelte rapporter vedrørende solcelleanlegg og brannsløkking, men de gir ikke noen forslag til arbeidsmetode brannvesenet kan benytte ved bygningsbrann, annet enn å holde avstand til solcellepanelene. For å undersøke hva slags arbeidsmetode brannvesenet kan benytte seg av i en innsats, er det nødt til å undersøkes hvilke lovverk og normer som gjelder for brannvesenet i en innsats og hva som gjelder for elektriske arbeider, samt hva som er gjort av eksisterende forskning.

Ettersom det ikke finnes en klar anbefaling til hvilken arbeidsmetode brannvesenet kan benytte seg av i forbindelse med bygningsbrann og solcelleinstallasjoner, er det valgt en kvalitativ forskningstilnærming. Det er behov for å samle lovverk, normer, teori, informasjon og kunnskap om problematikken. Forskningsstrategien er derfor et teoretisk litteraturstudie for å finne relevant informasjon, og redegjøre for hva som kan være en hensiktsmessig arbeidsmetode for brannvesenet i forbindelse med bygningsbranner og solcelleanlegg.

2.2 Forskningsdesign

Hensikten med denne studien er å finne løsninger på det praktiske innsatsarbeidet til brannvesenet der det forekommer solcelleanlegg. Slik utviklingen er mot et mer miljøvennlig samfunn, vil det komme flere solcelleanlegg i årene som kommer for å bedre energieffektiviteten til forskjellige typer bygg. Det fører til at brannvesenet vil møte på en brann i et bygg i fremtiden der solcelleanlegg forekommer.

Hovedproblematikken rundt rednings- og slukkeinnsats der det finnes solcelleanlegg, er faren for støt. Et solcelleanlegg kan produsere farlig elektrisk spenning selv etter at bygningen er frakoblet hovedstrømnettet. Av den grunn er det viktig at innsatspersonellet i brannvesenet blir gitt nødvendig kompetanse til å håndtere dette. Problemstillingen er formulert på følgende måte:

Hvordan kan brannvesen jobbe med rednings- og slukkearbeid ved bygninger med solcelleinstallasjoner på en måte som gir akseptabelt risikonivå i forhold til elsikkerhet?

Det er stilt tilhørende forskningsspørsmål til problemstillingen for å besvare den. En naturlig del av forskningen i denne studien blir å undersøke om hvilke arbeider brannvesenet har behov for å kunne utføre på solcelleanlegget for å utføre sin innsats. For å undersøke om dette er sikkert, er det viktig å undersøke hva slags vernebekledning som kreves ved elektriske arbeider, og deretter sammenligne dette med brannvesenets verneutstyr. Derfor er forskningsspørsmål nummer 1 følgende:

1. *Er brannvesenets verneutstyr like godt eller bedre enn pålagt verneutstyr ved AUS?*

Det skal undersøkes om vernetøyet til brannvesenet allerede er godt nok som vern i forbindelse med AUS. Derfor krever det et litteraturstudie som undersøker alle krav til denne typen verneutstyr, for så å undersøke om verneutstyret til brannvesenet allerede innehar de egenskapene som skal til for å ha godkjent vern mot AUS. Videre skal det undersøkes hva regelverket krever ved AUS-arbeider. Derav forskningsspørsmål nummer 2:

2. *Har brannvesenet lov til å gjøre solcelleinstallasjoner spenningsløse? Hvis ikke, hvilke tiltak må til for at brannvesenet kan gjøre dette lovlig?*

Hvis brannvesenet ikke har lov til å utføre arbeider som kreves for at brannvesenet kan utføre en effektiv og sikker slukke- og redningsinnsats der det forekommer solcelleinstallasjoner, skal det undersøkes hva som må til for at innsatspersonell kan utføre slike arbeider. I neste fase er det viktig å kartlegge hvilke ulike typer arbeider brannvesenet utfører og hva det innebærer. På den måten kan det gjøres rede for hvilke typer arbeider brannvesenet kan gjøre trygt, dersom det forekommer solcelleinstallasjoner ved bygningsbranner. Det fører til forskningsspørsmål nummer 3:

3. *Er det sikkert for brannvesenet å utføre livreddende innsats der det forekommer solcelleinstallasjoner?*

Det utgjør en vesentlig forskjell hvorvidt brannvesenet utfører sin innsats for å redde liv og helse eller miljø og materielle verdier. Et liv har vesentlig høyere verdi

Ved å besvare forskningsspørsmål nummer 3, kan brannvesenet vite om solcelleinstallasjoner påvirker beslutningen om det er trygt å utføre livreddende innsats eller ikke. Hvis det ikke er trygt å gjennomføre livreddende innsats, er det nødt til å undersøkes om det kan gjøres tiltak for å sikre god HMS for innsatspersonellet. Dersom det er bekreftet at det ikke finnes flere liv å redde i bygget, enten ved hjelp av røykdykkersøk, intervju av beboere eller annet, går strategien fra å være livreddende til slukkende eller begrensende.

Da går innsatsen over i en fase der det er fokus på å slukke brann. Her kan solceller by på en del utfordringer, hvis brannvesenet er nødt til å gjøre hulltaking i konstruksjonene for å lokalisere og bekjempe brannen. Det er viktig at det ikke går strømførende kabler der brannvesenet skal foreta hulltaking, fordi dette gir fare for støt. Med dette presenteres neste forskningsspørsmål:

4. *Hvordan kan sikker og effektiv slukkeinnsats for brannvesenet utføres der det forekommer solcelleinstallasjoner, og er det behov for at brannvesenet får en ny arbeidsprosedyre i disse tilfellene?*

Dette forskningsspørsmålet besvares i all hovedsak ved å undersøke hvordan brannvesenet kan gjøre solcelleanlegget spenningsløst selv, med andre ord å frakoble anlegget. Det er nødvendig å undersøke hvilken vernebekledning og kompetanse brannvesenet er nødt til å inneha for å utføre dette arbeidet trygt.

Her vil det muligens oppdages at arbeidsprosedyrer for brannvesenet der det forekommer solcelleinstallasjoner er mangelfulle. Derfor vil det også undersøkes om det er behov for å skissere et forslag til brannvesenet på hvordan en ny arbeidsprosedyre kan se ut.

2.3 Forskningsstrategi

Gjeldende lovverk og normer rundt dette temaet, er meget omfattende, og det vil være utfordrende å redegjøre presist for hva som er relevant og ikke for studien. Det kreves i tillegg en del tolkning av regelverket. Dette kan også være utfordrende, og vanskelig å gi noe eksakt redegjørelse for. Det er i tillegg hentet inn informasjon om fysiske fenomener angående strøm og brann, samt om organisasjonen til brannvesenet.

Det er innsamling av lovverk, normer, teori, informasjon og kunnskap om problematikken som er valgt til hovedforskningsstrategi for å belyse og besvare problemstillingen. Det er likevel supplert med høringsrunder for å verifisere at gjeldende lovverk og normer i de forskjellige fagområdene er funnet. Det er også gjort intervju av en sakkyndig for hjelp til beregninger av det fysiske fenomenet lysbuer.

2.3.1 Teoretisk litteraturstudie

Innledningsvis i en studie er det behov for å innhente litteratur. Etter søk og samtaler med fagkyndige personer i bransjen er det sannsynligvis funnet det som er gjort av forskning innen brann og solcelleinstallasjoner. Det ble kartlagt at brannvesenet mangler informasjon om temaet og trengte påfyll av kompetanse. En praktisk veileder til brannvesen er blitt skrevet [7], men forteller i store trekk at brannvesenet skal holde sikkerhetsavstand ved spyling av slukkevann.

Utvikling av ny arbeidsmetode for brannvesenet innebærer å kartlegge hvilken informasjon som mangler. Etter samtaler med forskjellige personer i de forskjellige fagområdene, var det behov for å samle relevante lovverk og normer, samt gjøre rede for faremomentene ved et solcelleanlegg sammenlignet med andre elektriske anlegg.

Videre er det blitt gjort et dykk i disse lovverkene, for å undersøke hva som er relevant for problemstillingen i studien. Primært er det undersøkt hvilke lover og normer som gjelder for elektriske arbeider, og stilt det opp mot regelverk som gjelder for brannvesenet. Relevante lover og normer har videre blitt analysert for å gjøre rede for hva som gjelder. Deretter er det diskutert hvordan lover og normer for de to forskjellige fagområdene samsvarer og hvor det spriker.

Det blir diskutert hvorvidt brannvesenet har mulighet for å benytte seg av metoder for å jobbe sikkert og effektivt ved bygningsbrann der det forekommer solcelleinstallasjoner. Ett av de viktige punktene som er undersøkt, er hvorvidt vernetøyet og kompetansen til brannvesenet er godt nok i forhold til det som kreves ved elektriske arbeider. I tillegg er det funnet informasjon i lovverk og normer for hva brannvesenet har lov til å gjøre av elektriske arbeider.

2.3.2 Høringsrunder

Alt som er funnet av relevante lovverk og normer er sendt på høringsrunder, dette for å avdekke eventuelle mangler av funn. DSB er instansen som gjør rede for regelverk om både elsikkerhet og brann i Norge. Av den grunn er dette en naturlig instans å forhøre seg om relevant regelverk er funnet i denne studien. Norges Brannskole er med i høringsrunder vedrørende regelverk om brannvesen. Det er også tatt med andre sakkyndige på høringsrunder. Dette er Nelfo og en NEK-komite som utvikler normer for solcelleanlegg.

2.3.3 Intervjuer

Lysbuer er et komplekst fysisk fenomen. Det var behov for å gjøre rede for risikomomenter rundt lysbuer, da dette er en hoveddel av faren ved elektriske anlegg. Av den grunn ble REN AS involvert i et intervju. REN AS er et kunnskapssenter som utvikler retningslinjer for å ivareta sikkerhet innen prosjektering, montering, drift og vedlikehold av det elektriske nettet. I intervjuet ble det gitt forklaringer rundt lysbuer, og gjort rede for hvor farlige de forskjellige lysbuene er. Det er standarden [8] som gjelder i Norge for hvordan styrken på en lysbue skal beregnes. Det er disse beregningene som gir føringer til verneutstyr ved elektrisk arbeid der lysbuer kan forekomme. I intervjuet ble lysbuer som kan forekomme ved solcelleinstallasjoner beregnet etter gjeldende standard.

2.4 Analyse av innsamlet forskning, litteratur, lovverk og normer

For å skille relevante og mindre relevante normer og lover i forbindelse med problemstillingen, må det kontinuerlig analyseres forskning, lovverk og normer. Det er mottatt hjelp av sakkyndige til dette.

2.4.1 Analyse og tolkning av regelverk

Etter at det ble funnet relevant regelverk, ble flere fagkyndige invitert på høringsrunder. Her ble de spurt om det fantes flere lover og normer som måtte undersøkes på høringsrunde. Videre ble lovverk og normer analysert for å skille ut hva som var relevant for problemstillingen. Lovverk og normer vedrørende elektriske arbeider og brannvesenets innsats er i kapittel 8 benyttet til drøfting og tolkning rundt problemstillingen.

2.5 Vurdering av gyldighet og pålitelighet

Hensikten med denne studien er å finne ut hvordan brannvesenet skal forholde seg til sin innsats ved bygningsbrann, der det forekommer solcelleinstallasjoner. For at brannvesenet skal heve sin kompetanse ytterligere rundt temaet, er det behov for å samle lovverk, normer, teori, informasjon og kunnskap om problematikken.

Gjeldende lover og normer står sentralt når det skal gjøres rede for hva brannvesenet har lov til å gjøre av elektriske arbeider, samt hva som kreves av verneutstyr ved elektriske arbeider sammenlignet med brannvesenets verneutstyr under bygningsbrann. Vurdering av påliteligheten av innsamlet relevant regelverk vurderes til relativt stor, da de involverte partene på høringsrundene er fagkyndige og myndighetene som gir føringer til fagområdene. Gyldigheten til dokumentene benyttet til forskning i denne studien er sikker, da dette er anerkjente normer og vedtatte lover som er gjeldende. Derfor vurderes gyldigheten på samme måte som påliteligheten til stor.

2.6 Svakheter ved metoden

Ettersom lover og normer rundt elektriske arbeider og for brannvesenets arbeider i innsats er nokså omfattende, er det krevende å få en totaloversikt over relevant, gjeldende regelverk. Det er også årsaken til at fagkyndige er blitt benyttet til høringsrunder underveis i prosessen. Svakheter med metoden er derfor at det er vanskelig å kunne si med sikkerhet at alt relevant regelverk er gjort rede for. I tillegg kan det være vanskelig ved enkelte tilfeller å tolke lover og normer. Det er også en faktor som gjør at relevant regelverk kan glippe unna.

Proessen med å få omforent klarhet i hva som skal gjelde av lovverk og normer for brannvesenets arbeidsmetoder i bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner kan være langvarig. Av den grunn kan det gå utover tidsaspektet til denne studien.

3 Tidligere rapporter og veiledere

Solcelleanlegg og brann har vært et tema de senere årene, noe som har ført til en del forskning og utredning. Den mest oppdaterte problematikken er gjort rede for av RISE i dokumentet «Solcelleteknologi og brannsikkerhet» fra 2018 [9] og «Energieffektive bygg og brannsikkerhet» fra 2019 [10].

Begge disse rapportene baserer seg på [11] som var en kartlegging av ulike temaer innenfor energieffektive bygg og brannsikkerhet. I tillegg til dette har Solenergiklyngen laget en veileder ment for å vise til «best practice» vedrørende rednings- og slokkeinnsats for brannvesen [7]. Denne er skrevet sammen av Drammenregionens brannvesen IKS, Nelfo og andre av Solenergiklyngens partnere.

Det er også skrevet en veileder for brannvesen i Danmark og Sverige. Disse er også omtalt i dette kapitlet, og heter henholdsvis Vejledning om indsats med solcelleanlæg [12] og Operativ metodik vid insatser där det finns solcellsanläggningar [13].

3.1 Energibesparende bygg og brannsikkerhet fra 2016

Energibesparende bygg og brannsikkerhet er skrevet for å kartlegge ulike utfordringer innenfor energieffektive bygg og brannsikkerhet. Rapporten baserer seg på at det stadig blir mer fokus på fornybar energi, og at energieffektive bygninger blir bygd for å oppnå størst mulig grad av miljøvennlighet.

I forbindelse med dette blir det benyttet mye ny teknologi. Dette fører til at regelverk og forebyggende arbeid vedrørende sikkerhet muligens blir på etterslep da dette er mye erfaringsbasert. Rapporten tar for seg temaer som dobbelfasader, massivtre og solceller. Kartleggingen munner i liten grad ut i klare konklusjoner, men mer anbefalinger til videre arbeid og presentasjon av tilhørende problematikk.

Det blir skrevet i rapporten at det ikke ser ut som selve solcellepanelene bidrar til økt risiko for at det skal oppstå brann, men at det bidrar til problematikk rundt brannvesenets innsats. Dette med tanke på at brannvesenet ikke på noen enkel måte kan gjøre solcelleanlegget spenningsløst. [11]

3.2 Solcelleteknologi og brannsikkerhet fra 2018

Solcelleteknologi og brannsikkerhet fra RISE sikter seg nærmere inn på kun solcelleteknologi. Arbeidet baserer seg på kartleggingen som ble gjort i forbindelse med rapporten fra 2016. I denne rapporten er det beskrevet at solcelleinstallasjoner kanskje fører til økt risiko for at det skal oppstå brann. Det blir trukket frem at statistikk fra Tyskland og India indikerer at det fører til flere branner i elektriske installasjoner. Rapporten gir også noen konklusjoner som er veldig informative for brannvesen i forbindelse med deres slokkeinnsats.

Det blir skrevet at det ikke er noen fare for støt ved spyling av vann på solcelleanlegg dersom det holdes 1 meters avstand med spredt stråle eller 5 meters avstand med samlet stråle, forutsatt at det brukes ferskvann. Det blir også konkludert med at hulltaking i konstruksjoner gir fare for støt for brannvesenet, der det forekommer solcellepanel. Det påpekes også at informasjonen vedrørende solcelleanlegg til innsatspersonell er mangelfull.

Angående regelverk, blir det nevnt at solcelleinstallasjoner kun er definert som en byggeteknisk komponent, og ikke som en byggevare. Det anbefales at solcelleanlegg som er integrert i bygningsskallet i form av tak- eller fasadekledning, bør defineres som byggevare, slik at de kan sees i sammenheng med resten av bygget i forbindelse med brannsikkerhet. Det nevnes også at skadde solceller må behandles som vanlig, da de kan produsere like høy spenning som når de er uskadde.

I tillegg blir det nevnt at det ikke er tilstrekkelig å dekke til solcellemodulene for å gjøre de spenningsløse. Ved prøving av flere forskjellige presenninger, er det enkelte som fungerer og andre ikke. Noen av de som ikke fungerte opplevdes som svært kraftige og lystette. Det finnes i midlertidig noen typer skum, som er spesialtilpasset for å dekke solcellemodulene. Disse vil gjøre anlegget spenningsløst.

Til slutt blir det anbefalt videre arbeid med spesielt fokus på bygningsintegreerte solceller, da det finnes lite forskning på dette området. Hvordan dette vil endre på forutsetningene til brannsikkerhet i forbindelse med endret brannodynamikk og i kombinasjon med brennbar isolasjon og så videre. [9]

3.3 Energieffektive bygg og brannsikkerhet fra 2019

Energieffektive bygg og brannsikkerhet baserer seg også på RISE rapporten fra 2016. Rapporten fra 2019 er en slags videreføring av rapporten fra 2016, der utfordringer som ble belyst den gangen blir utledet og undersøkt nærmere. Det blir fokusert mest på solceller og batteribanker i byggverk. Konklusjonene som fremkommer av denne rapporten er ikke noe særlig annerledes enn i de tidligere. [10]

3.4 Veileder om solenergi til brann- og redningsvesen fra 2020

Veileder om solenergi til brann- og redningsvesen er laget for å gi informasjon til brannvesen med en praktisk tilnærming, og gir et overblikk om hva solenergi handler om. Den gir også informasjon om at nettselskapene har oversikt over alle installerte solcelleanlegg i deres område. I tillegg gis det enkelte retningslinjer til hvilke forhåndsregler brannvesenet bør ta i forbindelse med slokke- og redningsinnsats på bygg der det forekommer solcelleanlegg.

Det gir likevel ikke noen svar på hvordan anlegget kan gjøres spenningsløst, kun at brannvesenet skal holde avstand slik at det ikke er berøringsfare. Dette kan deeffektivisere brannvesenets slokkeinnsats, da lokalisering og bekjempelse av brann i skjulte hulrom er en essensiell del av slokningsarbeidet. [7]

3.5 Utenlandske veiledere fra Sverige og Danmark

I Sverige og Danmark er det gitt veiledere som er mer komplette i forhold til rednings- og slokkeinnsats ved bygningsbrann der det forekommer solcelleanlegg. Disse veilederne er begge ment for brannvesen og gitt ut av landets myndighetsorgan til brannvesen, tilsvarende DSB for brannvesen i Norge.

I Sverige kalles dette myndighetsorganet for MSB. De har gitt ut en veiledning som kalles for Operativ metodik vid insatser där det finns solcellsanläggningar. Veilederen gir informasjon om hvordan et solcelleanlegg er bygd opp, samt informasjon om hvordan brannvesenet kan holde risikoen ved innsatsen til et minimum. I likhet med den norske veilederen er det ikke beskrevet noen løsning på hvordan anlegget kan gjøres spenningsløst. [13]

I Danmark kalles myndighetsorganet til brannvesenet for Beredskabsstyrelsen. De har gitt ut tilsvarende veiledning som MSB, den kalles for Vejledning for Indsats i forbindelse med solcelleanlæg. Veiledningen er bygd opp nokså likt, og inneholder mye av det samme som den norske og svenske. Det som likevel skiller den danske veiledningen fra de to andre, er at denne gir informasjon til brannvesenet om hvordan de selv kan gjøre anlegget spenningsløst. Den danske veiledningen tar altså høyde for at brannvesenets slokkeinnsats innebærer hulltaking. [12]

4 Brannvesen i Norge

Dette kapitlet vil presentere teori og informasjon om brannvesen i Norge.

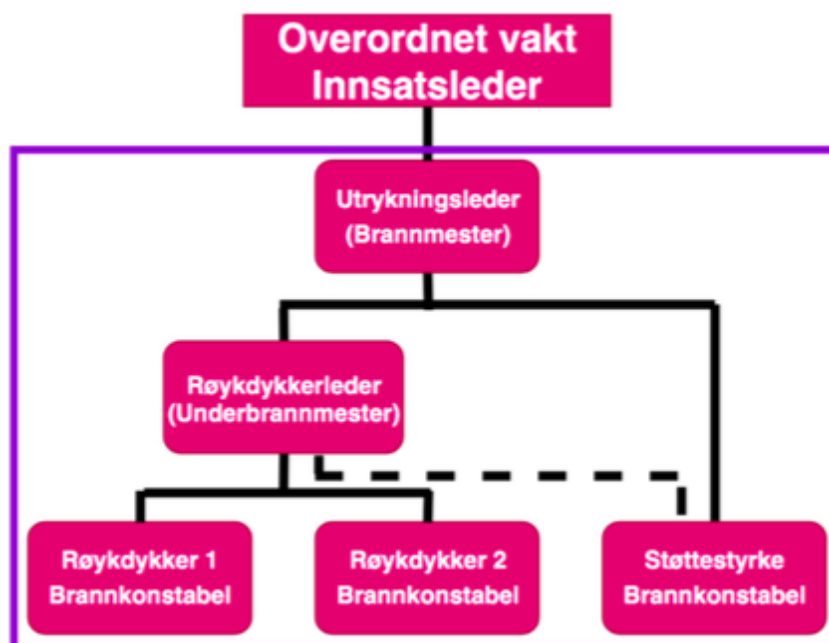
Brannvesen i Norge er i følge forskriften [14] kommunens ansvar. De fleste brannvesen er organisert av kommunen selv, og brannvesenets beredskap dekker kommunegrensene. Det er flere regioner i Norge hvor flere kommuner har inngått et interkommunalt samarbeid om brannvesen. Det skal likevel ikke svekke beredskapen i hver enkelt kommune.

Hvordan et brannvesen skal organiseres og dimensjoneres kommer mye an på innbyggertall i kommunen. For en fullstendig beskrivelse av dette refereres det til [14]. Det er også gitt en del lovpålagte oppgaver til brannvesen i [15]. Lovpålagte oppgaver er blant annet å være innsatsstyrke ved brann og andre akutte ulykker.

Et eksempel på andre ulykker brannvesenet har som lovpålagt oppgave å løse, kan være på jernbane, ved at et tog har sporet av skinnene eller lignende. Det er opptil 15 000 V i kjøreledningen til jernbanen. Dette fører til at brannvesenet er nødt til å jorde kjøreledning på jernbanen som et sikkerhetstiltak. [16]

Ved en kommune som eksempelvis har mellom 20 000 og 50 000 innbyggere skal brannvesenet ledes av en brannsjef i full stilling, samt at det skal organiseres i en forebyggende avdeling og en beredskapsavdeling.

Et flytskjema over vaktberedskapen som er pålagt ved et brannvesen etter [14] i en slik kommune er vist i Figur 2. Boksene i den lilla firkanten er det av personellet som inngår i kasernert vaktberedskap. Det betyr at disse har døgnkontinuerlig vakt på brannstasjonen.



Figur 2 Skjematisk fremstilling av vaktberedskapen til brannvesen

4.1 Brann i bygning

Det har skjedd mye i årene som har gått med tanke på hvordan samfunnet forholder seg til brann i byggverk. Fokuset er i dag nokså proaktivt, eller forebyggende, med tanke på å forhindre at et bygg skal ta fyr. Det er gjort en rekke tiltak for å forhindre at brann oppstår. For eksempel ved hjelp av ny teknologi som komfyrvakt, ved hjelp av regulering av brannfarlige aktiviteter i forskrifter eller ved tiltak som å opplyse befolkningen om farer rundt brann slik at tiltakene blir gjort av befolkningen.

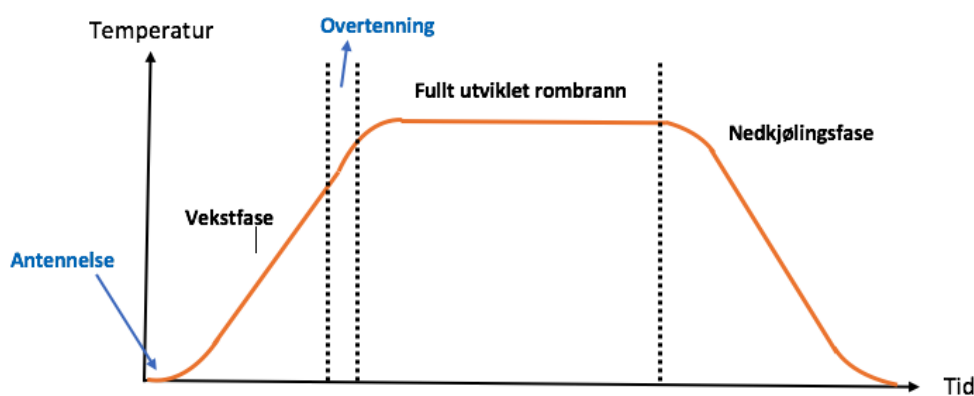
Likevel vil det alltid oppstå uønskede hendelser, og byggverk vil komme til å ta fyr og brenne. DSB viser i sin brannstatistikk at det har vært 15 538 bygningsbranner fra 1. januar 2016 til 1. januar 2020. Da er det viktig at brannvesenet er best mulig rustet til å håndtere slike hendelser med tanke på høyest mulig sannsynlighet for en vellykket innsats og at sikkerheten til mannskapene blir ivaretatt. [17] [18]

Brannutvikling i bygg kan deles i ulike faser, og starter med en antennelse. Den kan for eksempel være forårsaket av feil bruk av elektriske installasjoner, eller ved at det benyttes store elektriske forbrukere i samme kurs ved hjelp av flere skjøteledninger. Det kan også være forårsaket av bruk av åpen ild som stearinlys, eller det kan være påsatt.

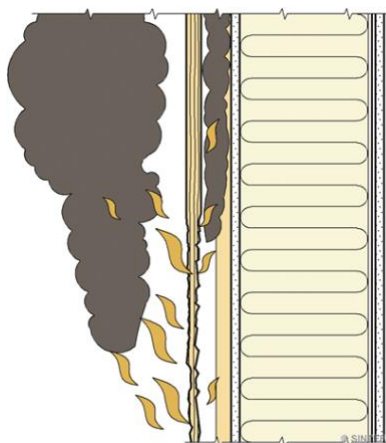
Etter antennelsen kommer utviklingsfasen, hvor brannen utvikler seg. Når brannen har utviklet seg tilstrekkelig, vil alle brennbare overflater i rommet delta i brannen. Dette kalles overtenning. Videre går brannen inn i fasen fullt utviklet brann, og vedvarer så lenge det er tilgang på brennbare materialer. Når tilgangen på brennbare materialer avtar, vil brannen gå over i en nedkjølingsfase.

Avhengig av om brannen har nok tilgang på oksygen, vil den være ventilasjonsstyrt eller brenselstyrt. Hvis brannen ikke har tilstrekkelig tilgang til oksygen, vil den «kveles». Nedkjølingsfasen kan starte tidligere dersom brannen blir ventilasjonsstyrt eller den blir aktivt sløkket. Dersom brannen har tilstrekkelig tilgang til oksygen, vil den være brenselstyrt. Hvis brannen er brenselstyrt vil brannen vedvare til den ikke har tilgang på brennbare materialer.

De forskjellige fasene i en brannutvikling er illustrert på Figur 3. Fasene vil inntre på forskjellige tidspunkt fra antennelse i forskjellige rom i en bygningsbrann. I startbrannrommet vil det sannsynligvis forekomme en overtenning før naborommet. En brann vil spre seg til de forskjellige delene av byggverket. Dette er da andre oppholdsrom, men også i hulrom i bygningen. Brannspredning i skjulte hulrom er et kjent fenomen, og kan eksempelvis foregå i luftspalter bak kledning på vegg eller via luftspalter på tak, som vist på Figur 4. [17] [19] [20]



Figur 3 Skisse av fasene i en brannutvikling

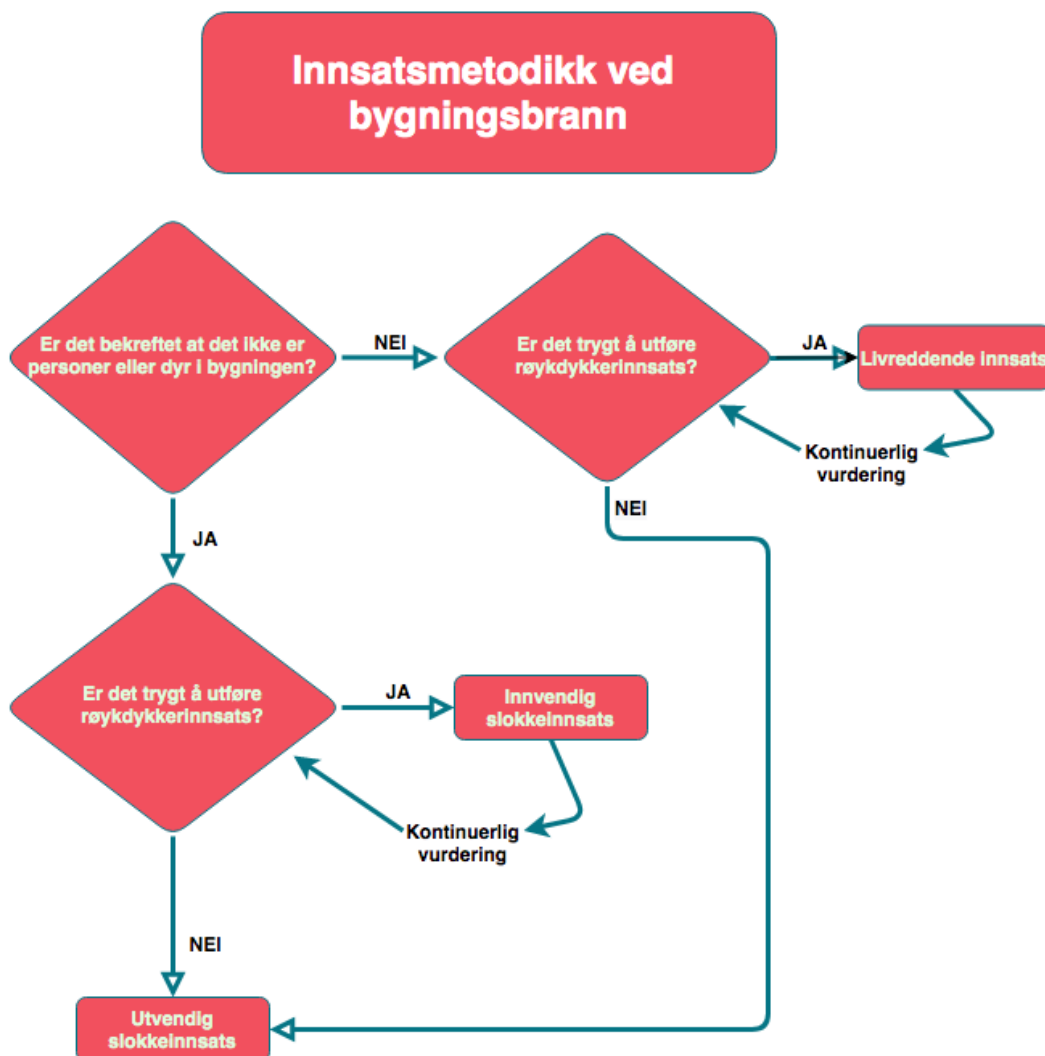


Figur 4 SINTEF [20]: Skisse av brann i hulrom innenfor ytterkledning

4.2 Arbeid under brann i bygning

Når brannvesenet ankommer skadestedet, vil det være meget situasjonsbestemt hvilken taktikk innsatspersonellet velger. En forenklet forklaring av brannvesenets innsatsmetodikk er skissert i Figur 5. Det øverste på prioriteringslista er liv og helse til mennesker eller dyr, og kalles for livreddende innsats. Videre skal det prioriteres å unngå eller begrense skader på miljøet, og til slutt skal materielle verdier reddes eller begrenses skade på.

Livreddende innsats går primært på søk etter det livet som skal forsøkes å berge. Det er mindre fokus på selve brannen for innsatspersonellet. Dersom det ikke er savnede personer og dyr i bygget, er innsattaktikken annerledes. Da fokuseres det på å unngå eller begrense skade på miljø og materielle verdier. Dette gjøres som regel ved å slokke brannen, helst ved innvendig slokkeinnsats. Dersom miljøet inne i bygget er for risikofullt for røykdykkere, er de nødt til å trekkes ut. Da forandres innsattaktikken til at det utføres kun utvendig slokking. [17]



Figur 5 Flytskjema over brannvesenets innsatsmetodikk

Når brannvesenet skal slokke brannen, er de nødt til å enten fjerne de brennbare materialene, fjerne tilgangen brannen har til oksygen, bryte den kjemiske reaksjonen til brannen eller kjøle den ned. Det er vanskelig for brannvesenet å fjerne de brennbare materialene eller fjerne tilgangen brannen har til oksygen i et bygg som brenner.

Ofte er den eneste måten å slokke den på, å bryte den kjemiske reaksjonen og kjøle den. Brannen blir primært nedkjølt ved hjelp av vann, men det blir også benyttet skum som både kjøler ned brannen, kveler oksygentilgangen og bryter den kjemiske forbrenningsreaksjonen.

Som tidligere nevnt kan brannen også foregå i skjulte hulrom. For at brannvesenet skal kunne slokke brannen i disse hulrommene, er det ofte behov for hulltaking i konstruksjonene. Ofte vil det også være behov for hulltaking i konstruksjoner for å ventilere ut varme røykgasser fra brannen. Inne i veggen ligger det blant annet elektriske kabler som gir berøringsfare, og av den grunn er det behov for å gjøre bygget spenningsløst, slik at brannvesenet kan arbeide med brannslukking og hulltaking på en sikker måte. [17] [19] [20]

4.3 Hvilke krav stilles til brannvesenets vernetøy?

Brannvesenets krav til verneutstyr er i de fleste tilfeller ensbetydende med røykdykkerbekledning. Da benyttes utrykningstøy, meis med flaskepakke, røykdykkermaske, røykdykkerhette, brannstøvler og brannhansker som det mest elementære av utrustning. Det skal også benyttes underbekledning som har gode svettetransporterende og svetteabsorberende egenskaper.

Bildeserien på neste side er ment for å vise hvordan innsatspersonell er kledd i vernetøy ved en bygningsbrann. Røykdykkermasken har laminert glass som tåler høye temperaturer. Figur 6 viser en grunnutrustning av vernetøy. Videre viser Figur 7 hvordan innsatspersonell er kledd i mellomsjiktet før det entres et røykfullt miljø. Dersom det arbeides under en bygningsbrann, men utenfor røykfullt miljø, er det naturlig å være utrustet som på Figur 7. Figur 8 viser hvordan innsatspersonell er kledd ved arbeid i røykfullt miljø. Som vist på Figur 9 skal hjelmen også ha beskyttende visir.

For å beskytte seg mot strømgjennomgang og lysbuer, kan det benyttes 1000 V-hansker som på Figur 9. Figur 10 viser denne bekledningen med 1000 V-hansker og brannhansker. Figur 11 viser en røykdykker med 1000 V-hansker under brannhanskene. [21]



Figur 6 Grunnutrustning utrykningstøy



Figur 7 Grunnutrustning røykdykkerbekledning med åndedrettsvern klart til bruk



Figur 8 Full røykdykkerbekledning med fullstendig åndedrettsvern



Figur 9 Grunnutrustning røykdykkerbekledning med 1000 V-hansker og hjelmvisir



Figur 10 Grunnutrustning røykdykkerbekledning med 1000 V-hansker og brannhansker



Figur 11 Full røykdykkerbekledning med fullstendig åndedrettsvern og 1000 V-hansker

5 Elektrisitet

I dette kapittelet vil informasjon om elektrisitet bli beskrevet.

5.1 Teori om elektrisitet

Dagens samfunn er avhengig av elektrisitet, som er den mest brukte energikilden til befolkningen. I dagligtalen blir dette kalt for strøm. Strøm er en elektrisk ladning i bevegelse. Elektriske ladninger som beveger seg danner energi, som eksempelvis kan benyttes til å lade en mobiltelefon eller varme opp et hus. [22] [23]

Antall elektriske ladninger som beveger seg gjennom et punkt avgjør strømstyrke. Måleenheten for strøm er ampere (A). På samme måte som jordens masse danner et gravitasjonsfelt, danner elektriske ladninger et elektrisk kraftfelt. En elektrisk ladning har et potensial til å bevege seg i det elektriske feltet, akkurat som eksempelvis en person har et potensial til å falle mot bakken dersom stigen han eller hun står på forsvinner. Potensialet i et elektrisk felt kalles spenning, hvor måleenheten er volt (V). [23] [24]

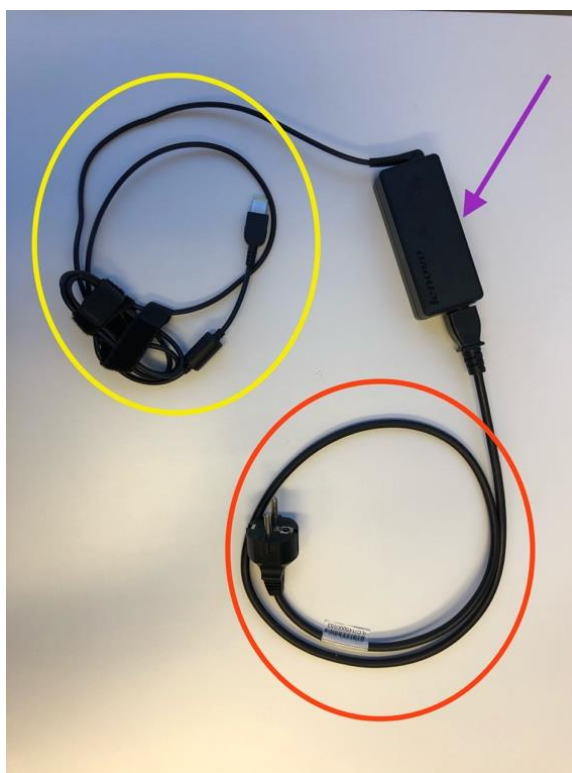
Dersom en strømkabel med ladning som henger i løse luften har en viss spenning, og om kableen er isolert fra andre elektriske ledere, vil ikke de elektriske ladningene gå noe sted. Hvis et menneske tar på strømkableen, vil det være forskjellig ladning i bakken og i strømkableen, og ladningene får et forbindelsespunkt med bakken. Det dannes et elektrisk felt mellom strømkableen og bakken, noe som gjør at ladningene går gjennom mennesket til bakken ved hjelp elektrisk kraft. Ladninger som går gjennom mennesket i dette tilfellet er det vi kaller strøm, hvor mennesket er en elektrisk leder. Strøm har den egenskapen at den går minste motstands vei. Elektrisk motstand kalles resistans, og har måleenheten ohm (Ω). En strømkabel har derfor av naturlige årsaker lav motstand, for at de elektriske ladningene lett skal kunne forflytte seg. [23] [24] [25]

5.2 Likestrøm og vekselstrøm

I elektrisk energiforsyning skilles det mellom likestrøm (DC) og vekselstrøm (AC). Likestrøm er at strømmen går kontinuerlig i en retning, fra positiv til negativ ladning. Et eksempel på en likestrømkilde er et batteri. Her går strømmen med elektriske ladninger fra minus-siden på batteriet gjennom en elektrisk forbruker til pluss-siden. [26]

Vekselstrøm er i motsetning til likestrøm, strøm som går i begge retninger, med en viss tid eller frekvens mellom hvert retningsbytte. Vekselstrøm er det som er i stikkontaktene i et hus. [27]

Vekselstrøm kan omdannes til likestrøm ved hjelp av en likeretter, og på samme måte kan likestrøm omdannes til vekselstrøm ved hjelp av en vekselretter. Et eksempel på dette er en PC-lader som vist på Figur 12. Som nevnt er det vekselstrøm i stikkontaktene i hus i Norge og de fleste andre land. I Norge er hovedstrømnettet bygd opp på vekselstrøm med et definert spenningsnivå på 230 V. En PC drives av PC-ens batteri som går på 5-12 V likestrøm. Dersom en PC skal lades via stikkontaktene i huset, må vekselstrømmen omdannes til likestrøm ved hjelp av en likeretter. Likeretteren på en PC-lader er vist på Figur 12 og markert med en lilla pil. Gul sirkel markerer likestrømsiden, og rød sirkel markerer vekselstrømsiden på laderen. [23] [27]



Figur 12 Bilde av en PC-lader med likeretter

5.3 Elektrisk krets

Når det er elektrisk kontakt mellom energikilde og forbruker, som for eksempel et batteri som er koblet til en lyspære, er dette en elektrisk krets. Det avhenger av at forskjellige elektriske komponenter er sammenkoblet med elektrisk ledende materialer. I en normal bygning er typisk sammenkoblingsmaterialene strømkabler. En kurs blir ofte benyttet i dagligtalen, og er et synonym for én elektrisk krets i en bygning. [28] [7]

5.4 Sammenheng mellom elektrisk strøm, spenning, motstand, energi og effekt

Energimengde fra en energikilde avhenger av hvor mye strøm (A) og spenning (V) som er tilstede. Energi har måleenheten joule (J), og kan også måles i kalorier (Cal). Videre er effekt energi per tid, og forøvrig produktet av strøm og spenning. Måleenheten for effekt er watt (W).

$$\text{Spenning (V)} \times \text{Strømstyrke (A)} = \text{Effekt (W)}$$

Kilowattimer er en annen måte måle energi, og 1 kWh er det samme som 3 600 kJ. Når det betales for forbruk av strøm i en husstand, blir det altså betalt for hvor mye energi husstanden har hentet ut fra netteier i kilowattimer (kWh). [23] [24] [29] [30]

Sammenhengen mellom motstand, strømstyrke og spenning er forklart med Ohms lov.

$$\text{motstand } (\Omega) \times \text{strømstyrke (A)} = \text{Spenning (V)}$$

Det vil si at dersom motstand økes i et gitt tilfelle, er spenningen nødt til å økes for å opprettholde strømstyrken. [31]

5.5 Lysbuer

En lysbue er en elektrisk utladning mellom to elektriske ledere via luft. Det vil si strøm som beveger seg via luften. Det forekommer dersom det dannes et elektrisk felt med tilstrekkelig høyt potensial eller spenning mellom to ledere. To eksempler på lysbuer er lyn og elektrisk lighter, som er vist på Figur 13 og Figur 14.

Skadeomfanget av en lysbue avhenger av hvor kraftig den er. Hvor kraftig en lysbue er, måles i hendelsesenergi. Hendelsesenergi avhenger av hvor mye energi som går gjennom et punkt, hvor lang avstand fra punktet kilden er og over hvor lang tid punktet er utsatt for denne energien. Hendelsesenergi blir målt i kalori per kvadratcentimeter (Cal/cm²). [32] [33]



Figur 13 Shutterstock.com: Bilde av lysbue i form av lyn



Figur 14 Shutterstock.com: Bilde av lysbue i form av elektrisk lighter

5.6 Berøringsfare

Den høyeste tillatte berøringsspenningen er 50 V, enten det gjelder likespenning eller vekselspanning. Det skilles mellom lav- og høyspenning, der skillet går ved 1000 V vekselspanning og 1500 V likespenning.

Strømgjennomgang av vekselstrøm og likestrøm oppleves ulikt. Vekselstrøm merkes kontinuerlig så lenge strømgjennomgangen foregår, mens likestrøm merkes i det strømgjennomgangen starter, og i det den opphører. [34] [35]

Det er hvis det oppstår en uønsket forbindelse i en elektrisk krets, at det er fare for at en person blir utsatt for strømgjennomgang eller lysbuer. Dersom den uønskede forbindelsen har svært lav motstand, vil det være mange ganger strømstyrken enn ved normal belastning. Dette kan forklares ved hjelp av Ohms lov, og at spenningen holder seg lik [31].

$$\text{Strømstyrke} = \frac{\text{Spenning}}{\text{Motstand}}$$

I eksempelvis en bolig, hvor det normalt er installert 230-volts elektrisk anlegg, vil det være sikringer i sikringsskapet. Sikringene er der for å stanse strømtilførsel ved en uønsket høy strømstyrke. Eksempler på typiske størrelser på sikringer i boliger er 10 A og 15 A. Sikringene vil da slå ut ved respektive strømstyrke, men på grunn av tregheter vil strømstyrken rekke å øke kraftig i et lite tidsvindu. Strømstyrken som maksimalt oppnås før sikring slår ut kalles kortslutningsstrøm. [36]

6 Solenergi

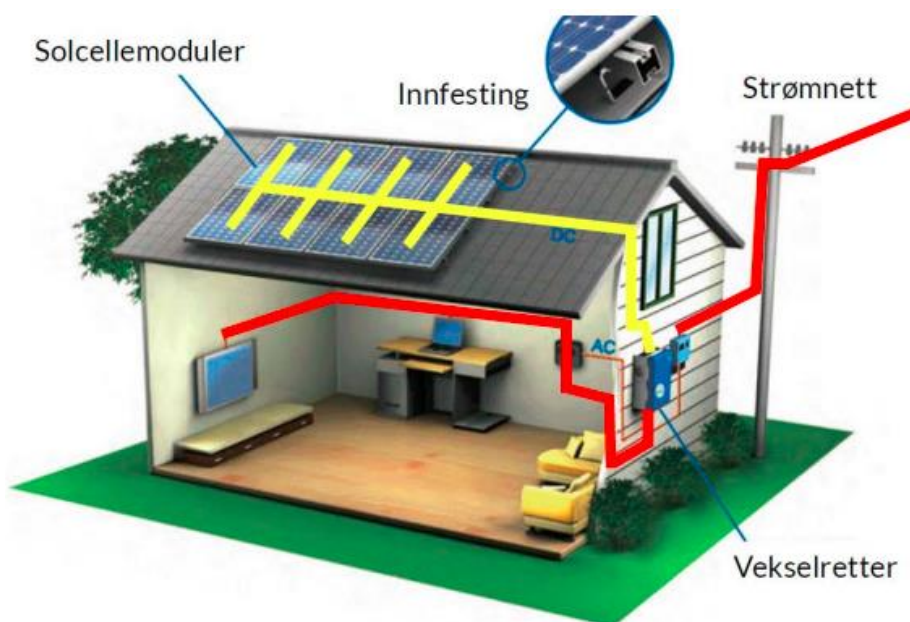
Solenergi er energiutnyttelse av solen som energikilde, mer spesifikt strålingen som sola avgir. Det er flere forskjellige måter å utnytte solenergi på. Ved bruk av for eksempel solfangere kan det varmes opp et vannreservoar i et hus, som kan benyttes til å forsyne huset med vannbåren varme. I større skalaer kan solstråling benyttes til å varme opp vann eller luft, som bidrar til strømning av fluidet, videre kan fluidestrømningen drive henholdsvis vind- eller vannturbiner.

De fleste lekfolk tenker likevel på den fotovoltaiske effekten og solcelleanlegg når ordet solenergi blir nevnt. Den fotovoltaiske effekt er når solstråler blir omdannet direkte til elektrisk energi. Enkelt forklart gjør lys som består av fotoner, at elektroner i metaller eksiterer og beveger seg. Dette skaper elektrisk strøm. Det hele fører til at solstrålene skaper elektrisitet, ved hjelp av det som kalles solceller. [37] [38] [39]

6.1 Solcelleanlegg

Et solcelleanlegg er definert som en komplett installasjon av et strømforsyningsystem inkludert alle komponenter. En solcellemodul er én plate, ofte blir en solcellemodul omtalt som ett solcellepanel. De forskjellige delene er skissert på Figur 15. I et solcelleanlegg er det som regel koblet flere solcellemoduler sammen i en seriekobling. Det kalles for en solcellestreng. Solcellene produserer likestrøm, og ettersom det benyttes vekselstrøm i byggverk, må likestrømmen omdannes til vekselstrøm ved hjelp av en vekselretter. Selv om solceller produserer elektrisk energi, vil de ikke lagre den.

Fra vekselretteren fordeles vekselstrøm til byggets strømforsyning. Figur 15 under illustrer et solcelleanlegg, der de gule kablene forestiller likestrøm og de røde kablene forestiller vekselstrøm. Nærmere beskrivelse av de forskjellige komponentene er beskrevet nedenfor. [40] [41] [9]



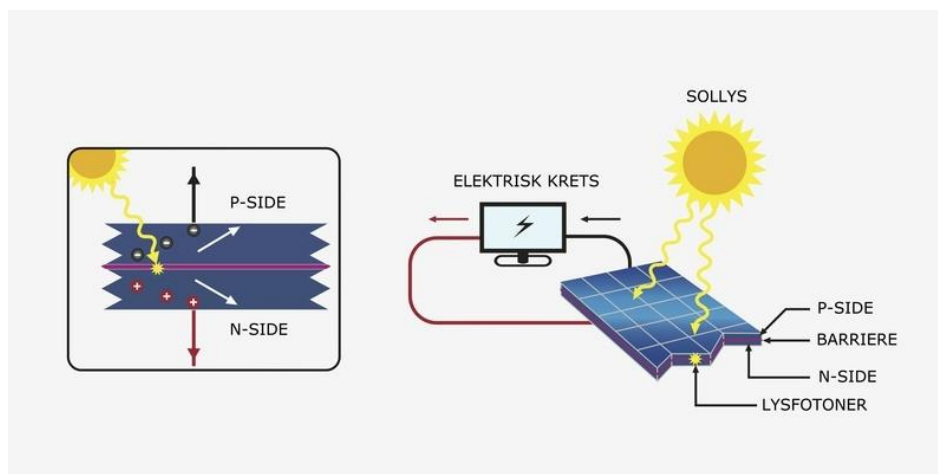
Figur 15 RISE [9]: Forenklet skisse av solcelleanlegg

6.1.1 Solcellepanel

Solceller skaper elektrisitet ved hjelp av lysfotoner (solstråler) som gjør at elektroner eksiterer fra et metall. Solcellepanel består som regel av grunnstoffet silisium som er et grunnstoff med fire elektroner i ytterste elektronskall, noe som gjør at elektronskallet søker fire andre elektroner for å få et fullt skall etter oktettregelen, altså åtte elektroner. Silisiumet blir derfor dopet med andre stoffer.

Som det kommer frem av Figur 16, består et solcellepanel av to lag. Den ene blir dopet med fosfor, og den andre med bor. Doping med bor gjør at det blir syv elektroner i ytterste skall, dette fører til at bor-siden forsøker å skaffe seg elektroner for å fylle elektronskallene. På fosfor-siden blir det ett elektron i ytterste skall, noe som fører til at denne siden prøver å kvitte seg med ett elektron for å fylle elektronskallene.

Etter at elektronene har flyttet seg for å fylle skallene, vil solcellepanelet bli balansert, og bor-siden som har mottatt elektroner vil bli negativ, mens fosfor-siden som har avgitt elektroner vil bli positiv. Det dannes et isolerende lag, eller en barriere, mellom de forskjellige sidene. En beskrivende figur av hvordan solceller fungerer er satt inn under som Figur 16 [41]



Figur 16 Shutterstock.com: Skisse av et solcellepanel

Når sollyset eller lysfotonene, som innehar en mengde energi, treffer solcellepanelet, eksiterer elektroner. Elektronet som har eksitert vil bevege seg mot den positive fosfor-siden. En elektrisk leder er dermed plassert mellom sidene av solcellepanelet. Den elektriske lederen blir minste motstands vei for elektronene, noe som fører til at elektronene beveger seg langs den elektriske lederen, og danner elektrisk strøm. [41]

Ett enkelt solcellepanel produserer typisk en spenning på mellom 20 og 50 V, og inntil 8 A. Dette fører til en effektproduksjon mellom 0,2-0,4 kW. Når flere solcellepanel kobles sammen i en seriekobling kalles dette for en solcellestreng. Dersom det er koblet sammen flere solcellestrenger i parallell kalles det for en solcellematrise. Hvis flere solcellepaneler kobles sammen i serie vil spenningen øke. Dersom disse solcellestrengene kobles i en parallellkobling, vil strømstyrken øke. [12] [13]

6.1.2 Vekselretter/inverter

I dagligtalen blir vekselrettere ofte omtalt som inverter. Figur 17 viser hvordan en vekselretter kan se ut, men disse varierer mye i utseende. Det er her likestrømmen omdannes til vekselstrøm, som er i stikkontaktene i byggverket.

I forbindelse med vekselretteren sitter det i noen tilfeller en «brannmannsbryter». Dette er en knapp som kan trykkes inn for å bryte solcelleanleggets strømforsyning til byggverkets vekselstrømdel.

Fra 1. juli 2018 ble brannmannsbryteren påbudt. Det vil ikke være strøm i likestrømkablene, men solcellepanelene kan fortsatt produsere spenning til disse kablene, dersom de blir utsatt for lys. Dette trenger ikke nødvendigvis å være sollys, men kan også være lys fra flammer eller lyskastere. [9] [7] [35]



Figur 17 Shutterstock.com: Bilde av hvordan en vekselretter kan se ut

6.1.3 DC-brytere og MC4 plugger

Et solcelleanlegg har DC-brytere ett eller flere steder på likestrømsiden. Dette er av- og påbrytere som gjør kabler og komponenter spenningsløse fra bryteren og mot vekselretter. Brannmannsbryteren som er nevnt ovenfor er en DC-bryter. Dersom denne eller disse er skrudd av, vil det fra denne bryteren, til vekselretter og videre til AC-siden altså ikke være fare for strømgjennomgang eller lysbuer. En DC-bryter ligner som regel en hvilken som helst annen nødbryter som vist på Figur 18. Solcellepanelene er koblet sammen av kabler for å få en lukket krets. Disse kablene er koblet sammen med en-polede MC4-plugger. En MC4-plugg er vist på Figur 19. [42]



Figur 18 Pixabay.com: Nødbryter



Figur 19 Pixabay.com: MC4-plugg

6.2 Hvor mye strøm, spenning og effekt?

Hvor mye strøm og spenning et solcelleanlegg produserer varierer med blant annet solforhold, størrelse på solcelleanlegget og effektivitet på anlegget. Solceller leverer vanligvis mellom 100 og 170 kWh strøm per installerte kvadratmeter [43]. Et solcelleanlegg på en gjennomsnittlig enebolig, produserer rundt 1000 kWh i året [43]. Til sammenligning bruker en gjennomsnittlig husstand rundt 20 000 kWh årlig [44].

I enkelte solcelleanlegg er spenningen på en eller flere av likestrømkablene opptil 1500 V, selv om det gjennomsnittlige anlegget innehar mellom 800-1000 V. Hvor mye strøm det går i solcelleanlegget varierer ut fra type solcellepaneler og om disse er koblet i parallell. Normal strømstyrke i dag er 6-10 A. [40] [13]

6.3 Prosedyre for elektrisk arbeid med solcelleanlegg

Arbeid med solcelleanlegg startes i hovedsak med å gjøre solcelleanlegget spenningsløst. Arbeid som utføres på eksisterende solcelleanlegg, kan være vedlikehold eller reparasjoner. Montering av solcelleanlegg anses som å falle utenfor avgrensingen til problemstillingen til denne studien, og vil ikke bli beskrevet i detalj.

Når det skal monteres solcelleanlegg, arbeides det likevel etter samme prinsipp som ved arbeid på eksisterende elektrisk anlegg, nemlig at hele anlegget gjøres spenningsløst før arbeid. Enkelt forklart monteres anlegget ved at det siste som gjøres, er å koble det til strøm og spenning. Kablene som genererer spenning fra solcelleanlegget til vekselretteren, dekkes til på forhånd, slik at kablene ikke kommer i kontakt med hverandre, personer eller andre ting som er strømførende.

De samme prinsippene gjelder når det skal gjøres arbeid på eksisterende anlegg. Det startes med å gjøre anlegget spenningsløst ved å ta ut kabler som genererer spenning. Som tidligere beskrevet kan solcelleanlegg ha DC-spenning opptil 1500 V og maksimal strøm kan være høyere enn beskrevet i påfølgende underkapitler. Kapittel 6.3 gjelder solcelleanlegg som [45] arbeider med i sin bedrift, og er ment som en orientering til hvordan en risikovurdering av solcelleanlegg kan gjøres. [45] [46] [47]

6.3.1 Fare for lysbuer ved frakobling av DC-kabler

I [47] er det beskrevet at det er en risiko for lysbue når det frakobles DC-kabler i et solcelleanlegg hvor det går vesentlig strøm. Det er presisert at disse lysbuene er mindre enn de som er bekymringsverdige i vanlige AC-sammenheng. Lysbuen som kan forekomme ved frakobling av DC-kablene i et solcelleanlegg er beskrevet som et lite lysglimt, i tillegg til at det kommer en liten lyd som kan minne om en minimal smell. [47]

Lysbuen gir en minimal akustisk sjokkbølge, som ikke gir fare for hørselskader. Det er liten fare for sprut av smeltet metall og gnister, men vernebriller bør benyttes for å være på den sikre siden. Det er lite utvikling av farlige gasser. Maksimal spenning på DC-kabler i solcelleanlegg er satt av [47] til 800 V, maksimal strøm er 6 A. Dette fører til en maksimal effekt på en lysbue til $800 \text{ V} \times 6 \text{ A} = 4,8 \text{ kW}$. En typisk lysbue i et sikringskap for bolig er $230 \text{ V} \times 2000 \text{ A} = 460 \text{ kW}$. [47]

Effekten i en lysbue i et sikringskap i bolig, er dermed nærmere 100 ganger så høy som en lysbue i dette solcelleanlegget. Elektromagnetisk stråling er tilsvarende liten som effekten og utgjør ikke noen reell fare for øyne eller hud. I følge [48] skal det vurderes lysbuer og risikoer forbundet med dem, ved å ta høyde for termisk effekt, sjokkbølge, elektromagnetisk stråling, akustisk sjokk og giftige gasser/partikler. I sin risikovurdering, har [47] beskrevet det som [48] krever.

Eventuelle lysbuer som oppstår i solcelleanlegg har lave verdier i forhold til alle kriterier nevnt i [48], og fører til at lysbuer i solcelleanlegg utgjør liten fare. Det påpekes også at dersom DC-bryter skruses av på solcellestreng, er risikoen for at det oppstår en lysbue lik null. [47]

Det er gjort en risikovurdering av frakobling i kortsluttede DC-kretser uten DC-bryter. Solcellepanel dekkes til med riktig materiale, som for eksempel spesielt utviklet skum for dette formålet [49]. Det vil føre til at strømmen i kretsen reduseres så kraftig at faren for lysbue er svært liten. [46]

6.3.2 Risikomomenter ved arbeid med DC-kabler til solcelleanlegg

I [45] er det beskrevet at det er to risikomomenter for arbeid med DC-kabler til solcelleanlegg. Det ene er strømgjennomgang som følge av kontakt med spenningsatt pluss- og minusleder samtidig. Det andre er lysbue ved frakobling av pluggen i en solcellestreng som er ferdig koblet i en lukket krets. [45]

Strømgjennomgang medfører sjelden risiko ved arbeid med DC-kabler til solcelleanlegg, ettersom sannsynligheten for at dette skjer er liten. Dette er begrunnet i at alle kabler er iført grunnisolasjon og ekstra beskyttelse i form av dobbelisolering. Faren for strømgjennomgang oppstår når kabler ikke er plagget i enden, derfor skal alle kabler som er tilkoblet et solcelleanlegg være plagget. [45]

Fare for lysbue er allerede beskrevet i Kapittel 6.3.1. Det kan oppstå lysbue der pluggene tas fra hverandre i solcellestrenger som er strømførende. Denne lysbuen er som beskrevet liten og medfører minimal risiko. Dersom pluggene er mer enn 15 cm fra hverandre, vil en lysbue ikke oppstå eller opphøre. Det er illustrert en lysbue i bildeserien nedenfor ved hjelp av Figur 20, Figur 21 og Figur 22. For å unngå lysbue, brytes krets ved hjelp av DC-bryter. Vekselrettere har som regel DC-bryter. [45] [46]

For ytterligere beskyttelse mot lysbuer skal det benyttes verneutstyr, hvilket er nærmere beskrevet i [46]. Dersom det oppstår lysbue skal pluggene raskt føres fra hverandre. Når avstanden overstiger 15 cm skal lysbuen ha opphørt. Når lysbuen er brutt vil den ikke oppstå på nytt før anlegget eventuelt frakobles på nytt. [46]



Figur 20 AC Solar Warehouse: Lysbue bildeserie, sammenkoblede kabler



Figur 21 AC Solar Warehouse: Lysbue bildeserie, lysbue oppstår



Figur 22 AC Solar Warehouse: Lysbue bildeserie, kabler fra hverandre og lysbue opphører

6.4 Brann i bygning med solceller

Brann i bygning innebærer ulike innsatsmetoder. Hvilken type innsatsmetodikk som utføres, er situasjonsbestemt. Type innsats kan også forandre seg ettersom hendelsen utvikler seg i ulike retninger. I dette kapitlet vil det bli presentert hvilke metoder brannvesenet bruker i forbindelse med innsats ved brann i bygning der det forekommer solcellepanel per dags dato.

6.4.1 Innsats ved brann i bygning med solceller

Brannvesenet er organiserte med kommunal tilhørighet, hvilket betyr at det er mange virksomheter i Norge. Dette kan by på utfordringer i forhold til fokus områder og kompetanse. Noen brannvesenet er spesialister på enkelte områder, fordi disse områdene er aktuelle i deres kommune. Et brannvesenet i en kommune hvor det eksempelvis ikke er jernbane, vil ha mindre fokus på jernbane enn andre brannvesenet.

Ettersom det i enkelte kommuner forekommer solcelleinstallasjoner i større eller mindre grad, vil kompetansen innen dette området variere tilsvarende. Det er antatt at flere brannvesenet føler de mangler kunnskap om solceller [9]. Ut fra utviklingen som skjer og er beskrevet i kapittel 1.1, vil solcelleinstallasjoner være et hyppigere fenomen i de fleste kommuner i fremtiden.

6.5 Dagens innsatsmetodikk i forbindelse med brannslukking vedrørende solcelleinstallasjoner

Det brannvesenet forholder seg til på landsbasis i dag, er [7]. Dette er en praktisk veileder til brannvesenet som Solenergiklyngen har skrevet sammen med blant annet Nelfo og Drammensregionen brannvesenet IKS. Veilederen gir informasjon om at det ofte forekommer såkalte brannmannsbrytere ved et solcelleanlegg, der alt som er av vekselstrømanlegg blir gjort strømløst ved å trykke på den.

Det blir videre gitt en kort innføring i sikkerhetsavstand med tanke på vannstråler, samt hvordan et solcelleanlegg er lagt opp. Det er likevel spenning på likestrømdelen i anlegget, og det er ikke gitt noen løsning på hvordan brannvesenet skal håndtere dette annet enn å holde avstand. I mange tilfeller er dette ikke mulig for brannvesenet.

Det kan være nødvendig med livreddende innsats i et bygg, eller det kan være nødvendig med hulltaking for å begrense eller slokke en brann. Der det forekommer solcellepanel er det også en utfordring at brannen kan foregå på taket under solcellepanelene, slik at brannvesenet må fjerne panelene for å komme til med slökkemidler.

6.5.1 Strømgjennomgang i forhold til bruk av vann som sløkkemiddel

I [9] henvises det til flere forskjellige studier som har tatt for seg fare for støt i forbindelse med vannstråle på lavspenningsanlegg. Det er blitt brukt metoder der det er målt strømgjennomgang ved ulike avstander. Det er her bevist og konkludert med i [9], at det kun forekommer ufarlige mengder strøm ved slokking av likespenningsanlegg opptil 1500 V likespenning, dersom disse forhåndsreglene tas:

- Det brukes ferskvann som sløkkemiddel uten skuminnblanding.
- Det holdes en avstand på 1 meter med spredt stråle.
- Det holdes en avstand på 5 meter med samlet stråle.

Forsøkene er nærmere beskrevet i kapittel 3.5.1 i [9]. Med andre ord, kan det trygt utføres utvendig slokkeinnsats der det forekommer solcelleanlegg ved brann i bygning.

6.6 Hvilke lysbuer kan forventes ved et solcelleanlegg og hvor farlige er de?

Et solcelleanlegg kan produsere opptil 1500 V DC-spenning, og leverer mellom 6 og 10 A. Dette fører til at en lysbue kan ha en effekt opptil 15 kW. I en vanlig bolig kan det være en strømstyrke i et sikringskap ved kortslutning på 2000 A. Vanligvis er det installert et 230 V el-anlegg i hus. Det fører til at en lysbue i dette tilfellet kan ha en effekt på 460 kW, hvilket betyr minst 30 ganger kraftigere enn et solcelleanlegg.

I intervju med sakkyndig på lysbuer ble det gjort en beregning av hendelsesenergi til en verst tenkelig lysbue som kan forekomme ved et solcelleanlegg ved en avstand på 20 cm.

Beregningene som er gjort er basert på den anerkjente normen [8]. Minsteverdiene i normen er en svakhet. Dette forteller at denne ikke er tenkt til å bli benyttet til beregning av lysbuer i solcelleanlegg da minsteverdien i normen er 700 A, maksimal kortslutningsstrøm i en solcellestreng er vanligvis maksimalt 10 A. Strømstyrken i et solcelleanlegg er altså langt lavere enn hva som kan legges inn i disse beregningene.

Beregningene fra normen [8] som ble gjort i forbindelse med intervju viste 13 cal/cm^2 ved 700 A og 1500 V AC ved 20 cm, dersom lysbuen varte i 2 sekunder. Altså med en langt høyere strømstyrke enn det som er reelt i forbindelse med et solcelleanlegg, og ved at lysbuen varte så lenge som 2 sekunder. Skjerm bilde av beregning er lagt ved som Vedlegg 2.

6.6.1 Hva kreves av vernetøy for å beskytte seg mot lysbuer i solcelleanlegg

Beregningene gjort i forbindelse med lysbuer i solcelleanlegg, viser til at personell må verne seg med bekleddning minst 13 cal/cm^2 . De klærne som er beskyttet mot lysbuer, har en oppgitt ATPV-verdi for hvor kraftige lysbuer de er beskyttet mot. Utrykningstøyet til brannvesenet har ikke blitt testet mot lysbuer, og har ikke slike klassifiseringer. Til sammenligning har jakken fra Wenaas Workware AS som er vist på Figur 23 en ATPV-verdi på over 49 cal/cm^2 [50].

I tillegg er det utviklet hansker til beskyttelse mot strømgjennomgang og lysbuer. Figur 24 viser et par slike hansker fra Wenaas [51]. Disse hanskene kommer med flere forskjellige klassifiseringer. De som er avbildet i Figur 24 er klassifisert for 1000 V AC og 1500 V DC, og har en ATPV-verdi på over 71 cal/cm^2 . Det er også satt inn et bilde i Figur 25 av en tynn ulltrøye med en ATPV-verdi på 6 cal/cm^2 .



Figur 23 Jakke fra Wenaas med ATPV-verdi 49 cal/cm^2



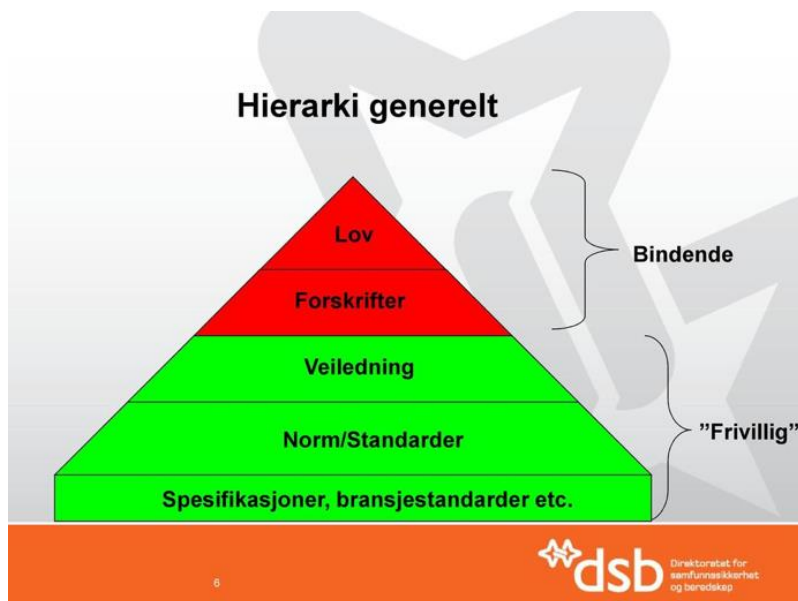
Figur 24 Hansker fra Wenaas med ATPV-verdi 71 cal/cm^2



Figur 25 Ulltrøye fra Wenaas med ATPV-verdi 6 cal/cm^2

7 Regelverk

Det er forskjellige lovverk og normer som gjelder når det skal sees på AUS-arbeid og arbeid som brannvesenet gjør i forbindelse med uønskede hendelser. Dette kapitlet er ment for å gi en oversikt over disse. Forskjellen på lovverk og normer er at lovverk er juridisk bindende, mens normer ikke er det. Figur 26 skisserer forskjellen med å farge det som er juridisk bindende rødt og det som ikke er juridisk bindende grønt. [52]



Figur 26 DSB: Skisse av hierarkiet til lovverket i Norge

7.1 Lovverk

Lover og forskrifter er som nevnt juridisk bindende, der lover er høyest rangert og forskriftene er forankret i lovene. Hvor detaljerte lover og forskrifter er, varierer i stor grad [52]. I tillegg til lovverk presentert under, gjelder arbeidsmiljøloven for alle virksomheter som sysselsetter arbeidstaker. [53]

7.1.1 Lovverk som omfatter arbeider på elektrisk anlegg

El-tilsynsloven [54] omfatter alle elektriske anlegg og alt elektrisk utstyr. Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg [55] er hjemlet i El-tilsynsloven, og beskriver arbeid i eller ved elektriske anlegg. Andre relevante forskrifter i forbindelse med problematikken i denne studien er Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg [56] og Forskrift om elektroforetak [57].

7.1.2 Lovverk gjelder ved brann i bygning

Brannvesenet blir omtalt i Brann- og eksplosjonsvernloven [15]. I sammenheng med problematikken i denne studien er dimensjoneringsforskriften [14] relevant. Det er en forskrift med hjemmel i Brann- og eksplosjonsvernloven, som beskriver blant annet dimensjonering av beredskapen i forskjellige kommuner.

7.2 Normer

Veiledninger har som hensikt å forklare lover og forskrifter, men er ikke juridisk bindende. Enkelt forklart er dette forslag til hvordan lov- eller forskriftskrav med sikkerhet oppfylles. Videre er en standard en mer detaljert teknisk spesifisering, ofte viser veiledninger til standarder. Dette kan for eksempel være krav til synbarhet for en som jobber langs en vei med stor hastighet. Standarder er som veiledninger, ikke juridisk bindende. Det er likevel viktig å påpeke at selv om normer gir rom for andre løsninger, er de ment for å vise hvordan lov- og forskriftskravene kan oppfylles. Valgte løsninger utenfor normene må dokumenteres at er minst like gode som de anerkjente normene. [52] [58]

7.2.1 Normer elektriske arbeider

De tre nevnte forskriftene i kapittel 7.1.1 har tilhørende veiledninger. Disse er fremtredende som normer for arbeid i eller ved elektriske anlegg. Veiledningen til [56] beskriver hvordan det skal utføres arbeider på elektriske anlegg og hvordan forskriftskrav kan opprettholdes. De viser også til en rekke normer som detaljert beskriver hvordan sikkerhetskrav kan opprettholdes. DSB gir også ut et informasjonsblad, der det blant annet blir gjort rede for tolkninger av regelverk som er uklart. Informasjonsbladet kan benyttes på lik linje med andre normer. Relevante normer i forbindelse med problematikken i denne studien er følgende:

- IEEE 1584-2018 Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations [8]
- NEK EN 50110-1:2013 Sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg – Del 1: Generelle krav [48]
- NEK IEC 61482-2:2018 Protective clothing against thermal hazards of an electric arc – Part 2: Requirements [59]
- NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner [60]
- Elsikkerhet nr. 73 [61]
- Elsikkerhet nr. 84 [62]

7.2.2 Normer for innsattpersonell i brannvesenet

For innsattpersonell i brannvesenet, er det skrevet en veiledning tilhørende dimensjoneringsforskriften som kalles Veiledning om røyk- og kjemikaliedykking [21]. Veiledningen beskriver blant annet hvordan sikker røykdykkerinnsats kan utføres, og viser hva som skal til av vernetøy for at innsattpersonellets sikkerhet ivaretas. I beskrivelsen til vernetøy lister veiledningen opp forskjellige måter å verifisere at verneutstyret er godt nok. Nedenfor er det listet opp forskjellige standarder veiledningen viser til for de ulike plaggene.

- NS-EN 469:2020 Vernetøy for brannmannskap [63]
- NS-EN ISO 20471:2013 Svært synlig vernetøy [64]
- NS-EN 659:2003+A1:2008 Vernehansker for brannvesen [65]
- NS-EN ISO 20344:2011 [66] og NS-EN ISO 20345:2011 del 1 og 2 Personlig verneutstyr – fottøy [67]

7.3 Funn i regelverk

I dette underkapitlet vil funn av relevant regelverk bli presentert. Regelverk er presentert på en slik måte at loven kommer først som underoverskrift, for så å presentere tilhørende forskrifter, før tilhørende normer blir presentert til slutt. Funn i regelverk er videre diskutert i kapittel 8. Følgende regelverk er presentert i kapittel 7.3:

- **El-tilsynsloven**
- Forskrift om elektroforetak (FEK)
- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)
- *NEK 400*
- Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg (FSE)
- *NEK 50110*
- *NEK 61482*
- *IEEE 1584*
- **Brann- og eksplosjonsvernloven**
- Forskrift om organisering av brannvesen
- *Røykdykkerveiledningen*
- *NS 20471*
- *NS 659*
- *NS 20344*
- *NS 20345*
- *NS 469*
- **Arbeidsmiljøloven**

7.3.1 Funn i El-tilsynsloven [54]

El-tilsynsloven gir hjemmel til relevante forskrifter som er presentert nedenfor. I selve loven er det likevel ikke paragrafer som direkte berører problemstillingen.

7.3.1.1 Funn i FEK [57]

Forskrift om elektroforetak beskriver hvilke kvalifikasjoner som behøves for å gjøre forskjellige typer elektriske arbeider. Forskriften gjelder alle foretak som utfører arbeid på elektriske anlegg, og setter krav til foretaket, blant annet skal det være en ansatt i bedriften som har det faglige ansvaret. Vedkommende skal, i følge forskriftens § 7, minimum ha relevant fagskoleutdanning og tre års relevant arbeidspraksis etter endt utdanning. Når et foretak utfører arbeid knyttet til elektriske anlegg, utløses det flere krav for å oppnå tilfredsstillende elsikkerhet.

Det er også beskrevet hvilke elektriske arbeider som kan gjøres av ufaglærte personer. § 6 i forskriften lyder som følger:

«Ufaglærte kan utføre mindre arbeider på elektriske anlegg dersom dette utføres på sikkerhetsmessig måte».

Dette åpner for at personell ikke er nødt til å være elektriker for mindre elektriske arbeider. I veiledningen til forskriften er dette leddet beskrevet videre. Der står det at med mindre arbeider på elektriske anlegg, menes tilkobling og skifting av topolde plugger opptil 25 A eller tilkobling og skifting av topolde skjøteledninger og apparatkontakter til og med 16 A.

7.3.1.1.1 Elsikkerhet nr. 73 [61]

Innen elektrofaget benyttes uttrykket «instruert personell», og er definert av DSB i informasjonsbladet Elsikkerhet nr. 73. Bladet definerer «instruert personell» eller «instruerte personer» som en person som har fått opplæring til å gjøre enkelte arbeider med lav kompleksitet ved elektriske anlegg. Det kan for eksempel være en opplært vaktmester som skifter en sikring. Behovet for å ha instruerte personer blir beskrevet i [61], og er å opprettholde nødvendig drift inntil elektrofagpersoner ankommer. [61] definerer en «instruert person» på følgende måte:

«En instruert person er tilstrekkelig instruert slik at vedkommende er i stand til å oppfatte risiko og til å unngå fare som følge av elektrisitet».

Dersom en virksomhet skal benytte «instruerte personer», skal behovet dokumenteres. Denne dokumentasjonen kan det leses mer om i [61]. I tillegg til dette beskriver [61] at følgende må være i orden:

- Det skal foreligge en skriftlig instruks som klart beskriver omfanget av det arbeidet som den instruerte personen kan utføre.
- En sakkyndig person skal forsikre seg om at den instruerte personen er i stand til å etterleve kravene som gjelder for «instruert person».
- Den nedfelte instruks og kravet om å gi instruksjon skal være omfattet av virksomhetens internkontrollsystem eller av andre juridiske avtaler som er bindende for den sakkyndige personen.
- Den sakkyndige personen og den instruerte personen behøver ikke være ansatt i samme virksomhet.

[61] sier også at «instruerte personer» skal gis årlig opplæring og følges opp av sakkyndig person, som beskrevet i [55]. Det er i tillegg et krav til eier av anlegget om å ha rutiner som regulerer hvem som gis adgang til det elektriske anlegget. Den skriftlige instruks skal også inneholde bruken av personlig verneutstyr.

7.3.1.1.2 Elsikkerhet nr. 84 [62]

Det er gjort flere oppklaringer rundt «instruert person» i [62]. Det er blant annet presisert at en «instruert person» ikke er regulert gjennom FEK, og at bruken av «instruert personell» i en virksomhet ikke påvirker ikrafttreden av denne forskriften.

7.3.1.2 Funn i FEL [56]

FEL er en forskrift som har som formål å oppnå forsvarlig sikkerhet rundt lavspenningsanlegg. Forskriften beskriver hvilke krav som stilles til et lavspenningsanlegg, deriblant forteller § 32 følgende:

«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».

Det er altså satt krav til at anlegget skal merkes på en måte slik at personer kan kjenne igjen forskjellige deler av anlegget. Dette inkluderer merking av vekselretter i tillegg til kabler på både likestrøm- og vekselstrømsiden i et solcelleanlegg.

7.3.1.2.1 Funn i NEK 400 – Elektriske lavspenningsinstallasjoner [60]

NEK 400 er en norm som beskriver elektriske lavspenningsinstallasjoner og hvordan disse skal prosjekteres, utføres og verifiseres. Dette omfatter blant annet solcelleanlegg. NEK 400 er en stor norm, og flere av punktene er relevante til problemstillingen. Det er likevel valgt å presentere kun det som berører problemstillingen direkte. Fra juli 2018 kom det krav om at alle solcelleanlegg skulle merkes, punkt 712.514.1.101 omhandler sikkerhetsmerking, og sier følgende:

«Det er viktig å merke en bygning når det er installert en solcelleinstallasjon på den. Det skal festes skilt ved leveringspunktet for den elektriske installasjonen, ved måler når den er plassert fjernt fra leveringspunktet, ved forbrukerenheten eller fordelingstavle som solcelleformerer er koblet til, ved bygningens brannorienteringsplan og lett synlig ved inngangsparti til bygningen».

Det er gitt eksempel på hvordan denne merkingen skal se ut, denne er vist i Figur 27. Det er også satt krav til at det skal merkes på DC-siden der det er tilgang til spenningsførende deler, fordi disse kan være spenningsførende også etter frakobling. Denne merkingen er vist i Figur 28.



Figur 27 NEK 400 [47]: Merking på bygning hvor det er installert en solcelleinstallasjon



Figur 28 NEK 400 [47]: Merking på DC-siden i et solcelleanlegg

NEK 400 setter også krav til at det anordnes utstyr for frakobling på både AC og DC-siden av vekselretteren.

7.3.1.3 Funn i FSE [55]

Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg er i motsetning til FEL, ikke rettet mot selve anlegget, men heller mot arbeidet som gjøres i forbindelse med elektriske anlegg. Formålet til forskriften er å ivareta sikkerheten ved arbeid på eller ved, i tillegg til drift av elektriske anlegg. Den beskriver etablering av sikkerhetstiltak ved arbeid på frakoblet anlegg og arbeid under spenning. § 14 i forskriften lyder som følgende:

«Ved arbeid på frakoblet anlegg skal følgende sikkerhetstiltak gjennomføres: frakobling, sikring mot innkobling, kontroll av at anlegget er spenningsløst, på bakgrunn av en risikovurdering vurderes behov for og eventuelt etablere nødvendig jord- og kortslutning og eventuelt beskyttelse mot andre spenningsatte deler nær arbeidstedet».

Det er også beskrevet AUS arbeider i § 16:

«Personell som arbeider under spenning skal ha tilstrekkelig opplæring i dette og arbeidet skal utføres etter anerkjente metoder og relevante arbeidsprosedyrer».

I veiledningen til § 16 står det videre at all personell må inneha dokumentert nødvendig tilleggsopplæring, og at det må utføres arbeidsprosedyrer for arbeidsmetoder for det enkelte arbeidsoppdrag. Det skiller i forskriften på om det skal arbeides på frakoblet anlegg og under spenning, og i § 17 settes det krav til arbeid i nærheten av spenningsatte deler:

«Ved arbeid nær ved spenningsatte elektriske anlegg skal følgende sikkerhetstiltak etableres: markering av sikkerhetsavstand og etablering av avskjerming og/eller avsperringer. Dersom sikkerhetstiltakene nevnt ovenfor ikke kan gjennomføres fullt ut, må annen arbeidsmetode benyttes».

Det er også beskrevet i § 10 i forskriften at arbeidet skal planlegges. Det innebærer en vurdering av i hvilket omfang verneutstyr skal benyttes. § 2 beskriver virkeområdet til forskriften, og beskriver dette som alt av arbeid som gjelder for arbeid på eller nær ved elektriske anlegg. I veiledningen til sistnevnte paragraf presiseres det at en «instruert person» vil omfattes av relevante krav i FSE i sitt arbeid. Forskriften presiserer videre i veiledningen til § 3 at virksomheter som kun benytter «instruert personell» ikke omfattes av virkeområdet til FSE.

7.3.1.3.1 Funn i NEK 50110 – Sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg [48]

NEK 50110 er en norm skrevet for å beskrive hvordan sikkerheten ved arbeid i og drift av elektriske anlegg kan opprettholdes. I punkt 4.6 gis det eksempler på hvilke verktøy, utstyr og innretninger som skal vurderes benyttes. Dette innebærer blant annet isolerende sko/støvler og hansker, vernebriller/visir, hjelm, beskyttende bekledning, isolerende verktøy og spenningstestere.

Punkt 6.2 gir en beskrivelse av hvordan arbeid på frakoblet anlegg bør foregå, og innebærer fem sikkerhetstiltak:

- fullstendig frakobling
- sikring mot innkobling
- kontroll av at driftsspenningen er frakoblet
- jord- og kortslutning
- beskyttelse mot spenningsatte deler nær ved arbeidsstedet

Det er presisert i punkt 6.2.5.2 at kravet om jording og kortslutning bortfaller ved lavspenningsanlegg. Videre er AUS arbeider omtalt om punkt 6.3. Det gis en rekke retningslinjer til hvordan dette skal foregå.

Det innebærer blant annet at arbeidstager skal ha begge hender fri under arbeidet, at det skal iverksettes beskyttelsestiltak for å hindre elektrisk sjokk og kortslutning, og at det skal foreligge prosedyrer som beskriver hvorledes verktøy, utstyr og innretninger skal holdes i god stand. Det settes også krav til opplæring av personell, og vedlikehold av denne kompetansen.

Punkt 6.3.4 gir tre forskjellige typer anerkjente arbeidsmetoder for AUS arbeid.

1. Isolerstangmetoden: Arbeidstager holder seg på avstand fra spenningsatte deler og arbeidet utføres med isolerstenger
2. Hanskemetoden: Arbeidstagers hender er beskyttet med isolerende hansker og eventuelt isolerende ermer
3. Barhåndsmetoden: Arbeidstager utfører arbeidet i direkte berøring med spenningsatte deler og befinner seg på samme potensial/spenning, isolert fra omgivelsene

Punkt 6.3.10 gir lettelse på krav ved AUS-arbeid for lavspenningsanlegg, der kravene er begrenset til å benytte isolerende avskjerminger mot nærliggende spenningsatte deler, isolerende verktøy og egnet personlig verneutstyr.

I B.6 er det beskrevet fare for lysbuer. Det største faremomentet ved en lysbue, er den termiske effekten, som igjen avhenger av den elektriske energien i lysbuen. I tillegg til dette må det vurderes farer for sjokkbølge og metallfragmenter, høye verdier av elektromagnetisk stråling, akustisk smell og giftige gasser/partikler som genereres ved smelting av materialer i området rundt lysbuen.

7.3.1.3.2 Funn i NEK 61482 – Vernebekledning mot termiske farer ved lysbuer [59]

NEK 61482 er en norm som beskriver hvilken vernebekledning som skal benyttes for å beskytte arbeidere mot termiske farer ved lysbuer. Denne normen har en rekke punkter som berører problemstillingen, de viktigste er presentert under.

«Bekledning til overkropp skal ha lange ermer med forlengelse til å beskytte håndledd, og helt opp til nakke. Bekledning til nedre del av kropp skal gi beskyttelse fra livet og ned til ankene. Overdel skal overlape underdel og det ytre skallet av bekledning skal være flammehemmende.»

«Materialer i bekledning skal være varmemotstandsdyktige. Materialer i bekledning som har elektrisk ledende fibre skal ha en elektrisk motstand på 100 k Ω . Alle materialer i bekledning skal ha en begrenset flammespredningsindeks.»

«Ytre skall av bekledning skal tåle en viss mekaniske påkjenning. Det skal tåle å treffe skarpe kanter og bli revet i. Det skal ikke sprekke opp. Det skal tåle den termiske påkjenningen som kan komme av en elektrisk lysbue.»

«Beskyttende bekledning skal ha en minimum beskyttelse mot lysbuer. Dette vil si ATPV-verdi på minst 4 cal/cm².»

Det er også oppgitt verdier til hver enkelt egenskap i [59], som kan finnes ved hjelp av testing. Det er ikke funnet andre krav til vern mot lysbuer enn de egenskaper som kommer frem i denne studien.

7.3.1.3.3 Funn i IEEE 1584 – Guide for performing arc-flash hazard calculations [8]

IEEE 1584 er en anerkjent norm som beskriver hvordan utregninger av farer ved lysbuer skal utregnes. Normen inneholder flere punkter som beskriver beregning, men likevel ikke noe annet som er vesentlig til denne studien. Ved hjelp av denne normen kan det tallfestes risiko ved lysbuer, så i forbindelse med denne studien er det beregningene som denne normen kan produsere som er interessant. Beregninger fra IEEE 1584 er presentert i kapittel 6.6.

7.3.2 Funn i Brann- og eksplosjonsvernloven [15]

Brann og eksplosjonsvernloven har som formål å verne liv, helse, miljø og store materielle verdier mot brann og eksplosjon. Den gir også kommuner plikt om etablering og drift av et brannvesen som kan ivareta forebyggende og beredskapsmessige oppgaver. Loven gir også hjemmel til forskrifter som berører brannvesenet, deriblant brannvesenets oppgaver. Det er også beskrevet i § 9 i loven:

«Kommunen skal gjennomføre en risiko- og sårbarhetsanalyse slik at brannvesenet blir best mulig tilpasset de oppgaver det kan bli stilt ovenfor».

Hensikten med risiko- og sårbarhetsanalysen er å sørge for at brannvesenet har utstyr og kompetanse til de oppgaver de kan komme ut for.

7.3.2.1 Funn i Forskrift om organisering av brannvesen [14]

Forskrift om organisering av brannvesen stiller en rekke krav til hvordan et brannvesen skal organiseres og dimensjoneres. Den stiller i § 7-1 blant annet krav til antall personell for forskjellige arbeidsoppgaver, innsatstider og kompetanse:

«Det skal gjennomføres praktiske og teoretiske øvelser med slik hyppighet, omfang og innhold at personellens kompetanse blir vedlikeholdt og utviklet slik at den er tilstrekkelig til at brannvesenet kan løse de oppgaver det kan forventes å bli stilt ovenfor».

§ 4-9 handler om røyk- og kjemikaliedykking, og deler av paragrafen lyder som følger:

«Før røyk- og kjemikaliedykking iverksettes, skal personellens sikkerhet ved gjennomføring av innsatsen være vurdert».

Disse paragrafene fører til at brannvesenets personell er lovpålagt å inneha den kompetanse som er nødvendig for å utføre rednings- og slokkeinnsats. I tillegg skal personellens sikkerhet ivaretas og vurderes før enhver innsats. For at denne vurderingen skal kunne finnes tilfredsstillende, er de nødt til å inneha kompetanse om utfordringer og risiko i sammenheng med det oppdraget de står ovenfor.

7.3.2.1.1 Funn i Røykdykkerveiledningen [21]

Røykdykkerveiledningen gir en rekke beskrivelser om hvordan røyk- og kjemikaliedykking kan utføres på en sikker måte. Dette innebærer blant annet helse, kondisjon og forhold mellom høyde og vekt til røyk- og kjemikaliedykkere. I tillegg beskrives selve røykdykkerinnsatsen, samband, kvalifikasjoner med mer. Det er i denne veiledningen beskrevet hvordan vernetøyet til en røykdykker skal være, og henviser nærmere til normene under. Det presiseres at røykdykkerbekledning vil i de fleste brann- og redningssituasjoner gi innsatspersonell tilstrekkelig beskyttelse, dette er unntatt hendelser hvor farlige kjemikalier inngår. Det er også beskrevet at røykdykker skal benytte hjelm, og at hjelmen skal ha hjelmvisir.

7.3.2.1.2 Funn i NS 20471 – Svært synlig vernetøy [64]

NS 20471 er en norm for hvor synlig arbeidstøy skal være. Det er blant annet delt inn i forskjellige klasser, der høy risiko forbindes med høy grad av synlighet. Normen gir en rekke detaljer, men ikke noe som berører problemstillingen direkte.

7.3.2.1.3 Funn i NS 659 – Vernehansker for brannvesen [65]

Hansker er en viktig del av verneutstyret til brannvesenet og NS 659 beskriver hvilke egenskaper de skal ha. For eksempel skal en med håndsstørrelse 9 ha en 29 cm lang hanske, for å ivareta tilstrekkelig beskyttelse av händledd. Det er også satt krav til følgende under forventede forhold i en bygningsbrann:

«Hanskene skal være slitesterke, tåle å treffe skarpe kanter og bli revet i. De skal ikke sprekke opp, bli punktert eller brenne. De skal også være varmeisolerende, og motstå varme fra varmestråling, varmekonveksjon og varmeledning.»

«Hanskene skal heller ikke avgi brennende dråper, smelte, antenne, krympe mer enn 5% og de skal være smidige.»

«Hanskene skal være vannavvisende og ikke bli penetrert av kjemisk flytende stoffer.»

7.3.2.1.4 Funn i NS 20344 og NS 20345 – Personlig verneutstyr, fottøy [66] [67]

NS 20344 og NS 20345 er normer som beskriver hvilke egenskaper fottøy skal ha. Disse normene beskriver hele fottøyet og egenskaper som for eksempel vanntetthet, ergonomisk utforming og varmeisolasjonsevne. Det er også spesifisert at fottøyet skal ha elektrisk motstand.

7.3.2.1.5 Funn i NS 469 – Vernetøy for brannmannskap [63]

NS 469 beskriver vernetøy for brannmannskap. Normen stiller blant annet krav til at vernetøyet skal tåle mekaniske påkjenninger og at det skal være varmeisolerende. Det viktigste i forhold til problematikken i denne studien er presentert under.

«Brannmannskaps vernetøy skal være designet på en måte at det beskytter overkropp, nakke og armer til händledd, og livet til ankler under brannsløkking.»

«Brannmannskaps vernetøy skal være varmeisolerende mot både varmestråling og varme fra flammer. Vernetøyet skal også tåle mekaniske påkjenninger som å treffe skarpe kanter og bli revet i, dette skal ikke føre til at vernetøyet mister sine egenskaper.»

«Vernetøyet skal ha svært gode egenskaper mot termiske påkjennelser, samtidig som det skal synes og være vannavvisende. Materialer benyttet til vernetøyet skal være flammehemmende og ikke bli penetrert av kjemisk flytende stoffer.»

7.3.3 Funn i Arbeidsmiljøloven [53]

Arbeidsmiljøloven er en stor og omfattende lov som gjelder alle virksomheter som sysselsetter arbeidstakere, og setter også krav til arbeidstakere. § 1-1 handler om lovens formål, og paragrafens bokstav a) lyder som følgende:

«Sikre et arbeidsmiljø som gir grunnlag for en helsefremmende og meningsfylt arbeidssituasjon, som gir full trygghet mot fysiske og psykiske skadevirkninger, og med en velferdsmessig standard som til enhver tid er i samsvar med den teknologiske og sosiale utvikling i samfunnet».

Det fører til at det skal etterstrebtes at ethvert arbeidssted skal ta høyde for den teknologiske utviklingen i samfunnet.

7.4 Svar fra høringsrunder

I forbindelse med innsamling av regelverk ble det foretatt høringsrunder hos sakkyndige. Svarene som fremkommer i høringsrundene, tilsier at relevant regelverk i forbindelse med problematikken i denne studien er gjort rede for.

8 Diskusjon

For at brannvesenet skal utføre sine arbeidsoppgaver effektivt og trygt, er det helt avhengig av både kompetanse, godt verneutstyr og praktiske øvelser. Brannvesenet utfører arbeidsoppgaver som er betydningsfulle i forhold til liv, helse, miljø og store materielle verdier. Disse oppgavene bør etterstrebtes å utføres så effektivt som mulig.

I dag blir stadig flere solcelleanlegg installert rundt om i landet. Solcelleanlegg fører med seg noen nye problemstillinger for brannvesenet og deres slokkeinnsats. Som beskrevet kan disse problemstillingene og hvordan brannvesenet er beredt til å håndtere dem, føre til store konsekvenser. Av den grunn påpekes viktigheten av at utfordringene brannvesenet har ved solcelleanlegg blir gjort rede for så raskt som mulig.

I Norge i dag har brannvesenet en veileder fra Solenergiklyngen å forholde seg til. Denne gir god informasjon, men kommer ikke helt i mål for å gi brannvesenet den kunnskapen de trenger. Det er ikke beskrevet hvorvidt livreddende innsats kan utføres eller ikke, og det er ikke gitt forslag til løsning på hvordan brannvesenet kan utføre hulltaking i konstruksjoner. Dette er avgjørelser brannvesenet kan være nødt til å ta under ekstremt tidskritiske situasjoner. Derfor må kompetanse og nødvendige øvelser på plass snarest mulig. Dagens løsning som innebærer å ta tre steg tilbake med spredt vannstråle er ikke et holdbart alternativ i denne sammenheng.

Ut fra diskusjoner, drøftinger og redegjørelser som er gjort i dette kapitlet, er det skrevet et forslag til en ny arbeidsprosedyre ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner.

8.1 Er livreddende innsats trygt ved solcelleanlegg?

Ved en bygningsbrann er den viktigste første oppgaven å gjøre rede for hvorvidt det er savnede personer eller dyr i bygningen. Hvis det ikke kan bekreftes at byggverket er tomt for personer eller dyr, er første prioritet å redde liv, og livreddende innsats iverksettes inntil bygget kan bekreftes tomt. Livreddende innsats utføres med røykdykkere og primært med søk etter personer. Det er mindre fokus på brannslukking. Målet er å gjøre innsatsen så effektiv som mulig, enten ved å lokalisere personer eller dyr og redde de, eller ved å søke gjennom byggverket for å bekrefte at det er tomt.

Arbeidet som gjøres ved en livreddende innsats, er som beskrevet, å gjennomføre søk. Det er lite slokking og blir ikke brukt tid på hulltaking. I tillegg gjøres innsatsen innvendig i byggverket, og kabelføringen til solcelleanlegget er enten skjult i hulrom eller på utsiden av konstruksjoner.

Derfor finnes det ikke vesentlige forskjeller i risikovurderingen for røykdykkere og innsatspersonell i forhold til solcelleinstallasjoner i denne fasen av en innsats. Risikoen for strømgjennomgang og lysbuer er vesentlig større i bygningens 220 V anlegg. Risikoen for andre farer, som for eksempel sammenrasning av bygninger med mer, vil også alltid være der. Dette er noe brannvesenet vurderer fortløpende i løpet av slik hendelse. Det er likevel ikke noen forskjell på risikovurderingen brannvesenet er nødt til å gjøre ved en livreddende innsats i bygninger der det er solcelleinstallasjoner, sammenlignet med andre bygningsbranner.

Det er også naturlig å trekke inn nødrett. I tillegg til at denne fasen av en innsats isolert sett ikke utgjør noen større fare ved solcelleinstallasjoner, er det også viktig å ta i betraktning at det er liv som skal reddes. Samlet sett trenger brannvesenet ikke å ta hensyn til solcelleinstallasjoner i forbindelse med livreddende innsats, og dette kan utføres som normalt.

8.2 Verneutstyr til brannmann i forhold til elsikkerhet

Krav til verneutstyr ved elektrisk arbeid er noe ulikt kravet til verneutstyr hos en brannmann. Det er logisk, med tanke på at det er ulike risikomomenter i arbeidsoppgavene de utfører.

FSE pålegger at verneutstyret skal være vurdert på forhånd av ulike typer elektriske arbeider. Det er ikke forskriftsfestet hva slags verneutstyr som skal benyttes, eller i hvilken grad. Det gjør normen NEK 50110. Dette innebærer isolerende sko/støvler og hansker, vernebriller/visir, hjelm og beskyttende bekledning. Hensikten er å unngå strømgjennomgang og vern mot andre elektriske farer.

Det er også beskrevet at det må vernes mot lysbuer, der den termiske effekten til lysbuen er det største faremomentet. Den termiske effekten avhenger av den elektriske energien til lysbuen. I kapittel 6.6 er det gjort noen beregninger av hendelsesenergien til en lysbue og den elektriske effekten i et solcelleanlegg. Det er beregnet en effekt opptil 15 kW, til sammenligning med 460 kW i et vanlig sikringsskap i et hus. Den termiske effekten til en lysbue i et solcelleanlegg er altså vesentlig mindre enn et vanlig sikringsskap i en bolig.

Hendelsesenergien til en lysbue som kan forekomme i et solcelleanlegg ble beregnet til rundt 15 cal/cm². Denne verdien er framkommet med langt høyere verdier enn hva som er reelt, da strømstyrke benyttet i beregningen er 700 A. I et solcelleanlegg er vanligvis maksimal kortslutningsstrøm 10 A. Videre til sammenligning har en tynn ulltrøye fra Devold som er eksemplifisert i Figur 25 en ATPV-verdi på over 6 cal/cm². Ytterjakken på Figur 23 har en ATPV-verdi på nesten 50 cal/cm², og de isolerende hanskene på Figur 24 har en ATPV-verdi på over 70 cal/cm². De isolerende hanskene er klassifisert til å beskytte mot spenninger på 1000 V AC og 1500 V DC. NEK 61482 sier at beskyttende bekledning skal ha en minimum ATPV-verdi på 4 cal/cm², noe som er lavere grad av beskyttelse, enn det er tatt høyde for i dette kapitlet.

Spørsmålet er hvorvidt brannvesenets verneutstyr allerede gir beskyttelse mot lysbuer og andre elektriske farer. For AUS arbeider, er det beskrevet i normen NEK 50110 at hanskemetoden er en av tre anerkjente metoder for arbeidsutførelse. Dette baserer seg på isolering fra spenningsførende deler med isolerende hansker. Dersom brannvesenet benytter 1000 V-hansker, er de beskyttet mot både de strømgjennomganger og lysbuer som kan forekomme ved et solcelleanlegg på hendene.

Utrykningstøyet til brannvesen er ikke testet mot ATPV-verdi. ATPV-måles ut fra den termiske faren en lysbue har, og skal ikke forveksles med at den måles for å tåle elektriske strømmer. Det vil si at lysbue i hovedsak gir risiko høy varme, og for at personell kan bli utsatt for dette. Av den grunn kan det antas med relativt stor sannsynlighet at utrykningstøyet er mer enn godt nok, sett i sammenheng med hendelsesenergien i en verst tenkelig lysbue i et solcelleanlegg. Utrykningstøyet er i hovedsak ment til å gi vern mot høy varme, og vil sannsynligvis ha like stor ATPV-verdi som jakka til Wenaas på Figur 23. Utreget hendelsesenergi fra lysbue i solcelleanlegg er 15 cal/cm². Det er godt under en tredjedel av hva jakka fra Wenaas tåler. Materialer i utrykningstøy er heller ikke lagd av elektrisk ledende fibre.

Videre er det krav til vernebriller eller visir og hjelm. Brannhelmen som benyttes i brannvesenet, er standard verneutstyr for en brannmann. Hjelmen har også innebygd vernevisir da NS 469 krever dette. Dette vil si at brannvesenet allerede innehar godt verneutstyr i forhold til hva NEK 50110 krever til arbeid på elektriske anlegg.

8.3 Kan innsatspersonell i brannvesenet lovlig gjøre et solcelleanlegg spenningsløst under en bygningsbrann?

Arbeid på et solcelleanlegg er elektriske arbeider. Elektriske arbeider er regulert gjennom diverse forskrifter og normer som er nevnt i denne studien. Blant annet regulerer FEK hva som kreves av et foretak som utfører elektriske arbeider. Dersom et foretak faller inn under forskriften utløses en mengde krav til både kompetanse og organisering.

FEK åpner likevel opp for at ufaglærte kan utføre mindre arbeider på elektriske anlegg. Det er i veiledningen til FEK beskrevet at med mindre arbeider menes blant annet skifting av topolede plugger opptil 25 A. I et solcelleanlegg er det enpolede plugger, og under 25 A. Det er kun frakobling som er aktuelt for brannvesenet, og i skifting inngår frakobling. Dette krever likevel at det er en faglig ansvarlig i firmaet som skriver instruks til arbeid som skal utføres av ufaglærte. Det stilles videre relativt omfattende krav til den som er faglig ansvarlig.

Forskriften er i utgangspunktet ment for å tilfredsstillere et sikkerhetsnivå på elektriske arbeider. Dersom beskrivelsene av ufaglærtes spillerom i forbindelse med elektriske arbeider legges til grunn, sier forskriften i grunnen at dersom det er lav strømstyrke, enkle komponenter og arbeidet er relativt lite komplekst, kan personell være ufaglært og fortsatt gjøre arbeidet trygt.

I praksis bør andre arbeider, med samme kompleksitet og risiko da også kunne gjøres trygt. Er frakobling av kabler i et solcelleanlegg med 10 A kortslutningsstrøm lik eller mindre komplekst enn skifting av plugger? Strømmen er også lavere enn veiledningen til FEK setter som grense. Forskjellene ligger ved andre krav som stilles av FEK til selve virksomheten.

Uttrykket «instruert personell» i FSE betyr at det i enkelte tilfeller kan gjøres arbeid i elektrisk anlegg, uten at FEK trer i kraft for virksomheten de er ansatt i. Informasjonsbladet *Elsikkerhet* fra DSB gjør rede for begrepet «instruert personell» [61] [62]. Bladet beskriver at «instruert personell» er tilstrekkelig instruert til å oppfatte risiko og unngå fare som følge av elektrisitet. En virksomhet kan benytte seg av «instruert personell» dersom dette er hensiktsmessig og dokumentert. Det utløser også et krav om blant annet en skriftlig instruks for aktuelle arbeider fra en sakkyndig fagperson. Da trenger ikke den sakkyndige personen å være ansatt i samme virksomhet.

Eksempelvis kan en «instruert person» være en vaktmester. Da kan vaktmesteren gjøre enkelte beskrevne tiltak for å opprettholde nødvendig drift frem til en elektrofaglig person ankommer virksomheten.

[61] drar frem dokumentasjon de har mottatt fra brannvesenet om brannslukking i høyspentanlegg, og forteller at brannvesenet skriver i sin dokumentasjon at de er «generelt instruerte». Det er også standard rutine at brannvesenet har som oppgave å jorde kjøreledningen på jernbanen dersom det skjer en ulykke på eller i nærheten av denne. Det er standard rutine å spenningsprøve før det jordes, i tillegg til en bekreftelse fra jernbanepersonell at anlegget er frakoblet. Kjøreledningen på jernbanen innehar spenning på 15 000 V. Dette er mer enn ti ganger så høy spenning som et solcelleanlegg. For å kunne gjøre dette, er de pålagt et årlig kurs. Ettersom dette er arbeid i nærheten av elektriske anlegg, uavhengig av om anlegget er frakoblet, trår FEK i kraft. Hvis dette skal være lov, er brannvesenet nødt til å gå under definisjonen «instruert personell».

Dersom brannvesenet allerede er «instruert personell» i forbindelse med ulykker ved høyspentanlegget på jernbanen, kan det antas at det er en mulighet å definere brannvesenet som «instruert personell» i forbindelse med frakobling av solcelleinstallasjoner også. Det er krav om at det skal være nødvendig å opprettholde driftsfunksjoner for at en virksomhet skal kunne benytte seg av «instruert personell». Dersom brannvesenet må gjøre solcelleanlegg spenningsløst for å redde miljø og store materielle verdier, kan det antas at dette absolutt er nødvendig for driftsfunksjon.

For at brannvesenet eventuelt skal bli «instruerte personer» i forbindelse med frakobling av solcelleanlegg, er det nødt å gjøres tiltak slik at kravene som gjelder for «instruert personell» overholdes. For at brannvesenet skal være i stand til å oppfatte risiko og unngå farer som følge av elektrisitet rundt solcelleinstallasjoner, trenger de opplæring. Det kreves også at «instruert personell» blir tilført slik opplæring årlig av sakkyndig person. Dette har mange likhetstrekk med opplegget brannvesenet har i dag for å kunne jorde kjøreledningen på jernbanen. En sakkyndig person er også nødt til å skrive en skriftlig instruks til brannvesen. Instruksen skal være en del brannvesenets internkontrollsystem, og inneholde bruken av personlig verneutstyr ved arbeidsoppgavene.

8.4 Fare for støt og strømgjennomgang ved å nappe ut eller klippe kablene i et solcelleanlegg

Det er fare for støt dersom DC-bryter ikke er skrudd av, men uavhengig om DC-bryter er skrudd av er det fare for spenning. Ved bruk av vernetøy som beskrevet over, vil innsatspersonell i stor grad være beskyttet mot dette. Faremomentene ved ikke skrudd av DC-bryter, da det anlegget innehar både spenning og strømstyrke, er lysbuer og strømgjennomgang. Lysbuer gir ikke fare for strømgjennomgang, men utgjør heller en termisk fare, altså varme, da lysbuer innehar svært høye temperaturer. En brannmann som er kledd og har verneutstyr for å gå inn i et hus som brenner, er primært beskyttet for nettopp varme. Det gir av den grunn lite mening at brannmenn ikke er tilstrekkelig beskyttet mot lysbuer av det verneutstyret de allerede er ikledd.

Fare for strømgjennomgang er noe annet. Det er da viktig å ikke være minste motstands vei for strømmen. Dette kan oppnås ved 1000 V-hansker. Disse har så høy elektrisk motstand, at strømmen ikke vil kunne gå fra en leder til en annen, via disse hanskene. Dette kan forklares med Ohms lov. $U = R \times I$. Hvis motstand blir uendelig høy, er spenning eller strøm nødt til å bli uendelig liten. Det er den elektriske energien vi er redde for, og formelen for elektrisk energi per tid er $P = I \times U$. Når enten spenning eller strøm er uendelig liten, er effekten lik 0. Dette forklarer også hvorfor det ikke er fare for strømgjennomgang ved lysbuer. Det er for høy motstand til at lysbuen fra et solcelleanlegg kan gå fra en leder til en annen via en menneskekropp, spesielt med 1000 V-hanskene.

Ved godt opplært personell og presise instruksjer, burde frakobling av solcelleinstallasjoner kunne gjøres med relativt lav risiko.

8.5 Ny alternativ arbeidsmetode for brannvesenet vedrørende rednings- og sløkkeinnsats der det forekommer solcelleanlegg

Det er lagt ved et forslag til ny arbeidsmetode for brannvesen der det forekommer solcelleinstallasjoner i Vedlegg 1. Det er viktig å følge instruksene i arbeidsmetoden for at den skal være sikker, dette gjelder primært bruk av 1000 V-hansker og hjelmvisir. Dersom arbeidsområdet er i røykfullt miljø, er røykdykkermaske og fullstendig åndedrettsvern essensielt for vern mot røykgasser. Røykdykkermasker gir tilstrekkelig beskyttelse, og erstatter hjelmvisir i slike situasjoner, da denne er designet for å tåle svært høy varme. Så lenge positiv leder og negativ leder ikke kommer i kontakt, er det ikke fare for hverken lysbue eller strømgjennomgang, selv uten verneutstyr. Likevel skal verneutstyr benyttes for å minimere risiko. Det er mest hensiktsmessig at DC-bryter er skrudd av for å eliminere risikoen for lysbuer og at AC-delen av anlegget tilfører solcelleanlegget strøm.

9 Konklusjon

For at brannvesenet skal yte en effektiv og sikker innsats ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner, er de nødt til å ha kompetanse på området i tillegg til jevnlige, praktiske øvelser. Betydningen av et brannvesen som er godt rustet til de hendelsene som kan forekomme er svært stor. Hvis de ikke er det, kan det i ytterste konsekvens føre til tap av liv. Informasjon om hva brannvesenet skal foreta seg ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner, er per i dag mangelfull. Det brannvesenet har å forholde seg til i dag, er at de må ta avstand til solcelleinstallasjoner når de skal slukke. Dette kommer i stor grad i konflikt med effektiviteten til innsatsen, noe som ikke er holdbart. Av den grunn har det vært behov for videre utredninger om temaet.

Med tanke på elementer som er belyst i denne studien, peker det mot at brannvesenet ikke trenger å ta hensyn til solcelleinstallasjoner ved livreddende innsats. Det som skal reddes i denne fasen av innsatsen er av høyeste verdi, dette er nødt til å tas med i argumentasjonen. Ved røykdykkerinnsats inne i bygningen, er i tillegg bygningens 230 V-anlegg et større risikomoment for innsatspersonell i denne fasen av en innsats, enn den risikoen solcelleinstallasjoner utgjør.

Det er i denne studien diskutert lovverk og normer som berører temaet. Tolkning av dette kan være utfordrende. I tillegg er lovverk og normer så omfattende, at det er vanskelig å si om alt som berører temaet er fanget opp. Det er likevel grunn til å tro det meste er fanget opp da myndighetsorgan og eksperter på de ulike fagområdene er tatt med på høringsrunder for å verifisere at de ikke finner noe som mangler. Ut fra de funnene som er gjort i denne studien i både lovverk og anerkjente normer, kan det med stor sannsynlighet sies at brannvesenets vernebekledning er mer enn godt nok til å beskytte mot elektriske farer som kan forårsakes av et solcelleanlegg. Ut fra lovverk kan også brannvesenet gjøre frakobling av solcelleinstallasjoner selv, dersom de faller under definisjonen «instruert personell». Det kreves fortsatt oppklaring rundt dette.

Det er mulig at brannvesenet kan jobbe med rednings- og slukkearbeid med bruk av verneutstyret de har i dag, i tillegg til 1000 V-hansker, og ved bruk av gode arbeidsprosedyrer. Det innebærer å følge instruksjonen som er skrevet i Vedlegg 1. Dersom brannvesenet lovlig kan utføre arbeidsinstruksjonen i vedlegget, og benytter seg av denne arbeidsmetoden, kan de utføre innsatser ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner tilnærmet arbeidsprosedyrer for andre bygningsbranner.

Det fremkommer av arbeidet i denne studien at det er behov for utbedring av informasjon og veiledning til brannvesenet om hvordan de kan utføre sikker rednings- og slukkeinnsats ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner. De kan utføre denne innsatsen med vernebekledning de allerede besitter, i tillegg til 1000 V-hansker. Det er likevel nødt til å oppklares om de kan bli «instruert personell» ved frakobling av solcelleinstallasjoner ved bygningsbranner, i likhet med slik det arbeides når brannvesenet jorder kjøreledningen på jernbanen. Dersom dette oppklares av DSB, og brannvesenet kan oppfylle kravene til å bli «instruert personell», kan de få opplæring til å frakoble solcelleinstallasjoner selv. Dette vil være svært hensiktsmessig med tanke på effektiviteten til brannvesenets slukke- og redningsinnsats.

10 Forslag til videre arbeid og anbefalinger

Dette kapitlet omfatter forslag til videre arbeid angående temaet.

10.1 Ny alternativ arbeidsmetode for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner

Behovet for en ny arbeidsprosedyre for brannvesen er diskutert i denne studien. Dette er nødvendig da brannvesenet i dag ikke har en prosedyre på hvordan de skal forholde seg til solcelleinstallasjoner, ikke engang hvorvidt de kan utføre livreddende innsats.

Vedlegg 1 i denne oppgaven er et forslag til en ny praktisk veileder for brannvesen. Denne inneholder informasjon om solcelleanlegg og anbefalt arbeidsmetode. Dette er likevel muligens ikke en godkjent arbeidsmetode per i dag. Det anbefales at det så raskt som mulig gjøres rede for problematikk rundt arbeidsmetoden, slik at denne kan bli godkjent, eller at det utarbeides en ny arbeidsmetode.

For at arbeidsmetoden i Vedlegg 1 skal bli godkjent må det redegjøres for følgende:

- Kan brannvesenet være «instruert personell» i forbindelse frakobling av solcelleanlegg ved bygningsbrann?
- Lage et kurs som brannvesenet skal gjennom årlig som «instruert personell».
- Skrives instruks om arbeidsmetoden inkludert beskrivelse av verneutstyr, deriblant 1000 V-hansker.

10.2 Brannspredning i hulrom bak solcellepanel

Brannspredning via hulrom er en kjent problematikk. Dersom solceller benyttes som fasadekledning eller på tak med hulrom bak seg vil det skje en «skjult» brannspredning i disse hulrommene. For at brannvesenet skal lokalisere og bekjempe branner, er de avhengig av å kunne gjøre hull i konstruksjoner.

Det anbefales å se nærmere på brannodynamikken i forbindelse med brannspredning i disse hulrommene, da dette er nyttig informasjon til brannvesenet. Ettersom bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner er økende i markedet, er det også nødt til å utledes hvordan brannvesenet kan løse problematikken med hulltaking i disse. Kanskje kan det være verdt å endre regelverk slik at enhver leverandør er nødt til å integrere en løsning for brannvesenet i forbindelse med dette.

10.3 Videre informasjonsflyt til brannvesen om ny teknologi som utfordrer deres innsatsarbeid

Det kommer stadig nye teknologiske løsninger på markedet. Det er viktig at disse løsninger sees fra et helhetlig bilde, deriblant brannsikkerhet og sikkerhet for innsatspersonell. Det anbefales å etterstrebe å lage praktiske veiledere til brannvesenet på fremtidige teknologiske løsninger så tidlig som mulig.

Det er også viktig å påpeke at de praktiske veilederne må være fullstendige, og gi praktiske og konkrete løsninger. For eksempel vil ikke det «å ta tre skritt tilbake» ved en bygningsbrann være en tilstrekkelig løsning. Bare innenfor tema solenergi gjelder dette bygningsintegreerte solcelleinstallasjoner, solfangere, batteribanker i bygninger med mer.

Det må etterstrebes å komme med løsninger på beskrevne utfordringer så tidlig som mulig. Selv om det har kommet en praktisk veileder for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner i Norge, har ikke DSB utgitt noen. Til sammenligning har myndighetsorganet til brannvesenet i våre naboland gitt ut praktiske veiledninger til brannvesenet både i Sverige og Danmark. Viktigheten med dette understrekes ved at det i ytterste konsekvens kan føre til tap av liv, helse, miljø og store materielle verdier.

11 Bibliografi

- [1] Statistisk sentralbyrå, «Elektrisitet,» Desember 2020. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar> . [Funnet Februar 2021].
- [2] I. Mjønerud, «Solkraft - En voksende industri,» November 2019. [Internett]. Available: <https://xn--strm-ira.no/solkraft-en-voksende-industri>. [Funnet Februar 2021].
- [3] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Solkraft,» November 2019. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/solkraft/?ref=mainmenu>. [Funnet Januar 2021].
- [4] S. Grønmo, Samfunnsvitenskapelige metoder, Bergen: Fagbokforlaget, 2016.
- [5] M. Mehmetoglu, Kvalitativ metode for merkantile fag, Bergen: Fagbokforlaget, 2004.
- [6] O. Dalland, Metode og oppgaveskriving, Oslo: Gyldendal, 2020.
- [7] Solenergiklyngen, «Veileder om solenergi for brann- og redningsvesen,» Solenergiklyngen, Fornebu, 2020.
- [8] IEEE, «Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations,» Institute of Electrical and Electronics Engineers, New Jersey, 2018.
- [9] R. Stølen, R. F. Mikalsen og J. P. Stensaas, «Solcelleteknologi og brannsikkerhet,» RISE Fire Research, Trondheim, 2018.
- [10] R. F. Mikalsen, A. S. Bøe, K. Glansberg, C. Sesseng, K. Storesund, R. Stølen og A. W. Brandt, «Energieffektive bygg og brannsikkerhet,» RISE Fire Research, Trondheim, 2019.
- [11] P. G. Nordløkken, C. Sesseng og E. D. Wormdahl, «Energibesparende bygg og brannsikkerhet,» RISE Fire Research, Trondheim, 2016.
- [12] Beredskapsstyrelsen, «Vejledning om indsats i forbindelse med solcelleanlæg,» Beredskapsstyrelsen, Birkerød, 2016.
- [13] P.-O. Malmquist, «Operativ metodik vid insatser där det finns solcellsanläggningar,» MSB - Myndigheten för samhällsskydd og beredskap, Karlstad, 2019.
- [14] Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen, «Forskrift om organisering av brannvesen,» Desember 2013. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2002-06-26-729>. [Funnet Mars 2021].
- [15] Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver, «Brann- og eksplosjonsvernloven,» November 2020. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2002-06-14-20?q=brann%20og%20eksplosjonsvernloven>. [Funnet Januar 2021].
- [16] Bane Nor, «Internkontrollhåndbok for Høyspenningsanlegg - Instruks til brannvesen,» [Internett]. Available: <https://www.banenor.no/elkraft/ih/brann.html>. [Funnet Mars 2021].
- [17] G. Liebe, Brann i bygg, Oslo: Norsk brannvernforening, 2016.
- [18] DSB - Direktoratet for Samfunnssikkerhet og beredskap, «Brannstatistikk,» [Internett]. Available: <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/search>. [Funnet Februar 2021].
- [19] G. Liebe, Brannfysikk - fra teori til praksis, Oslo: Norsk brannvernforening, 2015.
- [20] B. G. Olsø og K. L. Friquin, «Byggforskdatablad 520.310: Brannspredning via fasader,» SINTEF byggforsk, Trondheim, 2019.

- [21] Veiledning om røyk- og kjemikaliedykking, «Røykdykkerveiledningen,» November 2005. [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/veiledning-om-royk--og-kjemikaliedykking/#roykdykkerinnsats>. [Funnet Februar 2021].
- [22] Ø. Grøn, «Elektrisk ladning,» Desember 2020. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_ladning. [Funnet Januar 2021].
- [23] Ø. Grøn, «Elektrisk strøm,» Desember 2019. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_str%C3%B8m. [Funnet Januar 2021].
- [24] Ø. Grøn, «Elektrisk spenning,» Desember 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_spenning. [Funnet Februar 2021].
- [25] J. Sandstad, «Resistans,» Juni 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/resistans>. [Funnet Februar 2021].
- [26] I. Gunvaldsen, «Likestrøm,» Februar 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/likestr%C3%B8m>. [Funnet Januar 2021].
- [27] J. Sandstad og Ø. Grøn, «Vekselstrøm,» Desember 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/vekselstr%C3%B8m>. [Funnet Januar 2021].
- [28] G. Stette, «Elektrisk krets,» Oktober 2017. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_krets. [Funnet Januar 2021].
- [29] K. Hofstad, «Elektrisk effekt,» Februar 2021. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_effekt. [Funnet Mars 2021].
- [30] K. Hofstad, «Elektrisk energi,» November 2017. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_energi. [Funnet Februar 2021].
- [31] Ø. Grøn, «Ohms lov,» November 2019. [Internett]. Available: https://snl.no/Ohms_lov. [Funnet Februar 2021].
- [32] K. A. Rosvold, «Elektrisk lysbue,» August 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/elektrisk_lysbue. [Funnet Januar 2021].
- [33] Wenaas, «Hva er elektrisk lysbue?,» [Internett]. Available: <https://www.wenaas.com/nb-no/vart-konsept/industri/hva-er-elektrisk-lysbue>. [Funnet Februar 2021].
- [34] Brannmann.no, «Elektrisitet og brannyrket,» Januar 1998. [Internett]. Available: <https://www.brannmannen.no/fagstoff/elektrisitet-og-brannyrket/>. [Funnet Februar 2021].
- [35] NBSK - Norges Brannskole, «Berøringsfare - Brann i elektriske installasjoner,» NBSK, Tjeldsund, 2020.
- [36] A. Aksdal, «Kortslutning,» Januar 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/kortslutning>. [Funnet April 2021].
- [37] Norsk Solenergiforening, «Solfangere,» [Internett]. Available: <https://www.solenergi.no/solvarme>. [Funnet Februar 2021].
- [38] J. Linder og J. Sandstad, «Fotoelektrisk effekt,» Juli 2018. [Internett]. Available: https://snl.no/fotoelektrisk_effekt. [Funnet Januar 2021].
- [39] K. Hofstad, «Solenergi,» September 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/solenergi>. [Funnet Februar 2021].
- [40] Norsk Solenergiforening, «Solceller,» [Internett]. Available: <https://www.solenergi.no/solstrm>. [Funnet Februar 2021].
- [41] I. Mjønerud, «Alt du bør vite om solceller og solenergi,» November 2019. [Internett]. Available: <https://xn--strm-ira.no/solceller-og-solenergi>. [Funnet Februar 2021].

- [42] Elmagasinet, «Solcelleanlegg må kunne slås av,» Oktober 2017. [Internett]. Available: http://www.elmagasinet.no/Nyheter/Vis/Solcelleanlegg_m-aring_kunne_sl-arings_av/8ca97619-ce5e-4502-82bc-37617469ccc1. [Funnet Mars 2021].
- [43] Solcellekysten, «Årlig strømproduksjon fra et solcellepanel,» Juni 2015. [Internett]. Available: <https://solcellekysten.no/2015/06/24/arlig-stromproduksjon-fra-et-solcellepanel/>. [Funnet Mars 2021].
- [44] Fjordkraft, «Strømforbruk i enebolig,» [Internett]. Available: <https://www.fjordkraft.no/strom/stromforbruk/enebolig/>. [Funnet Mars 2021].
- [45] O. Johansson, «Instruks for arbeid med DC-kabler til solcelleanlegg,» Solcellespesialisten, Fredrikstad, 2020.
- [46] O. Johansson, «Instruks utførelse - Frakobling av DC-kobling,» Solcellespesialisten, Fredrikstad, 2020.
- [47] O. Johansson, «Overordnet risikovurdering av el-risiko ift. solcellemontasje og DC-arbeider,» Solcellespesialisten, Fredrikstad, 2020.
- [48] NEK EN 50110-1:2013, «Sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg - Del 1: Genrelle krav,» Norsk Elektroteknisk Komite, Oslo, 2013.
- [49] Nobel fire systems, «Solar Panel Safety,» Juni 2016. [Internett]. Available: <https://nobel-fire-systems.com/fire-detection-and-suppression-products/solar-panel-fire-safety/>. [Funnet Februar 2021].
- [50] Wenaas Workware AS, «Gore-Tex Jakke Electric Arc,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.wenaas.com/nb-no/nettbutikk/gore-tex-jakke-electric-arc-fluoriserende-gulmarineblaa-0-56850-19819-3205#tab=en>. [Funnet Mars 2021].
- [51] Wenaas Workware AS, «Hanske Regeltex Flash & Grip,» [Internett]. Available: <https://www.wenaas.com/nb-no/nettbutikk/hanske-regeltex-flash--grip-roed-0-15410-1100-80#tab=description>. [Funnet Mars 2021].
- [52] DSB - Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Import og omsetning av elektriske produkter,» Mars 2016. [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/lover/produkter-og-forbrukertjenester/tema/import-og-omsetning-av-elektriske-produkter/#regelverk>. [Funnet Februar 2021].
- [53] Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv., «Arbeidsmiljøloven,» Juli 2005. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-62>. [Funnet Februar 2021].
- [54] Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr, «El-tilsynsloven,» Oktober 2015. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1929-05-24-4?q=eltilsynsloven>. [Funnet Januar 2021].
- [55] Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg, «Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg,» Juli 2006. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-04-28-458?q=sikkerhet%20ved%20elektriske%20anlegg>. [Funnet Januar 2021].
- [56] Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg, «FEL,» Januar 1999. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060?q=elektriske%20lavspenningsanlegg>. [Funnet Januar 2021].
- [57] Forskrift om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr, «Forskrift om elektroforetak,» Juli 2019. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-06-19-739?q=elektroforetak>. [Funnet Januar 2021].

- [58] Elsikkerhetsportalen, «Normer og standarder,» [Internett]. Available: <https://www.elsikkerhetsportalen.no/normer-og-standarder/>. [Funnet Februar 2021].
- [59] NEK IEC 61482-2:2018, «Protective clothing against thermal hazards of an electric arc - Part 2: Requirements,» Norsk Elektroteknisk Komite, Oslo, 2018.
- [60] NEK 400:2018, «Elektriske lavspenningsinstallasjoner,» Norsk Elektroteknisk Komite, Oslo, 2018.
- [61] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, «Elsikkerhet nr. 73,» DSB, Tønsberg, 2008.
- [62] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, «Elsikkerhet nr. 84,» DSB, Tønsberg, 2013.
- [63] NS-EN 469:2020, «Vernetøy for brannmannskap,» Norsk Standard, Oslo, 2020.
- [64] NS-EN ISO 20471:2013, «Svært synlig vernetøy,» Norsk Standard, Oslo, 2013.
- [65] NS-EN 659:2003+A1:2008, «Vernehansker for brannvesen,» Norsk Standard, Oslo, 2008.
- [66] NS-EN ISO 20344:2011, «Personlig verneutstyr - Prøvingsmetoder for fottøy,» Norsk Standard, Oslo, 2011.
- [67] NS-EN ISO 20345:2011-1-2, «Personlig verneutstyr - Vernesko,» Norsk Standard, Oslo, 2011.

12 Vedlegg

Vedlegg	Dokument	Side
1	Praktisk veileder til solceller for brannvesen	A
2	Beregning av hendelsesenergi til lysbuer ved solcelleanlegg	O

Vedlegg 1 – Praktisk veileder til solceller for brannvesen

01.06.2021

Praktisk veileder til brann- og redningsvesen

ved bygningsbrann der det forekommer
solcelleinstallasjoner



av Tobias Rød
BRANNKONSTABEL OG SIVILINGENJØR BRANNSIKKERHET

Forord

Solcelleinstallasjoner øker i antall i Norge hvert år. Dette er et av tiltakene som er iverksatt mot et mer bærekraftig og miljøvennlig samfunn. Selv om ny teknologi bedrer mange områder i samfunnet, kan det også gjøre andre aspekt usikre og mer komplekse. Et eksempel på dette er solcelleanlegg og brannsikkerhet. Brannvesenets innsats kompliserer seg ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner, og de trenger informasjon om hvordan de skal forholde seg til disse anleggene.

Problematikken bak et solcelleanlegg er at det produserer strøm selv, og kan av den grunn ikke gjøres spenningsløst ved en enkel bryter. Denne veilederen er for brann- og redningsvesen, og er skrevet så praktisk rettet som mulig.

Det er av største betydning at rednings- og slokkearbeid gjøres så effektivt som mulig ved bygningsbranner der det forekommer solcelleinstallasjoner. Ved at brannvesenet har mulighet til å gjøre anlegget spenningsløst selv, kan de arbeide med bygningsbranner slik som alle andre bygningsbranner.

Alt som er skrevet i denne veilederen, stammer fra funn gjort i masteroppgaven *Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner*. Dersom det ønskes en utdypning på enkelte områder, eller det er behov for oppklaring rundt noen temaer, kan det muligens finnes svar i det dokumentet. Masteroppgaven finnes ved et søk etter tittel på internett.

Denne veilederen er skrevet for å gi praktisk veiledning til brannvesenet om rednings- og slokkearbeid ved bygningsbranner der det forekommer solcelleanlegg. Det er kun beskrevet risikomomenter som skiller seg fra «normale» bygningsbranner, altså de ekstra risikomomentene som følger med solcelleinstallasjonene i en bygningsbrann.

Denne veilederen tilbyr en løsning til hvordan brannvesenet kan gjøre solcelleanlegg spenningsløst selv. Når denne veilederen er skrevet, er det uklart hvorvidt brannvesenet har lov til dette. Problemet er at denne arbeidsmetoden kan være ansett som elektrisk arbeid, som videre utløser krav om elektro fagbrev og elektrogodkjent virksomhet i forskriften FEK som er hjemlet i El-tilsynsloven. Av den grunn trengs det oppklaring om brannvesenet kan falle inn under definisjonen instruert personell. For fullstendig redegjørelse for denne problematikken, henvises det til *Innsatsmetodikk for brannvesen vedrørende solcelleinstallasjoner*. Denne veilederen presenterer altså muligens en ikke-godkjent arbeidsmetode, før denne problematikken blir oppklart.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Hva er et solcelleanlegg?	3
Hvordan kan solcelleanlegg se ut?	3
Merking i NEK 400	4
Oppbygning av solcelleanlegg.....	5
<i>Vekselretter/inverter.....</i>	<i>6</i>
<i>MC4-plugger.....</i>	<i>6</i>
Hvor mye strøm og spenning produserer et solcelleanlegg?.....	6
Risikomomenter ved solcelleanlegg.....	7
Innsatsmetodikk ved solcelleanlegg	8
<i>Verneutstyr.....</i>	<i>8</i>
<i>Fremgangsmåte.....</i>	<i>9</i>
Tips til brannvesen.....	9
Vedlegg.....	10

Hva er et solcelleanlegg?

Et solcelleanlegg utnytter solstråler som energikilde. Når lyset fra sola treffer solcellepanelene, genererer disse elektrisk strøm, spenning og energi. Denne strømmen kan utnyttes i for eksempel boliger eller andre bygninger.

Solcelleanlegg installeres i stadig økende grad i Norge. I 2019 ble det gjort fire ganger så mange solcelleinstallasjoner sammenlignet med 2016.

Hvordan kan solcelleanlegg se ut?

Det er flere grunner til at solcelleinstallasjoner ikke har vært installert i større grad i Norge frem til nå, blant annet har det med estetikk å gjøre. Det har ført til at leverandørene har designet ulike typer solcelleanlegg som brukerne kan velge mellom.

Det fører til utfordring for brann- og redningsvesen, da det kan være vanskelig å skille med det blotte øyet hva som er solcelleinstallasjoner og ikke. Nedenfor er noen eksempler på hvordan forskjellige solcelleinstallasjoner kan se ut:



Fra Shutterstock.com



Fra Istockphotos.com



Fra Shutterstock.com



Fra Blogg.fusen.no

Merking i NEK 400

NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsanlegg er en standard som benyttes i forbindelse med lavspenningsanlegg i Norge. Lavspenningsanlegg er elektriske anlegg under 1000 V AC (vekselstrøm) og 1500 V DC (likestrøm).

Fra 1. juli 2018 ble det krav om merking dersom det blir installert et solcelleanlegg til bygningen. Det skal blant annet merkes ved leveringspunkt, lett synlig ved inngangsparti og ved brannorienteringsplan.

Merkingen kan se ut som nedenfor. Det er disse som er brukt i NEK. Det settes ikke krav til å bruke nøyaktig slik merking, men det skal være noe tilsvarende. Skiltet nede til venstre er merking for solcelleinstallasjoner, mens skiltet nede til høyre er merking for spenningsførende deler på DC-siden.



Fra NEK 400



Fra NEK 400

Oppbygning av solcelleanlegg

Et solcelleanlegg produserer strøm fra solstråler eller sollys. Enkelt forklart slår lyset løs elektroner i solcellepanelene slik at de beveger seg gjennom en elektrisk krets. Dette er strøm. Det er viktig å påpeke at solcellepanelene også kan generere farlige spenningsnivåer ved hjelp av andre lyskilder som for eksempel lys fra flammer eller lyskastere.

En skisse av et solcelleanlegg er plassert nedenfor. Solcellemoduler er platene som det er 8 av på skissen. Solcellemodul blir som oftest omtalt som ett solcellepanel. Dersom flere solcellemoduler er koblet i serie kalles dette for en solcellestreng. Dersom flere solcellestrenger er koblet i parallell kalles dette for en solcellematrise.

Vekselstrøm (AC) er det som benyttes i elektriske anlegg i byggverk, og som strømmettet forsyner byggene våre med. De røde kablene på skissen under er AC-kabler. Et solcelleanlegg produserer likestrøm (DC). Det er samme type strøm som et batteri leverer. De gule kablene på skissen er DC-kabler. Kablene i et solcelleanlegg er koblet sammen ved hjelp av MC4-plugger.

For at byggverket skal kunne utnytte strømmen solcelleanlegget produserer, må denne likestrømmen omdannes til vekselstrøm. Dette gjøres ved hjelp av en vekselretter. Vekselretter blir ofte omtalt som inverter.

NEK 400 setter krav til at det skal være nødstopp/brannmannsbryter på solcelleanlegget. Denne sitter ofte på inverter. Brannmannsbryter skal sitte på utsiden av bygget dersom vekselretter er på innsiden. Dette er et krav som er fra 2018, noe som vil si at ikke alle solcelleanlegg har disse.

Dersom brannmannsbryter blir benyttet, kobles solcelleanlegget fra AC-delen av el-anlegget. Det vil si at det ikke kommer strøm fra solcelleanlegget til byggets vekselstrømdel eller til DC-kabler på innsiden av bygget. Ettersom solcellene produserer strøm selv, vil ikke DC-kablene bli spenningsløse ved bruk av brannmannsbryter.



Fra RISE rapport Solcelleteknologi og brann sikkerhet (2018)

Vekselretter/inverter

Vekselretter/inverter varierer mye i utseende. Under vises noen eksempler på hvordan en inverter kan se ut.



Fra Pixabay.com



MC4-plugger

Nedenfor er bilder av MC4-plugger, og hvordan de ser ut.



Fra Pixabay.com



Fra Pixabay.com

Hvor mye strøm og spenning produserer et solcelleanlegg?

Hvor mye strøm og spenning et solcelleanlegg produserer varierer. Et enkelt solcellepanel produserer typisk 20-50 V og 6-10 A. Når man kobler flere paneler sammen i serie til en solcellestreng, øker spenningen for hvert panel. Dersom man kobler solcellestrenger i parallell til solcellematriser øker strømstyrken.

Solcelleanlegg i Norge per i dag produserer ikke spenning over 1500 V, de fleste anlegg ligger på 800-1000 V. Det er heller ikke kjent at anlegg produserer mer enn 10 A, da større anlegg har separat DC-kabelføring fra hver enkel solcellestreng og ned til inverter. Det fører til at solcellestrengene ikke er koblet i parallell, og dermed øker heller ikke strømstyrken.

Risikomomenter ved solcelleanlegg

Det som skiller solcelleinstallasjoner fra andre elektriske anlegg, er at man ikke får gjort anlegget spenningsløst ved å trykke på en knapp. Dersom brannmannsbryteren på inverteren blir benyttet, vil solcelleanlegget ikke forsyne bygningens 230 V vekselstrømanlegg med strøm. Likevel vil DC-siden av solcelleanlegget inneha spenning.

Det er to risikomomenter ved et spenningsførende solcelleanlegg. Det ene er strømgjennomgang i person, det andre er å bli utsatt for lysbuer.

Strømgjennomgang kan forekomme i et spenningsførende anlegg. For at det skal skje må en person bli en del av en elektrisk krets. Det innebærer at minste motstandsvei for strømmen er via en person. Da må man være i kontakt med pluss- og minusleder samtidig. Faren for strømgjennomgang er relativt liten, dersom man er påpasselig. Kablene er iført grunnisolasjon og ekstra beskyttelse i form av dobbelisolasjon. For at en strømgjennomgang skal skje, må uisolerte kabler og person være i kontakt, og være en del av en lukket krets.

Bildene nedenfor illustrerer en lysbue. En lysbue er strøm som går mellom to elektriske ledere via luft. En lysbue kan forekomme dersom man napper fra hverandre strømførende kabler i et solcelleanlegg, men denne lysbuen medfører minimal risiko. Dersom lysbue oppstår, kan man føre kablene fra hverandre. Ved 15 cm eller større avstand vil lysbue opphøre eller ikke oppstå. På bildene nedenfor illustreres dette.

Til sammenligning med lysbue som kan oppstå i et vanlig sikringskap i en bolig, er lysbuen som kan oppstå i forbindelse med solcelleanlegg mindre bekymringsverdige. I et sikringskap i en bolig er kortslutningsstrømmen vesentlig høyere enn i et solcelleanlegg. En lysbue kan i en bolig ha en effekt på $230\text{ V} \times 2000\text{ A} = 460\text{ kW}$. I et solcelleanlegg er kortslutningsstrømmen ikke høyere enn 10 A. Noe som fører til lysbuer som kan ha en effekt på $1500\text{ V} \times 10\text{ A} = 15\text{ kW}$. Denne lysbuen har altså minst 30 ganger lavere effekt.

Lysbuen i et solcelleanlegg vil gi et lite smell, som gir en minimal akustisk sjokkbølge uten fare for hørselskader. Det vil også komme et lysglimt, og det kan komme sprut som følge av lysbuen. Den største faren ved lysbuer er den termiske effekten. Dersom brannmannsbryter er benyttet, er faren for lysbuer lik 0.



Fra AC Solar Warehouse



Fra AC Solar Warehouse

Innsatsmetodikk ved solcelleanlegg

Et solcelleanlegg er spenningsførende selv etter at brannmannsbryter er benyttet. Dette byr på utfordringer for brannvesenet. Med noen tiltak kan brannvesenet likevel gjøre anlegget spenningsløst selv.

Først og fremst er det viktig å påpeke at solcelleinstallasjoner ikke påvirker livreddende innsats i en bygningsbrann. Ut fra arbeid som blir gjort i forbindelse med en slik fase av en innsats, trengs det ikke å ta hensyn til solcelleinstallasjoner.

Når innsatsen flytter over i neste fase, og målet med innsatsen blir å slokke og/eller begrense brannen, kan det være behov for å ta hull i bygningskonstruksjoner. Dette for å både lokalisere og bekjempe brann, eller for å ventilere ut varme branngasser. Da kan solcellepaneler by på utfordringer.

Verneutstyr

Verneutstyret til en brannmann under bygningsbrann gir godt vern mot lysbuer, da den største faren ved lysbuer er varme. For å beskytte seg ytterligere mot lysbuer og for å beskytte seg mot strømgjennomgang, skal det benyttes Regeltex-hansker/1000 V-hansker under arbeid med spenningsførende solcelleanlegg. Disse er vist på bildene under. Det er ikke nødvendig å benytte brannhansker utenpå Regeltex-hansker, da disse alene er godkjent som vern mot strømgjennomgang og lysbuer. Dersom det er nødvendig for å beskytte seg mot brann, kan brannhansker benyttes utenpå Regeltex-hansker som på bildet. Dette vil nok oppleves som «klumpete» og mindre følsomt, men er absolutt mulig dersom behovet er der. Regeltex-hansker er omtalt videre i Vedlegg C.

For å unngå faren for sprut, skal også ansiktet beskyttes. Det kan oppnås ved bruk av hjelmvisir, eller røykdykkermaske dersom det er behov for fullstendig åndedrettsvern.



Fremgangsmåte

Hvis det er behov for å fjerne paneler, kan man nappe MC4-plugger fra hverandre eller klippe kabler. Det er å foretrekke å nappe fra hverandre MC4-plugger, da disse er isolerte etter frakobling. Man skal være oppmerksom på at det kan komme en lysbue dersom ikke brannmannsbryter er benyttet, eller at inverter ikke har en brannmannsbryter. Av den grunn skal man ikke holde kablene inntil kroppen når man drar de fra hverandre, men heller vekk fra brystkasse, mage og bein. Brannmannsbryter skal benyttes dersom inverter har en slik, for å minimere risiko

Når MC4-pluggene er fra hverandre eller kabler er kuttet, vil ikke kabler inneha spenning mellom brudd på kabel og frem til inverter. Da er det kun kabler som er koblet til selve solcellepanelene som har spenning. Så lenge disse er tilstrekkelig korte, slik at ikke pluss- og minuskabel kommer i kontakt, utgjør disse ikke lenger noen fare eller risiko. Ett enkelt panel leverer også lav spenning.

Nå kan paneler demonteres og fjernes dersom det er hensiktsmessig, eller det kan skjæres i konstruksjoner, uten at det utgjør noen risiko i forbindelse med solcelleinstallasjonen. Det er viktig å påse at alle kabler fra solcellepanelene er koblet fra før man begynner med annet arbeid.

Ved brann i selve solcelleinstallasjonen eller brann i tak i nærheten, skal det kun benyttes ferskvann, eller andre slökkemidler som ikke leder strøm. Det er viktig å ta sikkerhetsavstand dersom dette må gjøres, 5 m ved kompakt stråle og 1 meter ved spredt stråle.

Man skal også være oppmerksom på at selve solcellepanelene er glatte å gå på. Det kreves generell stor aktsomhet ved bruk av denne arbeidsprosedyren.

Et tiltakskort er lagt ved som Vedlegg A, som er et forkortet flytskjema over prosedyren.

Tips til brannvesen

Det anbefales at brannvesen som har solcelleinstallasjoner i sitt område drar på befaring der de finnes. På den måten kan man se solcelleanlegget i sin helhet i praksis.

Strømnettselskapene har oversikt over alle solcelleanlegg som er koblet til strømmettet. Dette er stort sett alle litt større anlegg.

Det er behov for det enkelte brannvesenet å bli godkjent «instruert personell». Hvordan dette kan gjøres, er videre omtalt i Vedlegg B.

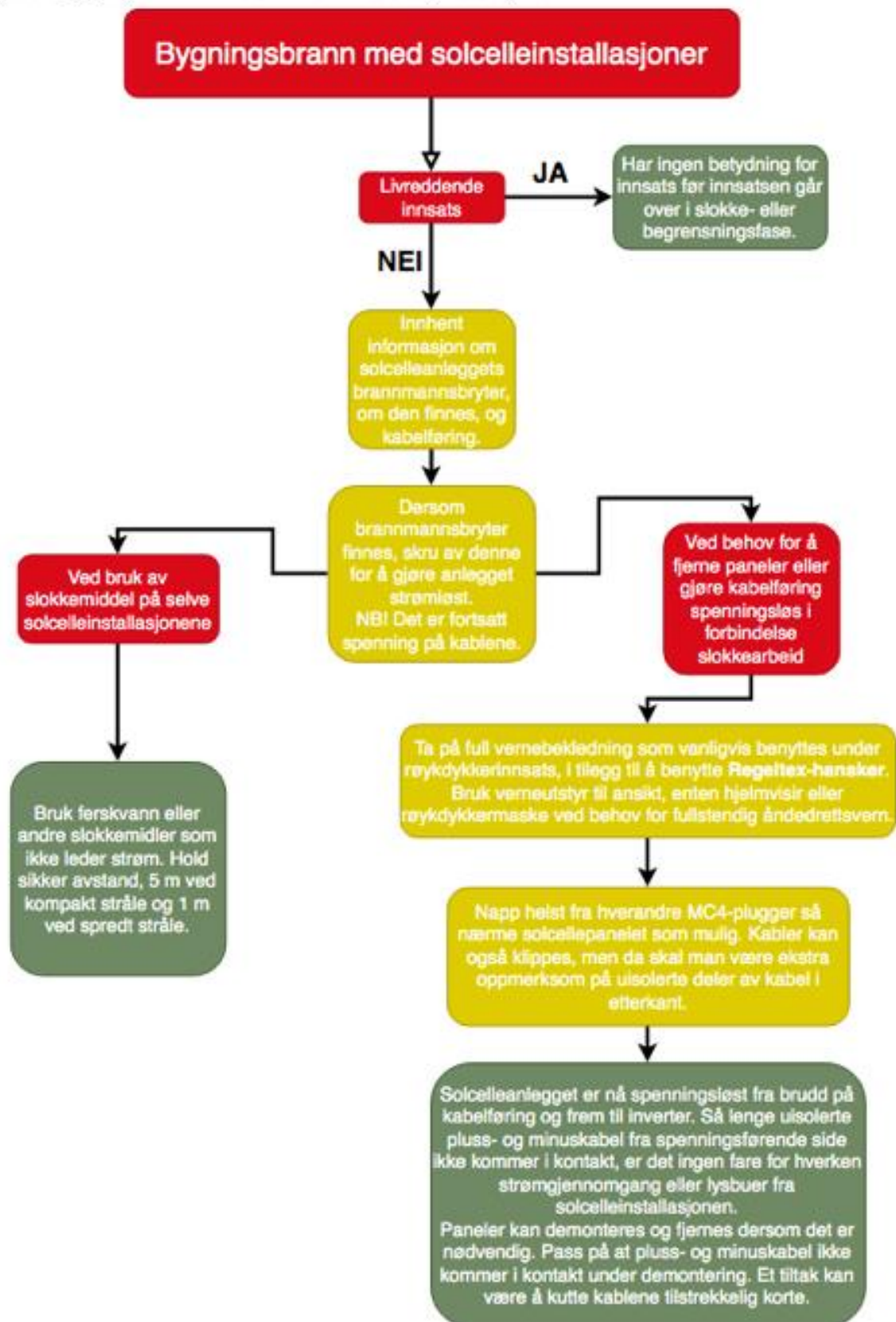
Ved befaring kan det være hensiktsmessig å se på merking av anlegget. Eier av byggverket har også krav på seg til å oppbevare oppdaterte FDV-dokumenter (Forvaltning, Drift og Vedlikehold). Dette kan være nyttig dokumentasjon å se på.

Det er også viktig å påse at solcelleinstallasjoner på brannvesenets område ikke innehar strømstyrke og spenning som overstiger 10 A og 1500 V. Da må denne arbeidsmetoden sjekkes videre at er sikker nok.

Vedlegg

Vedlegg		Side
A	Tiltakskort for arbeidsprosedyre	11
B	Hvordan kan hvert enkelt brannvesen bli godkjent «instruert personell»	12
C	Regeltex-hansker/1000 V-hansker	13

Vedlegg A – Tiltakskort for arbeidsprosedyre



Vedlegg B – Oppskrift på å bli «instruert personell»

En instruert person er definert på følgende måte:

«En instruert person er tilstrekkelig instruert slik at vedkommende er i stand til å oppfatte risiko og til å unngå fare som følge av elektrisitet».

Det må dokumenteres av bedriften at det er behov for instruerte personer. Et slikt behov kan være å opprettholde nødvendig drift til elektrofagperson ankommer stedet. Det er nødvendig for et brannvesen å ha instruert personell da det kan være kritisk for effektiviteten til slokkeinnsatsen. Behovet er der fordi fravær av en slik ordning kan føre til store skader på helse og miljø, eller tap av store materielle verdier.

I tillegg må følgende punkter være i orden:

1. Det skal foreligge en skriftlig instruks som klart beskriver omfanget av det arbeidet som den instruerte personen kan utføre.
2. En sakkyndig person skal forsikre seg om at den instruerte personen er i stand til å etterleve kravene som gjelder for instruerte personer.
3. Den nedfelte instruks og kravet om å gi instruksjon skal være omfattet av virksomhetens internkontrollsystem eller av andre juridiske avtaler som er bindende for den sakkyndige personen.
4. Den sakkyndige personen og den instruerte personen behøver ikke være ansatt i samme virksomhet.

Det må altså foreligge en skriftlig instruks fra en sakkyndig person. En sakkyndig person er en som har godkjenning fra DSB til å ha det faglige ansvaret i en bedrift som driver med arbeid knyttet til elektriske anlegg.

Denne ordningen er nokså lik det årlige kurset brannvesenet har for å kunne jorde kjøreledningen til jernbanen.

Vedlegg C – Regeltex-hansker

Regeltex-hansker blir ofte omtalt som 1000 V-hansker. Regeltex-hansker finnes med flere forskjellige klassifiseringer. For at disse hanskene skal gi godt nok vern i forbindelse med frakobling av solcelleinstallasjoner, er brannvesenet nødt til å påse at hanskene møter følgende kriterier:

- Godkjent for spenninger minst 1000 V AC og 1500 V DC
- ATPV-verdi minst 15 cal/cm² i henhold til EN 61482-2:2009 og IEC 61482-2

Under vises et bilde av en slik hanske som er fra Wenaas Workware AS.



Vedlegg 2 – Beregning av hendelsesenergi til lysbuer ved solcelleanlegg

Beregningene er gjort ut i fra retningslinjer gitt i [8], og bekreftet korrekte av sakkyndige.


Ver 2.2 - 12 / 2020

RENblad 1710, Lysbuekalkulator - Beregning av lysbuer - energitetthet og sikker avstand

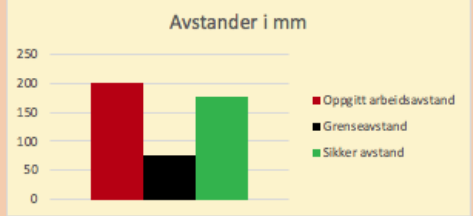
Fyll ut hvite felter og trykk "Kjør beregning" - Dersom du endrer på noen av inngangsverdiene må du kjøre ny beregning!!!

Grenseverdi som fører til 2. grads forbrenning er 1,2 cal/cm²
 Personlig beskyttelse må være heldekkende
 Husk også hode, hals og hender

Inngangsverdier, elektrisk utstyr				
V - systemspenning. Min 208V - maks 132kV	1,5	kV		
I _{sc} - 3 fase kortslutningsstrøm i feilstedet. Min 700A - maks 106kA	0,7	kA		
G - gnistgap/faseavstand. Min 1 mm - maks 2000 mm	1	mm		
t - lysbuetid (tid før vern løser ut)	2	s		
Elektrisk utstyrstype - Se forklaring i tabell på høyre side	Open air			
K ₂ - systemjording	Isolert			
D - avstand fra lysbue til person - arbeidsavstand	200	mm		
Avstandsfaktor, se tabell (brukes ikke for spenninger over 15 kV)	2,000			
E ₀ - energitetthet ved hendelse, ved grenseavstand	1,2	cal/cm ² →	5,0	J/cm ²

Kjør beregning
Beregninger OK

Info til brukeren



Avstander i mm

Avstandsfaktor for gnistgap(faseavstand), spenning og utstyrstype				
Spenning (V)	Utstyrstype	Typisk gap (mm)		Distansefaktor, x
		Nedre	Øvre	
208 - 1 000	Cable (kabel)	13	13	2,000
	MCC & panels (motorstyringer og tavler)	25	25	1,641
	Open air (åpent, i luft)	10	40	2,000
	Switchgear (brytere)	32	32	1,473
1 001 - 5 000	Cable (kabel)	13	13	2,000
	Open air (åpent, i luft)	102	102	2,000
	Switchgear (brytere)	13	102	0,973
5 000 - 15 000	Cable (kabel)	13	13	2,000
	Open air (åpent, i luft)	13	153	2,000
	Switchgear (brytere)	153	153	0,973

Inngangsverdier, personlig verneutstyr				
ATPV-verdi for ytre beskyttelse (0 for manglende beskyttelse)	71	cal/cm ² →	297,1	J/cm ²
ATPV-verdi for undertøy (0 for manglende beskyttelse)	0	cal/cm ² →	0	J/cm ²

Beregnete verdier				
I _b - lysbuestrøm	0,71	kA		
E - energitetthet ved hendelse, i oppgitt avstand	10,4	cal/cm ² →	43,6	J/cm ²
C ₀ - grense-avstand fra lysbuepunkt (beregnet grenseavstand)	76	mm		
Energitetthet ved beregnet avstand + 100mm (sikker arbeidsavstand)	13,5	cal/cm ² →	56,3	J/cm ²
Beregnet grenseavstand + 100mm (sikker arbeidsavstand)	176	mm		
Oppgitt arbeidsavstand er mer enn 100mm større enn grenseavstand - OK				
Det bør alltid legges inn 100mm i ekstra sikkerhetsavstand i forhold til beregnet grenseavstand				