



## Energieffektive bygg og brannsikkerhet

Ragni Fjellgaard Mikalsen, Andreas Sæter Bøe, Karin Glansberg, Christian Sesseng, Karolina Storesund, Reidar Stølen og Are W. Brandt

# Energieffektive bygg og brannsikkerhet

Ragni Fjellgaard Mikalsen, Andreas Sæter Bøe, Karin Glansberg, Christian Sesseng, Karolina Storesund, Reidar Stølen og Are W. Brandt

# Abstract

## Fire safety in energy efficient buildings

### Background

There has been a lot of focus on energy efficient buildings recently, and there is a rapid development of new materials, construction methods and technologies on the market. Improvement of one product property may affect other aspects, for example the fire safety. Norwegian authorities want to get an overview of possible challenges associated with the fire safety of energy efficient buildings.

### Objective

The main objective of this study has been to survey challenges associated with energy efficient buildings and fire safety, with a special focus on solar cells, batteries and fire extinguishment. The project is divided into different work packages. Sub-goals for each of these have been to:

- Study solar cell technology in the context of the total energy supply chain to uncover fire-related challenges.
- Increase the understanding of safety challenges, solutions and regulations related to energy storage of batteries in buildings.
- Increase the understanding of challenges associated with fire extinguishment in energy efficient buildings where solar cells and/or batteries are used.
- Achieve an overall understanding of the interaction between different solutions in energy efficient buildings, and how these interactions affect the fire safety.

### Conclusions

#### General

- The interaction between various new technical and energy efficient solutions could affect fire safety, with regard to ignition, fire development, fire dynamics, evacuation and firefighting efforts.
- When it comes to fire safety, questions often arise regarding what should be considered as sufficient and adequate documentation. Here, industry guidelines and exchange of knowledge is important, until relevant regulations are in place.
- It is important that fire safety is considered, and that responsibilities and tasks are coordinated when new solutions are implemented.
- The industry often feels that regulations are adapted too slowly when new solutions are launched.
- Our overall impression is that most professionals in the industry take fire safety seriously. Serious actors, good quality of design and installation are important to ensure a safe development.

### Solar cells

- No substantial difference has been found in fire engineering challenges for large photovoltaic (PV) installations compared to small ones.
- Solar cells mounted on facades should be treated similarly to other facade claddings with cavities behind the cladding, with regard to fire testing and classification.
- The European regulations for fire testing of roofing materials are not well suited for testing of roofs with building attached photovoltaics.
- According to German statistics, building integrated photovoltaics have a significantly higher fire risk than building attached photovoltaics. However, this has not been thoroughly studied during recent years.
- It is primarily the electrical voltage that the solar cells generate that can be problematic for firefighting, including re-ignition hazard, shock hazard due to direct contact with energized components and through extinguishing water.

### Batteries

- It is relatively well known how a fire in a battery may start, and this knowledge is transferable to stationary batteries in buildings.
- Lack of knowledge, experience and training within fire brigades with regard to large battery systems in buildings, may contribute to application of unfortunate extinguishing strategies.
- It is important that the fire service is informed when large battery systems are installed in buildings, to ensure that an extinguishing strategy exist in case of fire.
- In many cases, cooling with water is the best extinguishing method, but this can result in high water consumption as the battery itself supplies oxygen to the fire, and the battery encapsulation may prevent the water from reaching the fire zone.
- Regulations for domestic battery systems should be better defined with regard to placement and adequate safety levels. Guidelines for people who are considering installing battery systems in their homes would be beneficial.

### Airtight buildings

- There is no substantial difference in the fire development in airtight and conventional buildings during the initial phases of the fire. According to fire modelling studies there are more pronounced differences at later stages of the fire.
- The differences are mainly an increased pressure build-up and that the fire more rapidly becomes ventilation-controlled in airtight buildings.
- There is also an increased risk of backdraft for fires in airtight buildings, which represents an increased risk for the firefighters.

**Key words:**

Energy efficient buildings, fire safety, solar cells, photovoltaic installation, photovoltaic module, battery, battery room, battery system, extinguishing, firefighting, technical solutions, new materials, new construction methods.

Energieffektive bygg, brannsikkerhet, solceller, solcelleinstallasjon, solcellemodul, batteri, batterirom, batterisystemer, sløkking, brannvesen, energibesparende bygg, tekniske løsninger, nye materialer, nye konstruksjonsmetoder.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2019:02

ISBN: 978-91-88907-16-5

Prosjektnummer: 20383

Kvalitetssikring: Anne Steen-Hansen

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

Forsidebilde: Energieffektive bygg. Bilde gjengitt med tillatelse, ID 119265566 ©

Nataliia Mysik | Dreamstime.com

Trondheim 2019

# Innhold

<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>5</b>
<b>Forord</b> .....	<b>8</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>11</b>
1.1 Bakgrunn .....	11
1.2 Målsetting og forskningsspørsmål.....	11
1.3 Omfang og begrensninger.....	13
1.4 Metodebeskrivelse .....	13
1.4.1 Litteraturstudie .....	13
1.4.2 Workshop .....	14
1.4.3 Intervju .....	14
1.4.4 Casestudier .....	14
1.4.5 Metodekritikk .....	14
1.5 Etiske vurderinger .....	15
1.6 Finansiering .....	15
1.7 Rapportens oppbygging.....	15
1.8 Ordliste .....	16
<b>2 Energieffektive bygg</b> .....	<b>18</b>
2.1 Definisjon.....	18
2.2 Eksempler på energieffektive bygg.....	19
2.3 Samfunnsmessig utvikling.....	20
2.4 Teknologi- og utviklingsfronten .....	21
2.5 Innspill fra workshop og intervju .....	26
2.5.1 Workshop .....	26
2.5.2 Intervju .....	27
<b>3 Solceller</b> .....	<b>28</b>
3.1 Bakgrunn .....	28
3.2 Skalering av brannrisiko .....	29
3.3 Bygningsintegreerte solceller (BIPV) .....	29
3.4 Regelverk, veiledninger og standarder .....	30
3.4.1 Tysk regelverk.....	30
3.4.2 Bransjeveiledninger.....	31
3.4.3 Teststandarder og testspesifikasjoner .....	31
3.4.4 Vår vurdering av best egnede testmetode .....	41
3.5 Antennelse og branndynamikk.....	42

3.6	Slokking av brann i solcelleinstallasjoner .....	43
3.6.1	Berøringsfare ved høy DC-spenning .....	43
3.6.2	Berøringsfare ved lav DC-spenning.....	45
3.7	Innspill fra workshop og intervjuer .....	46
3.8	Oppsummering og anbefalinger for solceller .....	47
<b>4</b>	<b>Batteri i bygg .....</b>	<b>48</b>
4.1	Bakgrunn .....	48
4.1.1	Gjenbruk av elbilbatterier .....	48
4.1.2	“Vehicle to building” og “Vehicle to grid” .....	49
4.2	Regelverk, veiledninger og standarder .....	49
4.2.1	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg.....	49
4.2.2	Byggteknisk forskrift (TEK17) .....	50
4.2.3	NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner.....	50
4.2.4	Bransjeveiledning .....	51
4.2.5	Teststandarder.....	51
4.3	Brannfare ved bruk av batterier i bygg .....	53
4.3.1	Batterienes oppbygging og funksjon .....	53
4.3.2	Feilmekanismer som kan føre til brann og eksplosjon .....	54
4.3.3	Sikkerhetsmekanismer .....	56
4.3.4	Forskjell mellom boliger og næringsbygg .....	57
4.3.5	Samfunnsøkonomisk nytteverdi .....	58
4.4	Brann i bygg med energilagring.....	59
4.5	Slokking av brann i batteri.....	59
4.6	Innspill fra workshop og intervjuer .....	60
4.6.1	Workshop .....	60
4.6.2	Intervjuer.....	61
4.7	Oppsummering og anbefalinger for batterier.....	64
<b>5</b>	<b>Tette bygg.....</b>	<b>65</b>
5.1	Brann i tette bygg.....	65
5.2	Slokking av brann i tette bygg.....	66
5.3	Oppsummering og anbefalinger .....	68
<b>6</b>	<b>Vurdering av brann sikkerhet .....</b>	<b>69</b>
6.1	Solceller.....	70
6.2	Batterier .....	72
6.3	Tette bygg.....	74
6.4	Andre tema aktuelle for videre arbeid .....	76
<b>7</b>	<b>Konklusjoner .....</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>Videre arbeid .....</b>	<b>83</b>

<b>Referanser .....</b>	<b>85</b>
<b>Vedlegg A Eksempler på energieffektive bygg.....</b>	<b>A-1</b>
A1. Dagligvarebutikk med solceller og batteri .....	A-1
A2. Kontorbygg pluss hus .....	A-3
A3. Enebolig med solceller .....	A-5



# Forord

Dette prosjektet er finansiert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), og er utført som en del av prosjektporteføljen under forskningsavtalen mellom DSB og RISE Fire Research.

Vi ønsker å rette en stor takk til representanter fra bransjen, brannvesen og myndigheter som har deltatt på workshop, intervjuer og befaringer. Dette har gitt viktige innspill til prosjektet.

Ragni Fjellgaard Mikalsen

Forsker og prosjektleder

# Sammendrag

## Bakgrunn

Det er mye som rører seg på markedet innenfor energieffektive bygg, og utviklingen innenfor nye materialer, konstruksjonsmetoder og teknologiske løsninger går i et høyt tempo. Når én egenskap forbedres, kan det få konsekvenser for andre aspekt, for eksempel brannsikkerheten. Norske myndigheter ønsker å få en oversikt over hvilke utfordringer som er knyttet til energieffektive bygg og brannsikkerhet.

## Målsetting

Denne studien har hatt som hovedmål å belyse utfordringer knyttet til energieffektive bygg og brannsikkerhet, med fokus på solceller, batterier og slokking av brann. Prosjektet er delt inn i ulike arbeidspakker. Delmål for hver av disse har vært å:

- Sette solcelleteknologien i sammenheng med resten av energiforsyningen for å avdekke brannrelaterte utfordringer.
- Øke forståelsen av sikkerhetsutfordringer, løsninger og regelverk knyttet til energilagring i batterier i bygg.
- Øke forståelsen av utfordringer knyttet til slokking av brann i energieffektive bygg der det benyttes solceller og/eller batterier.
- Oppnå en helhetlig forståelse for samspillet mellom ulike løsninger i energieffektive bygg, og hvordan dette samspillet påvirker brannsikkerheten.

## Konklusjoner

### Generelt

- Samspillet mellom ulike nye tekniske og energieffektive løsninger vil kunne påvirke brannsikkerheten, med hensyn på antennelse, brannforløp, brannodynamikk, rømning og innsats fra brannvesen.
- Når det gjelder brannsikkerhet, oppstår en del spørsmål om hvilken dokumentasjon som skal foreligge, og hva som er tilstrekkelig. Her vil bransjeveiledninger og kunnskapsutveksling kunne være en nøkkel, frem til relevant regelverk er på plass.
- Det viktig at aktører tar hensyn til brannsikkerheten og koordinerer ansvar og oppgaver når nye løsninger skal implementeres.
- Aktørene i bransjen savner ofte at regelverket holder tritt når nye løsninger lanseres.
- Vårt overordnede inntrykk er at de fleste profesjonelle aktører i bransjen tar brannsikkerhet på alvor. Seriøse aktører, god kvalitet på dimensjonering og installering vil være viktig også fremover for å sikre en trygg utvikling.

### Solceller

- Det er ikke funnet noen vesentlig forskjell i branntekniske utfordringer for større solcelleinstallasjoner sammenlignet med små.
- Solceller som skal monteres på fasader bør behandles på samme måte som annen fasadekledning med luftrom bak, med tanke på branntesting og klassifisering.
- Det europeiske regelverket for branntesting av takbelegg er ikke godt egnet for testing av tak med utenpåmonterte solcellemoduler.
- Bygningsintegrerte solceller har ifølge tysk statistikk vesentlig større brannrisiko enn utenpåmonterte solceller, dette er i liten grad undersøkt i de senere år.
- For brannslukking er det primært den elektriske spenningen solcellene genererer som kan være problematisk, med fare for re-antennelse og fare for direkte strømgjennomgang ved berøring og indirekte gjennom slokkevann.

### Batterier

- Det er relativt godt kjent hvordan brann i et batteri kan oppstå, og dette vil være overførbart til stasjonære batterier i et bygg.
- Brannvesenets manglende kunnskap, erfaring og trening med hensyn til store batteribanker i bygninger kan bidra til at uheldige slokkestrategier velges.
- Det er viktig at brannvesen informeres når det installeres store batterisystemer i bygninger, slik at slokkestrategien kan være klar når brannen oppstår.
- I mange tilfeller vil avkjøling med vann være den beste slokkemetoden, men dette kan resultere i stort vannforbruk ettersom batteriet selv forsyner brannen med oksygen, og at batterienes innpakning hindrer vannet i å nå brannsonen.
- Regelverket som omhandler bruk av batteripakker i boliger bør presiseres med hensyn til plassering av batteripakke, og hvilket sikkerhetsnivå som skal gjelde. Det kan være fordelaktig å utarbeide veiledere for personer som vurderer å installere batteri i hjemmet.

### Tette bygg

- Det er liten forskjell i brannutviklingen i lufttette og konvensjonelle bygg i brannens startfase, mens forskjellene er mer uttalte i senere faser av brannen, ifølge studier med brannsimulering.
- Forskjellene gjelder primært økt trykkoppbygging, og at brannen raskere blir ventilasjonskontrollert i tette bygg.
- Det er en økt risiko for backdraft (rask tilluftsantennelse) ved brann i tette bygg, noe som representerer en økt risiko for brannvesenet.

# 1 Innledning

I dette kapitlet gis en kort bakgrunn for prosjektet, målsetting, forskningsspørsmål og metodikken som er brukt blir presentert. Det gis også en ordliste med definisjoner av ord og uttrykk som er brukt i rapporten.

## 1.1 Bakgrunn

Det er mye som rører seg på markedet innenfor energieffektive bygg, og utviklingen innenfor nye materialer, konstruksjonsmetoder og teknikker går i et høyt tempo. Når én egenskap forbedres, kan det få konsekvenser for andre aspekt, for eksempel brannsikkerheten. Norske myndigheter ønsker å få en oversikt over hvilke utfordringer som er knyttet til energieffektive bygg og brannsikkerhet.

Denne rapporten bygger på studien «Energibesparende bygg og brannsikkerhet» fra 2015 [1]. Fokus her vil være på hva som har skjedd siden den gang, og gi en kunnskapsstatus per 2019, med fokus på brann og slokking av brann i batterier, solceller og tette bygninger.

Når det gjelder solceller, har RISE tidligere publisert en studie som fokuserer på brannsikkerhet og solcelleteknologi [2]. Denne rapporten vil se nærmere på testmetoder for solcellemoduler, samt fokusere på bygningsintegreerte solceller og skalering av brannrisiko.

Når det gjelder batterier, har RISE tidligere publisert studier på brannsikkerhet og alternative energibærere, med fokus på transportsektoren og innelukkede rom [3], samt branntest av elbil [4]. I denne rapporten er fokus på bruk av batterier i bygg, inkludert gjenbruk av batterier fra transportsektoren i bygg.

Tidligere studier på plast i byggevarer [5,6], studier på massivtre [7,8] og utredning om kledning og fasader [9] er også relevante.

## 1.2 Målsetting og forskningsspørsmål

Denne studien har som hovedmål å belyse utfordringer knyttet til energieffektive bygg og brannsikkerhet, med fokus på solceller, batterier og slokking av brann. Prosjektet er delt inn i ulike arbeidspakker. Delmål og forskningsspørsmål for hver av disse er beskrevet under.

### **Arbeidspakke solceller:**

*Delmål:* Sette solcelleteknologien i sammenheng med resten av energiforsyningen for å avdekke brannrelaterte utfordringer.

*Følgende forskningsspørsmål skal besvares:*

1. Hvordan utføres slokkeinnsats taktisk og praktisk ved brann i en bygning med solcelleinstallasjoner for å håndtere risiko forbundet med det elektriske anlegget?
2. Hvilke brannrelaterte konsekvenser følger av at strømproduksjonen blir desentralisert til solcelleinstallasjoner på ulike bygninger?
3. Hvordan skaleres brannrisiko med størrelsen på en solcelleinstallasjon, og er det forskjell på hvilke branntekniske utfordringer som er relevante for anlegg av ulik størrelse?
4. Hvilke nye branntekniske utfordringer oppstår ved bruk av bygningsintegreerte solceller på tak og fasader?
5. Hvilke regelverk gjelder, og er regelverket entydig med tanke på solceller?

### **Arbeidspakke batteri:**

*Delmål:* Øke forståelsen av sikkerhetsutfordringer, løsninger og regelverk knyttet til energilagring i batterier i bygg.

*Følgende forskningsspørsmål skal besvares:*

1. Hvilke løsninger er aktuelle i dag og i fremtiden når det gjelder installasjon og bruk av batterier for energilagring i et bygg?
2. Hvilke regelverk gjelder, og er regelverket entydig med tanke på batterier og brann?
3. Utgjør batteripakker i bygg en ytterligere brannrisiko hvis gjeldende retningslinjer følges? Hva om retningslinjer brytes ved installasjon eller ved bruk?
4. Hva er standard prosedyre for håndtering av slike batterier ved en brann? Er det komponenter som må kobles fra i tilfelle brann?
5. Kan batterier i et bygg bidra til å redusere brannrisikoen sammenlignet med andre energilagringmetoder, eller sammenlignet med bygg uten energilagring?

### **Arbeidspakke slokking:**

*Delmål:* Øke forståelsen av utfordringer knyttet til slokking av brann i energieffektive bygg der det benyttes solceller og/eller batterier.

*Følgende forskningsspørsmål skal besvares:*

1. Hvilke slokkemetoder og slokkemidler benyttes i dag ved brann i solcellemoduler og batterier?
2. Hva gjøres for å hindre spredning til solcellemoduler/batterier fra andre steder i bygningen?
3. Er brannutviklingen annerledes i energieffektive bygg enn i eldre bygninger, slik at dette kan påvirke slokkeinnsats (tettere bygg, solceller og batterier)?
4. Har brannvesenet tilstrekkelig kunnskap om branner i bygg med solceller og større mengder batterier, og legger kunnskapsnivået begrensninger på slokkeinnsatsen?
5. Blir tilrettelegging for slokkeinnsats ved brann i solceller/batterier tilstrekkelig integrert i prosjekteringen av nye bygg?

## Arbeidspakke helhetlig oversikt og sammenfatning av fokusområder:

*Delmål:* Oppnå en helhetlig forståelse for samspillet mellom ulike løsninger i energieffektive bygg, og hvordan dette samspillet påvirker brannsikkerheten. Fokus vil ligge på samspill mellom de tre fokusområdene i arbeidspakke 2, 3 og 4, men andre områder vil også bli belyst.

Følgende forskningsspørsmål skal besvares:

1. Hva er state-of-the-art innen teknologi, smarte løsninger, komponenter, produkter, materialer, byggemetoder o.l. i forbindelse med energieffektive bygg?
2. På hvilken måte vil samspillet mellom ulike nye tekniske og energieffektive løsninger kunne påvirke sikkerheten, med tanke på antennelse av brann, brannforløp, rømning, brukeradferd og innsats fra brannvesen?
3. Hvilke utfordringer møter aktører i bransjen i dag med tanke på brannsikkerhet i energieffektive bygg? Hvilke utfordringer ser de for seg vil komme i årene fremover?

## 1.3 Omfang og begrensninger

Energieffektive bygg omfatter et bredt spekter av problemstillinger og temaer. I denne rapporten er den generelle oversikten over utviklingsfronten (se avsnitt 2.4) og vurderingen av hvordan disse løsningene påvirker brannsikkerheten (se kapittel 6) holdt på et overordnet nivå. Dette for å gi leseren en oversikt, med kortfattet innblikk i aktuelle løsninger på markedet. Det har ikke vært et fokus i prosjektet å gå i dybden på hvert enkelt punkt, men noen enkelttema er valgt ut som fokusområder, som beskrevet i avsnitt 1.2.

Vurderingene som er gjort er basert på tilgjengelig litteratur, samt informasjon fra et begrenset utvalg informanter.

## 1.4 Metodebeskrivelse

### 1.4.1 Litteraturstudie

Basert på innspill fra oppdragsgiver er relevant regelverk valgt ut og kartlagt for å sammenstille regler og krav knyttet til brannsikkerheten til de aktuelle teknologiene i Norge.

Videre ble det gjennomført søk i vitenskapelige publikasjonsdatabaser for å kartlegge den internasjonale forskningsfronten med hensyn til brannsikkerhet og sløkking i forbindelse med energieffektive bygninger.

## 1.4.2 Workshop

Det ble avholdt en workshop ved RISE Fire Research i Trondheim, 6. juni 2018. Workshopen var åpen for alle, invitasjoner ble distribuert via e-post til bransjeaktører som ble ansett som relevante for prosjektet. De påmeldte deltakerne fikk oversendt program for dagen, med info om prosjektet, fem dager før workshopen. Her var det også listet opp 13 påstander og spørsmål, som deltakerne ble bedt om å ta stilling til, og ta med eventuelle innspill fra kollegaer. Workshopen bestod av seks innledende presentasjoner, samt diskusjoner i grupper og i plenum. Innspill ble notert ned underveis, og en oppsummering ble sendt ut til deltakerne for gjennomlesing ni dager etter workshopen.

I denne rapporten har innspill fra bransjen i første rekke blitt brukt som bakgrunnsinformasjon for prosjektgruppen, slik at det kunne fokuseres på tema og problemstillinger som er relevante for bransjen. I de tilfellene enkeltinnspill nevnes spesifikt i denne rapporten, blir disse referert til som innspill fra workshopen. Generelle resultater fra workshopen er beskrevet i avsnitt 2.5.

## 1.4.3 Intervju

Det er blitt gjennomført kvalitative intervju/dialogmøter for å få oversikt over og innsikt i ulike problemstillinger. I tillegg kommer innspill fra deltakere på workshop, se avsnitt 1.4.2.

Innspill fra representanter fra ulike deler av bransjen, samt brannvesen og myndigheter er inkludert i denne rapporten, og oppgis fortløpende i de relevante avsnittene.

## 1.4.4 Casestudier

Tre bygg ble valgt ut til å inngå prosjektet som casestudier: en enebolig, en dagligvarebutikk og et kontorbygg. Disse ble valgt for å representere ulike størrelser på bygg, ulike bruksområder og ulike eier- og driftsformer. Av logistikkhensyn befinner alle seg i Trondheim. Eneboligen er fra 1972, hvor energieffektive løsninger kan være aktuelt å ettermontere. Dagligvarebutikken ble ferdigstilt og åpnet høsten 2017, med energieffektive løsninger inkludert i bygget. Kontorbygget er under oppføring høsten 2018, med energieffektive løsninger inkludert i bygget. En kort oppsummering av de gjennomførte casestudiene er gitt i avsnitt 2.2 og en nærmere beskrivelse er gitt i Vedlegg A.

## 1.4.5 Metodekritikk

Det finnes mange ulike intervjueteknikker for å innhente informasjon. I dette prosjektet ble intervjuene gjennomført primært via telefonsamtaler og mailkorrespondanse. De som ble kontaktet ble gjort oppmerksomme på at dette var hensikten med telefonsamtalen eller mailkorrespondansen, og de fikk mulighet til sitatsjekk i ettertid. Dette fungerte bra for å innhente kvalitativ informasjon fra informantene. Som et

alternativ kunne man ha innhentet kvantitativ informasjon, eksempelvis om utbredelse av problemstillinger eller teknologier, ved å gjennomføre en spørreundersøkelse rettet mot bransjen.

Det har vært et prosessmål å ha en dialog med norsk bransje, og få en forståelse for forhold relevante for det norske markedet. Det har derfor blitt lagt vekt på dialog og kunnskapsoverføring med norske aktører, fremfor internasjonale miljøer. En mer inngående studie av tilgjengelig litteratur fra internasjonal forskning, og dialog med internasjonale aktører (bransjeorganisasjoner, leverandører, forskningsmiljø etc.) kunne ha bidratt til et bredere kunnskapsgrunnlag i prosjektet.

## 1.5 Etiske vurderinger

Ved arbeidet med denne rapporten er det gjennomført intervjuer og workshop, hvor forskjellige profesjonelle aktører har deltatt. Ved gjengivelse av disse har vi valgt å anonymisere informantene i rapporten, men angir stillingstittel eller posisjon i aktuell organisasjon.

## 1.6 Finansiering

Prosjektet er finansiert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK).

## 1.7 Rapportens oppbygging

Rapporten er bygd opp slik at leseren først skal få et generelt overblikk over energieffektive bygg, deretter dybdeinformasjon om fokusområder, og til slutt en helhetlig oversikt over brannsikkerhet i energieffektive bygg.

I kapittel 2 defineres hva som menes med energieffektive bygg, det gis eksempler på disse, og en kort gjennomgang av status og siste utvikling innenfor materialvalg, konstruksjoner og tekniske løsninger. I kapittel 3 og 4 presenteres detaljert kartlegging om henholdsvis solceller og batterier. Brannutviklingen kan være annerledes i energieffektive bygg enn i eldre bygninger, da også med hensyn på at byggene kan være tettere, og dette er beskrevet i kapittel 5. I hvert av disse kapitlene er slokkeinnsats fra brannvesen inkludert som en del av kapitlet.

I kapittel 6 gis en helhetlig diskusjon med vurdering av hvordan ulike energieffektive løsninger påvirker brannsikkerheten, med hensyn på antennelse av brann, brannforløp, rømning, brukeradferd og innsats fra brannvesen. Konklusjoner er gitt i kapittel 7.

Detaljer fra tre casestudier, som eksempler på energieffektive bygg, er gitt i Vedlegg A.



## 1.8 Ordliste

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

Tabell 1-1 Oversikt over forkortelser som er brukt i denne rapporten, på norsk eller engelsk.

Forkortelse	Norsk	Engelsk
AC	Vekselstrøm	Alternating current
AMS	Avanserte måle- og styringssystemer. Også kalt smarte strømmålere.	
BAPV	Utenpåmontert solcelleinstallasjon	Building attached photovoltaics
BIPV	Bygningsintegreert solcelleinstallasjon	Building integrated photovoltaics
BMS		Battery Management System (batteriets «hjerne»)
BREEAM		Building Research Establishment Environment Assessment Method
CEN		European Committee for Standardization
CENELEC		European Committee for Electrotechnical Standardization
CFD		Computational fluid dynamics
CLC	Kort for CENELEC (se ovenfor)	
DC	Likestrøm	Direct current
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet	Norwegian Building Authority
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap	Norwegian Directorate for Civil Protection
FEL	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg	
FME	Forskningsentre for miljøvennlig energi	
IEC		International Electrotechnical Commission
NEK	Norsk elektroteknisk komité	
NBSK	Norges Brannskole	
TEK10	Byggteknisk forskrift fra 2010	
TR		Technical report
TS		Technical specification
TEK17	Byggteknisk forskrift fra 2017	
VTEK	Veiledning om tekniske krav til byggverk	

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

Norsk	Engelsk	Definisjon
Energieffektive bygg	Energy efficient buildings	Ethvert bygg som er mer energieffektivt enn det som er vanlig for dagens bygningsmasse, og mer energieffektivt enn det som kreves i Byggteknisk forskrift (TEK17) [10].
Nullenergibygninger	Zero emission building (ZEB)/ Zero energy building (NZEB, nZEB)	Bygg som produserer nok fornybar energi til å utligne eller overgå byggets netto energibehov. Omfatter netto nullenergibygninger og nesten nullenergibygninger. Det fins ingen standard for begrepet i Norge eller internasjonalt. [11]
Passivhus	Passive house	Bygg som bruker lite energi til oppvarming, med et minimum av varmetap gjennom god isolasjon og tett byggkonstruksjon. Kriteriene for passivhus er fastsatt i NS 3700 [12] for boligbygg og NS 3701 [13] for yrkesbygg. [11]
Plusshus/ energipositive bygg	Plus house/ positive energy building	Bygg som gjennom driftsfasen genererer mer fornybar energi enn det som brukes til tillaging av materialer, oppføring, drift og avhending av bygningen. Det fins ingen standard for begrepet i Norge eller internasjonalt. [11]
Solcelle	Solar cell, PV cell, Photovoltaic cell, Solar photovoltaic cell	Mest elementære enhet som utviser den fotonvoltaiske effekten, dvs. den direkte ikke-termiske omdannelsen av stråleenergi til elektrisk energi [14]. I denne rapporten brukes solcelle også som kortform for solcelleinstallasjon.
Solcelleinstallasjon	PV installation	Montert utstyr til et solcellestrømforsyningssystem [14]. Brukes her om det komplette anlegget, inkludert solcellemodul og alt nødvendig tilleggsutstyr.
Solcellemodul	PV module	Minste komplette sammenstilling av sammenkoblede solceller som er beskyttet mot omgivelsene [14].

## 2 Energieffektive bygg

I dette kapitlet gis det en generell definisjon av energieffektive bygg, eksempler på disse, og en introduksjon til den relevante samfunnsmessige utviklingen. I avsnitt 2.4 gis det en gjennomgang av hva som er utviklingsfronten innen teknologi, smarte løsninger, komponenter, produkter, materialer, byggemetoder o.l. i forbindelse med energieffektive bygg. Til slutt, i avsnitt 2.5, er det en oppsummering av resultatene fra workshop med bransjen, hvor målet var å kartlegge hvilke utfordringer aktører i bransjen møter med tanke på brannsikkerhet i energieffektive bygg, og hvilke utfordringer de ser for seg vil komme i årene fremover.

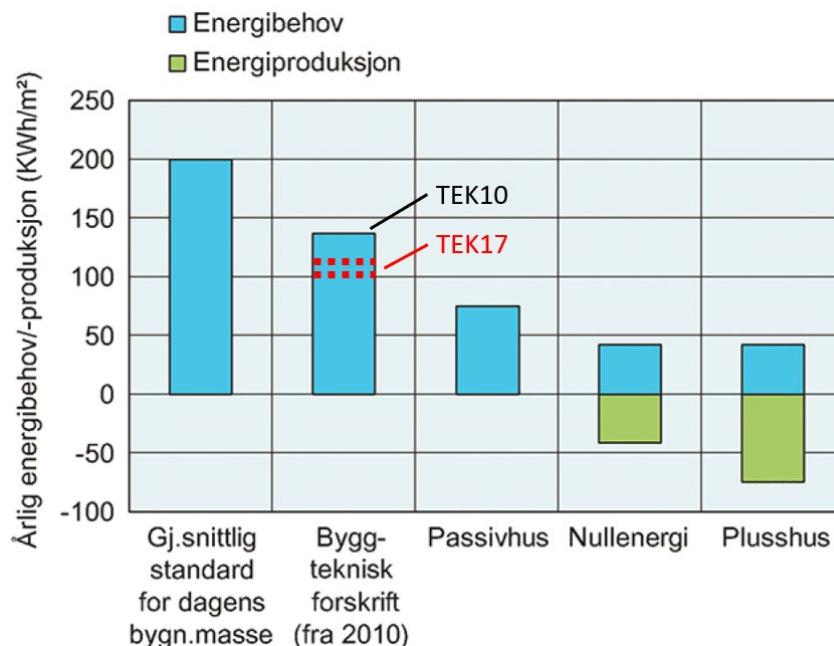
### 2.1 Definisjon

Ifølge byggteknisk forskrift (TEK17) § 14-2 er kravet til totalt netto energibehov for eneboliger og andre småhus 100 kWh/m<sup>2</sup> per år, pluss et tillegg basert på bruttoareal (+1600 kWh dividert på antall m<sup>2</sup>) [10]. For kontorbygg skal ikke energibehovet overstige 115 kWh/m<sup>2</sup> per år, mens skolebygg skal ligge under 110 kWh/m<sup>2</sup> per år. Dette gjelder altså under byggets driftsfase. I dette prosjektet er energieffektive bygg definert som følger:

**Energieffektive bygg:** Ethvert bygg som er mer energieffektivt enn det som er vanlig for dagens bygningsmasse, og mer energieffektivt enn det som kreves i byggteknisk forskrift (TEK17).

Med «vanlig for dagens bygningsmasse» mener vi det som er gjennomsnittlig standard for dagens bygningsmasse, se eksempel i Figur 2-1. Energieffektive bygg kan være helt eller delvis selvforsynte med energi, eller være energieffektive som følge av byggemethode som gir lavere netto oppvarmingsbehov. Størrelsen eller beliggenhet av bygget (hytte, hus, industribygg etc.) er ikke avgrenset i prosjektet.

Begrepsbruken i ulike deler av bransjen er varierer, og det kan være utfordrende å sørge for at man snakker om det samme. Eksempelvis brukes begrep som nullutslippshus, passivhus, plussshus, nullenergihus osv, selv om det kun er passivhus som har en entydig, norsk definisjon [11]. I dette prosjektet er det derfor valgt å generalisere til «energieffektive bygg», hvor alle disse ulike typer bygg er inkludert, så lenge bygget i helhet går under definisjonen som oppgitt ovenfor.



Figur 2-1 Energibehov og fornybar energiproduksjon for eneboliger. Figur hentet fra SINTEF Byggforskserien 473.003 [11]. Indikasjon for nivå fra byggteknisk forskrift fra 2010 (TEK10) og 2017 (TEK17) er lagt til. Nivået i TEK17 varierer med bruttoareal, innenfor området markert med to stiplede linjer.

## 2.2 Eksempler på energieffektive bygg

Det blir stadig flere energieffektive bygg i Norge i dag, eksempler på disse er vist i Figur 2-2. I dette avsnittet vil det bli gitt en kort oppsummering av de tre casene i casestudiet som er utført i prosjektet, mer detaljer om hvert case er gitt i Vedlegg A.

### Case 1 - Dagligvarebutikk med solceller og batteri

Dagligvarebutikk i Trondheim på ca 1200 m<sup>2</sup>, med to ulike typer solcellemoduler montert på tak og fasade med samlet effekt på 84 kWp<sup>1</sup>. Hensikten med de ulike typene solcellemoduler er å samle inn data og analysere forskjellen på solcellemodulene under ulike forhold. I tillegg til solceller har bygget installert seks batteripakker, med en samlet kapasitet på 40 kWh, for å lagre overflødig solenergi, samt jevne ut forbrukstoppene.

### Case 2 - Kontorbygg plusshus

Kontorbygg på 18 700 m<sup>2</sup>, spredt over ni etasjer, under oppføring. Bygget er planlagt å produsere mer energi enn det forbruker gjennom sitt livsløp, og 485 000 kWh per år. Av tekniske løsninger er bygget utstyrt med solceller på tak og deler av fasade, ammoniakkvarmepumpe, kjøling ved hjelp av sjøvann fra fjorden, hybridventilasjon

<sup>1</sup> kWp: Kilo watt peak er merkeeffekt, det vil si effektkapasitet ved standard testforhold (1000 W/m<sup>2</sup> innstråling og temperatur på 25 °C)

(trappesjakter brukt som tilluftskanaler), solfilm på vinduer, og belysning som tilpasses antall personer og deres bevegelse. Bygget er også klargjort for energilagring i batteri.

### Case 3 - Enebolig med solceller

En annen type energieffektivt bygg er eksisterende bygninger, både næringsbygg og private boliger, hvor solcelleinstallasjoner ettermonteres. En typisk solcelleinstallasjon på en enebolig består eksempelvis av mellom 20 og 30 solcellemoduler koblet sammen i én eller to strenger. Modulene blir montert på taket med festeutstyr som er tilpasset den eksisterende taktekkingen. Spenningen fra strengene ligger typisk mellom 600 og 800 V.



Figur 2-2 Eksempler på energieffektive bygg i Trondheim: ZEB Living Laboratory ved NTNU/SINTEF (øverst), KIWI Dalgård (venstre) og Powerhouse Brattøra under oppføring (høyre). Foto: RISE Fire Research.

## 2.3 Samfunnsmessig utvikling

I Stortingsmelding 25 (2015–2016) *Kraft til endring – Energipolitikken mot 2030* [15] beskrives at befolkningsutvikling, økonomisk vekst, endret næringsstruktur, teknologisk endring og endrede energipriser vil være drivere for energibruken fremover. Elektrisitet

utgjør en stor del av energibruken i bygg, særlig på grunn av utstrakt bruk av elektrisitet for oppvarming, og det er spesielt behovet for romoppvarming som blir lavere i nye bygg. Forventet befolkningsøkning gjør at elektrisitetsbruken i bygninger (samlet) antas å vokse.

Enova, som eies av Klima- og miljødepartementet, har fått i oppdrag å bidra til reduksjon av klimagassutslipp og styrket forsyningssikkerhet for energi gjennom omlegging av energibruk og energiproduksjon. En forventet økning de kommende årene av energi- og effektforbruket kan motvirkes ved å bygge energieffektivt, for eksempel ved utvikling av teknologier og løsninger som bidrar til energibesparelser i både byggefase og driftsfase. Her er det også aktuelt med kraftproduksjon og felles løsninger for områder med bygninger. [15,16]

Norges Forskningsråd har en pågående satsning på forskningssentre for miljøvennlig energi (FME) [17], som skal løse utpekte utfordringer innenfor energi- og miljøområdet, blant annet med fokus på fornybar energi og energieffektivisering. Forskningssentre innenfor dette programmet som er relevant for energieffektive bygg har for eksempel fokus på nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN), smart grid (CINELDI) og solcelleteknologi (FME SUSOLTECH).

Selv om samlet energibruk i bygg og boliger øker over tid fordi bygningsmassen øker, går energibruken per kvadratmeter samtidig ned, fordi nye bygg krever mindre energi enn eldre. Rehabilitering av eldre bygninger bidrar også til lavere energibehov [16]. Et eksempel på tempoet i utviklingen er måten passivhus har gått fra å være banebrytende for omkring 20 år siden, til at forskriftskravet til energieffektivitet i nye bygg i dag nesten ligger på passivhus-nivå. Nullutslippshus ble introdusert for 8-9 år siden, og i dag ser vi også pluss-hus/energipositive bygg under oppføring. Det er likevel en viss treghet i systemet, og spørsmålet er hvor lang tid det vil ta å tilpasse hele boligmassen i samfunnet til et energiforbruk som er hensiktsmessig med tanke på klimaendringene.

Uansett, vil det samfunnsmessige økte fokuset på grønn teknologi og fornybare løsninger medføre at energieffektive bygg vil være et fokusområde for innovasjon og utvikling også i årene fremover.

## 2.4 Teknologi- og utviklingsfronten

I dette og de påfølgende avsnittene følger en kartlegging av hva som er kunnskapsfronten innenfor materialer, konstruksjonsmetoder, tekniske løsninger og krysningspunkt mellom ulike teknologier. Aspekter som påvirker brann og brannsikkerheten blir nærmere vurdert i kapittel 6.

Oversikten er basert på kartleggingen «Energibesparende bygg og brannsikkerhet» fra 2015 [1], oppdatert til 2019 ved supplerende informasjon fra forskningslitteratur, rapporter og veiledere, samt fra direkteinnspill fra bransjen (se avsnitt 2.5 for detaljer). Dette gir inndelingen i avsnittene under.

Innovasjon og utvikling gjør at det blir stadig nye tekniske løsninger, og trenden er at det generelt blir mer og mer teknikk for å styre energistrømmen i bygg. En annen generell trend er et økende fokus på livssyklus for materialer. Det vil si at samtidig som materialer

skal oppfylle krav til energieffektivitet, skal også bundet energi i materialene hensyntas, og samtidig skal materialene tilfredsstille miljøkrav til giftstoffer, avgassing etc. Her kommer miljøsertifiseringsordninger inn, som BREEAM [18] eller den norske tilpasningen BREEAM-NOR [19], hvor leverandører må dokumentere at produkter holder kvalitetskravene for å oppnå sertifisering av bærekraftige bygg.

Utviklingen gjør at det er mange ulike hensyn å ta i prosjekteringsfasen på et bygg, og gir også behov for tilpassinger når det gjelder drift og vedlikehold.

## Strømbruk

Alle norske strømkunder har innen utgangen av 2018 fått installert smarte strømmålere, også kalt AMS (avanserte måle- og styringssystemer). Smarte strømmålere kombinert med smarthusteknologi vil gi gode forutsetninger for husholdninger å tilpasse bruken av strøm til varierende priser på effekt (dvs belastning på strømmettet) [20]. Implementering av nye effekttariffer [21] og varierende strømpriser kan også påvirke strømforbruket, ved at strømkunder eksempelvis må betale nettleie ut fra hvor mye strøm de ønsker å bruke på én gang, i stedet for å betale for totalt strømforbruk. Dette vil kunne føre til jevnere strømforbruk i løpet av dagen, og følgelig også til økt nattlig strømforbruk. Dersom strømmen blir dyrere, vil en konsekvens være at flere vil komme til å ønske å produsere og lagre sin egen strøm. Dersom nettleien varierer kraftig over døgnet vil en konsekvens være at flere vil bruke egenprodusert strøm i perioder med høy nettleie.

## Energilagring/ energiutveksling

Etterspørselen etter å lagre energi lokalt i private boliger og næringsbygg forventes å øke i takt med utviklingen mot et grønnere samfunn. Lagring av egenprodusert energi vil tilrettelegge for å bruke strømmen etter behov, uavhengig av produksjon eller tid på døgnet. Implementeringen av effekttariffer og varierende strømpriser kan også være en pådriver for å installere et eget energilagringssystem. Det kan også være et ønske om å sikre seg energireserver ved strømbrudd på det ordinære strømmettet. Spesielt forventes industribygg å kunne gjøre store besparelser ved å utjevne belastningstopper ved bruk av egne energilagringssystem, såkalt «peak shaving».

Et energilagringssystem kan bestå av følgende teknologier:

- **Elektrokjemisk:** Oppladbare batterier gjør at elektrisk energi kan lagres som elektrokjemisk energi, og omdannes til elektrisk energi igjen.
- **Kjemisk:** Produsert energi benyttes til å generere hydrogen, som kombinert med en brenselcelle kan konvertere hydrogenet tilbake til elektrisk energi.
- **Mekanisk:** Et mekanisk system som øker den potensielle energien til et system, for eksempel ved å pumpe vann opp i et reservoar eller komprimere luft.
- **Termisk:** Væske varmes opp, og energien kan regenereres til elektrisk strøm. Innenfor termisk energiutveksling er også faseskiftende materialer aktuelt, hvor

smelte- og frysevarmen til faseskiftende materialer utnyttes, og brukes som en del av varmevekslersystem. Kraftvarme («combined heat-and-power» enheter) enheter kommer også under denne kategorien.

Det er også forventet en økning i «ladeklare bygg», etter Stortingets vedtak fra mai 2017 om at alle nybygg og bygg som underlegges større ombygginger skal være ladeklare [22,23]. Stortinget har pålagt regjeringen å utrede hvordan dette kan gjennomføres og iverksette tiltak, og arbeidet med dette er i gang. Tilrettelegging for lading av elbil i bygget vil også kunne gi økt bruk av system for energilagring/energiutveksling og energiproduksjon (eksempelvis solceller). Når elbilen blir en del av byggets energisystem, vil interaksjonen mellom elbil, energilager og energiproduksjon kunne medføre et endret risikobilde. Overskuddsenergi kan enten lagres for eget bruk, eller selges direkte tilbake til strømmettet, som beskrevet under *Strømproduksjon* nedenfor.

I dette prosjektet fokuseres det på elektrokjemisk energilagring ved hjelp av litium-ion-batterier. De andre løsningene er ikke vurdert i detalj i dette prosjektet. Se kapittel 4 og 6 for mer informasjon om batterier og brannsikkerhet

## **Strømproduksjon**

Desentralisering av energisystemer blir stadig vanligere i Europa og i Norge. Dette vil ifølge Norsk Klimastiftelse komme til å påvirke energimarkedet, samt teknikkens og regelverkets kompleksitet [24].

En strømforbruker som i enkelte timer produserer mer strøm enn eget forbruk, blir definert som en plusskunde, ut fra § 1-3 i forskrift om kontroll av nettvirksomhet [25]. Så lenge byggets anlegg er koblet sammen med resten av strømmettet vil energien flyte fra der den blir produsert og til der den blir brukt, uavhengig av om den kommer fra solceller, batteri eller vannkraft. Disse anleggene er begrenset til maksimalt 100 kW, og er unntatt deler av regelverket for elkraftprodusenter. For å få mate overskuddskraft inn til strømmettet må det være installert en måler som registrerer energien både inn til, og ut fra, forbrukeren. Dette blir ivaretatt av nye smarte strømmålere (AMS-målere) som blir installert hos alle strømabonnenter [26].

Dersom grensen på 100 kW overstiges, får det i dag økonomiske konsekvenser for byggeier, da det er andre avgifter som gjelder for elkraftprodusenter. Et innspill fra bransjen er at det virker som at regelverket ligger etter, og kan virke som en brems på utviklingen. Færre begrensninger vil kunne legge mer til rette for smart grid, eksempelvis med overføring av energi mellom bygg, bidrag til fjernvarmesystem, eller mikrogrid i nabolag.

Det vil være noen endringer i forskrift om kontroll av nettvirksomhet som trer i kraft 1. januar 2019, hjemlet i «endring i forskrift om kontroll av nettvirksomhet» [27]. Her er det gjort en endring der § 16-2 blir til ny § 15-2, og der «andre tariffledd er erstattet med «fastledd for innmating». Det er fortsatt slik at plusskunder ikke skal belastes dette fastleddet. Det er ikke gjort noen endringer på definisjonen av plusskunder eller effektbegrensningen på 100 kW.



## Solceller

Det fins mange ulike typer solcellemoduler og former for solcelleinstallasjoner. Dette er nanoteknologi i rask endring, og det fins mange ulike aktører på solenergimarkedet. Ifølge Solenergiklyngen (næringsklynge som jobber for solenerginæringen i Norge) er de overordnede hovedlinjene i markedet at krystallinske silisium-moduler vil komme til å dominere markedet for retrofit og utenpåmonterte solceller i flere år fremover. Bygningsintegrerte solceller er foreløpig lite utbredt i Norge, men her vil mest sannsynlig estetikk gjøre at glass-glass solceller vil ta størstedelen av markedet. Det fins også andre typer solceller, eksempelvis CIGS (kobber-indium-gallium-diselenid), men disse vil mest sannsynlig forbli et marginalt produkt i Norge, ifølge næringsklyngen. Se kapittel 3 og 6 for mer informasjon om solceller og brannsikkerhet.

## Smarte fasader

Smarte fasader endrer egenskaper ved behov for å spare energi til oppvarming og nedkjøling i bygget. Et eksempel er glassfasader som endrer mørkhet etter innkommende lysfluksnivå. Andre former for smart solskjerming kan være spenningsstyrt. Denne typen system vil innebære at det blir mer elektronikk i forbindelse med tak og fasader på bygg. Smarte fasader er i dag primært på forskningsstadiet, men vil nok komme mer og mer på markedet i årene fremover.

## Isolasjon

Det er mange ulike isolasjonsprodukter og isolasjonsteknikker på markedet i dag. Noen produkter er klassifisert som brennbare, andre som ubrennbare. Felles for isolasjonsområdet er at de økte kravene til termisk isolasjon i moderne bygg gjør at det er behov for å benytte enten tykkere isolasjon eller isolasjon med bedre egenskaper enn tidligere.

Noen eksempler på utviklingen er presentert i rapporten «Energibesparende bygg og brannsikkerhet» [1]; økt bruk av plast i byggevarer, samt innovative isolasjonsmaterialer som vakuumisolasjonspaneler og fiberarmerte polymerkompositter. I tillegg til dette er dobbeltfasader, hvor en glassfasade monteres utenpå den eksisterende fasaden for å forbedre den termiske isolasjonen til bygget.

Flere nye materialer er introdusert de senere årene, og er ifølge bransjen på vei inn i markedet mer og mer. Eksempler på disse er isolasjonsmatter med aerogel, og faseskiftende materialer som kan lagre varme. Sistnevnte har nylig blitt uttestet på en enebolig ved NTNU, med 6 mm tykke plater med innkapslet parafin-baserte kuler, kledd inn med gipsplater. En annen trend er biobaserte isolasjonsprodukter, laget med materialer som ull, cellulose og trefiber. Det er generelt stor interesse for å anvende avfallsprodukter eller gjenvinne materialer, og her er det først og fremst miljøaspektet som driver utviklingen.

Nye produkter må ikke bare kunne konkurrere med eksisterende produkter på markedet på termisk isolasjonsevne, men også på robusthet og levetid. Brannsikkerhet er også et tema når nye produkter introduseres.

## **Tettere bygg**

En egenskap som går igjen for enkelte typer energieffektive bygg, er at byggene er tettere enn konvensjonelle bygg, og dermed har mindre varmelekkasje og mindre behov for energi til oppvarming. Dette kan igjen påvirke brannodynamikken og innsatsen fra brannvesen i slike bygg, som beskrevet nærmere i kapittel 5 og 6.

## **Trevirke**

I dagens nybygg er det økt fokus på bruk av trevirke som limtre og massivtre, på grunn av miljøprofilen til produktene. Slik energieffektive bygg er definert i dette prosjektet, med fokus på energiforbruk og energiproduksjon i driftsfasen, påvirker ikke mengden trevirke direkte hvor energieffektivt bygget er. Trevirke kan likevel være relevant for energieffektive bygg, ettersom det i denne typen bygg også kan være aktuelt med miljøsertifiseringer (som beskrevet ovenfor), hvor total mengde bundet energi eller faktorer som CO<sub>2</sub>-utslipp skal tas hensyn til.

## **Ventilasjon**

Inneklima er et viktig fokusområde i moderne bygg. Når det gjelder ventilasjon og ventilasjonsløsninger, jobber man for å få ned trykktapene i bygg. Dette innebærer at man øker kanaldimensjonene for å oppnå lavere lufthastigheter. En utfordring med større tverrsnitt på kanaler er at dette tar mer plass. En løsning som brukes mer og mer er at selve bygningskonstruksjonen brukes som ventilasjonskanaler, eksempelvis trappesjakter og korridorer, eller ved å kjøre luft over himling eller i gulv (som da fungerer som plenumskammer). Dette gir lave lufthastigheter og lave strømningsstap. Som en konsekvens er mange bygninger mer åpne enn det som har vært vanlig tidligere.

Større krav til energieffektivitet gjør at det er et ønske om å bruke mindre strøm til drift av vifter, og dette løses gjerne ved å kombinere mekanisk med naturlig ventilasjon. Behovsstyring med hensyn på temperatur, luftkvalitet og tilstedeværelse i bygget er i dag vanlig i skole- og kontorbygg. Smart styring av ventilasjonen vil nok øke fremover, ved at bygget bruker «big data» til å lære seg hvordan brukerne bruker bygget (når folk ankommer og drar), og også kunne styre behov for oppvarming og nedkjøling ut fra værmelding for neste dag etc.

## **Sensorbruk**

Utviklingstrenden i moderne bygg inkluderer også økt sensorbruk. Dette kan være relevant også for energieffektive bygg, ved smart styring av bygget, se nedenfor. Sensorbruk kan også knyttes opp til andre områder som velferdsteknologi, hvor det er økende bruk av trykksensorer, dørsensorer, bevegelsessensorer, lokaliseringsteknologi (GPS), fallsensorer, komfyrvakt, videokommunikasjon, telemedisinske videoløsninger, biomedisinske sensorer, robotstøvsugere osv.

## Smart styring / Internet of things

Til slutt i oversikten over teknologi- og utviklingsfronten inkluderes trenden med smarte styringssystemer og «internet of things», som vil komme til å påvirke de fleste områder nevnt til nå, på sikt. Utviklingen går fort, og det skjer mye i krysningspunktet mellom ulike system og teknologier. Grad av automatisering varierer veldig fra bygg til bygg i Norge i dag. I dag er det en del automasjon, særlig innen varme, ventilasjon og belysning. Full integrering av alle elektriske system (varmeovner, kjøleskap, solceller, batterier, varmepumper, komfyrer osv.) innad i et bygg, eller integrering av flere bygg eller hele bydeler ligger foreløpig et stykke fremover i tid.

## 2.5 Innspill fra workshop og intervju

### 2.5.1 Workshop

Som beskrevet i avsnitt 1.4.2 ble det gjennomført en workshop 6. juni 2018. Det var deltakere fra myndigheter (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK)), ENOVA, Trondheim kommune, brannvesen (Trøndelag brann og redningstjeneste (TBRT) og Mosseregionens interkommunale brann og redning (MIB)), entreprenørfirma (Skanska og HENT), brannrådgivere (Asplan Viak, Erichsen&Horgen, Multiconsult, Sweco og TekØk Rådgivning), byggeier (Agenda eiendom), representant for leverandører av solceller (Solenergiklyngen) og SINTEF Industri. Det var totalt 18 deltakere, i tillegg til 5 fra RISE.

RISE gav informasjon om prosjektet, etterfulgt av seks innlegg fra deltakerne:

- DSBs rolle i prosjektet, Tommy Ueland, DSB
- Regelverk energieffektive bygg, Vidar Stenstad, DiBK
- Brannen i ASKO-bygget, Roy Kristensen, Mosseregionen interkommunale brannvesen
- Utdringer ved prosjektering, Vegard E. Olsen, Multiconsult
- Byggeiers møte med solcelleinstallasjon, Rolf Nilsen, Agenda Eiendom
- Powerhouse på Brattøra, Svein Nassvik, Skanska

Innspill som gjelder spesifikt for solceller og batterier er gjengitt henholdsvis i avsnitt 3.7 og 4.6.1. Her følger en oppsummering av deltakernes innspill knyttet til energieffektive bygg og brannsikkerhet generelt:

- Kunnskapshull: Varierende strømforbruk i løpet av dagen kan gi økt strømforbruk om natta, noe som kan føre til at branner oppstår oftere mens folk sover.
- Testing: Det er viktig at alle nye produkter testes mot relevante tester og ikke mot «fyrstikktester», det vil si tester som kan være irrelevante, underdimensjonerte og for «snille». Det er også viktig å undersøke samspillet mellom ulike materialer og produkter, samt hele tverrsnitt av system.
- Regelverk: Det er ikke nødvendigvis behov for umiddelbare endringer i TEK, men det bør utarbeides gode veiledere når nye teknologier skal tas i bruk. Her bør insentiver for brannsikkerhet belønnes, altså gulrot fremfor pisk.

## 2.5.2 Intervju

### **Innspill fra bransjen**

I kartleggingen av state-of-the-art, presentert i avsnitt 2.4, er innspill fra aktørene som er listet opp under inkludert, i tillegg til innspill fra workshop beskrevet i avsnitt 2.5.1. Innspillene er innhentet via telefonmøter og epost-korrespondanse fra følgende informanter:

- Kontaktperson ved DSB
- Kontaktperson ved DiBK
- Leder for forskningssenteret FME ZEN- Zero emission neighbourhoods in smart cities, Institutt for arkitektur og teknologi, NTNU
- Leder for forskningssenteret FME SUSOLTECH- The Research Center for Sustainable Solar Cell Technology, Institutt for energiteknikk (IFE)
- Professor med kompetanse på ventilasjon, Institutt for energi og prosessteknikk, NTNU
- Utviklingssjef, Grønn Byggallianse
- Gruppesjef bygningsfysikk og innemiljø, Energy and circular economy, RISE Built Environment, Sverige

## 3 Solceller

Når det gjelder solceller, har målsetningen i dette prosjektet vært å kartlegge utfordringer som oppstår når solceller skal installeres på eller i en bygning, og hvilke konsekvenser solcellene har for brannsikkerheten i bygget. Målet er å sette solcelleteknologien i sammenheng med resten av energiforsyningen for å avdekke brannrelaterte utfordringer som oppstår som en konsekvens av dette. I dette avsnittet presenteres resultater fra denne kartleggingen.

### 3.1 Bakgrunn

Bruken av solceller er i vekst i Norge i dag, spesielt ser vi en kraftig økning i nett-tilknyttede solcelleinstallasjoner fra 2016 [16].

Sannsynligheten for at det oppstår brann i en solcelleinstallasjon er estimert til å ligge et sted mellom 30 og 1250 branner per million solcelleinstallasjoner per år. Til sammenligning oppstod det 182 branner med elektrisk årsak per million boliger i Norge i 2017 [2]. Den store spredningen i sannsynlighet indikerer at solcelleinstallasjoner kan utgjøre en vesentlig større risiko for brann enn det eksisterende elektriske anlegg i norske boliger utgjør i dag. Statistikkgrunnlaget er hentet fra en italiensk [28] og en tysk studie [29]. Disse er ikke uten videre sammenlignbare med hverandre eller med norske forhold. Den italienske studien peker på en markant økning i branner i solcelleinstallasjoner i tiden etter en rask økning av installert effekt og svært stor pågang i markedet for solceller. Dette mener de har ført til at mange solceller er installert av folk med liten erfaring og kompetanse med solceller.

I den tyske studien er det estimert 30 branner per million solcelleinstallasjoner per år. Dette er bare medregnet branner som startet i solcelleinstallasjonen og som førte til skader på bygningen. Fordelingen mellom branner i ulike typer solcelleinstallasjoner tyder på at takintegreerte solceller gir 20 ganger høyere brannrisiko enn tradisjonelle utenpåmonterte solceller. Se kapittel 3.3 for mer detaljer om dette.

I Storbritannia er det også samlet inn informasjon om branner som er relatert til solcelleinstallasjoner. Arbeidet med dette er gjennomført av forskningsinstituttet BRE og referert i en rapport [30]. De har totalt funnet 42 tilfeller av brann eller varmgang der solcelleinstallasjonen var årsaken. Av disse var 17 branner kategorisert som alvorlige, fordi de var vanskelige å slokke og spredte seg videre fra arnestedet. I Storbritannia var det i begynnelsen av 2017, da studien ble gjennomført, omtrent en million solcelleinstallasjoner. De aller fleste av disse produserte en effekt under 4 kW.

En brann i mellomrommet mellom et tak og en utenpåmontert solcellemodul gir en større varmepåkjønning ned mot takoverflaten enn den ville ha gjort på et tak som ikke er tildekket. En serie med forsøk i ulik skala peker på at dette er i stor grad på grunn av tilbakestrålingen av varmen fra undersiden av solcellemodulene [31–33]. Dette fører til at en brann kan bli større og spre seg raskere ut over taket enn den ville ha gjort på et tak uten solceller.

## 3.2 Skalering av brannrisiko

En stort og en liten solcelleinstallasjon er i prinsippet bygd opp på samme måte. Forskjellen ligger i antall solcellemoduler. For å unngå at spenningen i anlegget blir for høy, blir solcellemodulene koblet i serie til de når en øvre maksimal spenning, normalt inntil 1000 V. Dersom en solcelleinstallasjon har tre eller flere parallelle solcellestrenger, stiller NEK 400:2018 krav til at det installeres overstrømsvern på hver av strengene [14]. Dette vernet skal hindre at strømmer fra flere strenger samles gjennom en enkelt streng ved en feil, slik at kretsen blir overbelastet. I installasjoner med én eller to parallelle strenger er det ikke mulig å generere en større feilstrøm gjennom en av strengene enn det strengen skal tåle. Selv om dette utgjør en prinsipiell terskel i skaleringen av solcelleinstallasjoner, er det ikke kjent om denne økningen i kompleksitet medfører noen vesentlig økt brannfare. Dersom overstrømsvernet fungerer som det skal, vil denne typen feil kunne hindres.

Generelt vil en stor solcelleinstallasjon ha flere komponenter og flere koblingspunkter som potensielt kan føre til brann. Ut over dette øker ikke kompleksiteten vesentlig med størrelsen på installasjonen.

## 3.3 Bygningsintegreerte solceller (BIPV)

Der solcellemodulene blir integrert som en del av bygningen, og har en funksjon utover å produsere strøm, må også relevante krav for disse funksjonene ivaretas. For eksempel kan solcellemoduler også ha funksjon som takteking i stedet for takstein eller andre typer takoverflate. En tysk studie fra 2013 [29] indikerte at denne typen solcellemoduler førte til 20 ganger større brannrisiko enn konvensjonelle utenpåliggende solcellemoduler. På det tidspunktet utgjorde bygningsintegreerte solcellemoduler omtrent 1 % av alle installerte solceller i Tyskland og stod samtidig for omkring 20 % av tilfellene med skade på bygninger. De stod også for 11 % av de 180 rapporterte branntilfellene i studien. Det vil si at takintegreerte solceller er omtrent ti ganger overrepresentert blant branntilfellene. I tillegg viser studien at 57 % av branntilfellene som startet i takintegreerte solceller førte til skade på bygningen (11 av 20 branner), mens 35 % av brannene som startet i solceller som var montert utenpå taket førte til skade på bygningen (32 av 92 branner). Oppsummert viser dette både at solcellene som var integrerte i taket hadde større sannsynlighet for brann, og at de oftere førte til skade på bygningen når de tok fyr.

Studien peker på at en mulig årsak til dette er at når det oppstår en brann i en bygningsintegreert solcelleinstallasjon, er brannen allerede inne i bygningskroppen. Dersom det oppstår brann i en utenpåliggende solcelleinstallasjon, kan overflaten på bygningen fortsatt hindre brannen fra å spre seg inn i bygget.

Datagrunnlaget i den tyske studien strekker seg frem til 2012, og på dette tidspunktet var bygningsintegreerte solceller veldig lite utbredt. Vår vurdering er at modenheten til teknologien kan ha vært en vesentlig årsak til denne økte brannfaren på dette tidspunktet. Forskjellen mellom en installasjon med bygningsintegreerte solceller og tradisjonelle utenpåmonterte solceller ligger i hovedsak i utformingen og monteringen av solcellemodulene. Modulene skal utfylle en funksjon som bygningsskall i tillegg til at

de skal produsere strøm. Dette gjør at det må tas flere hensyn samtidig. Dette kan være både bygningstekniske og estetiske hensyn som gir begrensninger til hvordan installasjonen kan utformes. Sammenlignet med utenpåliggende solceller, kan dette gi en mindre optimal installasjon med tanke på tekniske og praktiske hensyn til en brann sikker solcelleinstallasjon.

Bygningsintegrerte solceller er en del av bygningskonstruksjonen, og har følgelig mindre plass på baksiden. Dette kan gi mindre plass til kabler, koblinger og kjølede luftsirkulasjon. Solcellemoduler som er utformet som takstein eller andre relativt små elementer, gjør at det må installeres flere moduler for å oppnå en gitt effekt enn tradisjonelle solcellemoduler. Dette gir flere koblingsbokser og kabelskjøter som kan føre til brann dersom det oppstår dårlig kontakt.

Det er søkt etter nyere studier som har undersøkt brannrisikoen i bygningsintegrerte solcelleinstallasjoner, men uten resultat. Det er gjort mye forskning på bygningsintegrerte solceller de siste årene, men ingen av disse studiene har hatt fokus på brann sikkerheten til denne typen installasjoner. Påstanden fra den tyske studien fra 2013 om at bygningsintegrerte er farligere enn utenpåmonterte solceller står dermed fremdeles uten å ha blitt verken motbevist eller underbygget.

## 3.4 Regelverk, veiledninger og standarder

Relevant regelverk for solcelleinstallasjoner i Norge er dekket av byggesaksforskriften (SAK10), byggteknisk forskrift (TEK17) og NEK 400-7-712. Innholdet i disse er beskrevet i rapporten «Solcelleteknologi og brann sikkerhet» [2], men ingen av dem stiller spesifikke krav til hvilke standarder som skal benyttes for godkjenning av komponenter til solcelleinstallasjoner.

Installasjon av solcelleinstallasjoner er å regne som elektriske arbeider ifølge DSB [2]. Dette medfører at de omfattes av el-tilsynsloven, og skal kun skal utføres av virksomheter registrert i DSBs elvirksomhetsregister. Ifølge DSB fins det unntak fra regelen, ihht. veiledning til §6 i Forskrift om elektroforetak [34,35], for arbeid på lavvoltsanlegg under 50 V vekselstrøm eller 120 V likestrøm og med effekt mindre enn 200 W når det er produsert løsninger som er sikre for montasje av ufaglærte, og som ikke kan utgjøre noen berøringsfare. Begrensningen i effekt gjør at dette kun kan gjøres for solcelleinstallasjoner med en enkel og relativt liten solcellemodul. Typisk gjelder dette for små solcelleinstallasjoner for hytter eller lignende, med ferdig terminerte kabler som kan plugges sammen uten bruk av verktøy.

### 3.4.1 Tysk regelverk

I Tyskland har solcelleinstallasjoner vært utbredt i større grad og i lengre tid enn i Norge. Det kan derfor være relevant å trekke lærdom fra tysk regelverk.

Musterbauordnung (MBO) angir enhetlige byggeregler som de enkelte tyske delstatene (Bundesland) baserer sine byggeregler på [36]. Solcelleinstallasjoner på yttervegg er nevnt under § 28 Aussenwände (yttervegger) og i § 32 Dächer (tak). *Veröffentlichung*

der *Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen* (MVV TB) angir hvordan kravene gitt i MBO kan oppfylles [37].

Generelt sett skal yttervegger og elementer i yttervegger være utformet slik at brannspredning i slike bygningsdeler er begrenset i tilstrekkelig lang tid. Overflater på yttervegger skal være *schwerentflammbar* (tungt antenkelig/lite brennbart, definert i MVV TB). Solcelleinstallasjoner som går over mer enn to etasjer på yttervegg må være *schwerentflammbar*. Slike materialer skal ikke kunne avgi brennende dråper eller biter i en brann. Denne klassifiseringen dokumenteres ved test i henhold til standard *DIN 4102-20:2016-03 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Besonderer Nachweis für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen* [38].

Solcelleinstallasjoner på tak er nevnt i § 32 Dächer (tak) i MBO. Takbelegg skal motstå en brannpåkjenning av flyvebrann og varmestråling i tilstrekkelig lang tid. Solcelleinstallasjoner skal, i likhet med andre elementer på tak (takutstikk, takgesims, takteking, takvindu, lyskupler og overlys) utføres slik at brann ikke kan spre seg til andre bygningsdeler eller til naboeiendom. Solcellemoduler skal plasseres minst 1,25 meter fra brannvegg (eller fra annen vegg dersom det ikke er krav om brannvegg), såfremt veggen ikke skal beskytte installasjonen mot brannpåvirkning. Solcellemodulene skal altså ikke «bygge bro» over brannvegger. Takbelegg dokumenteres ved testing i henhold til *DIN 4102-7:1987-03 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 7: Bedachungen - Anforderungen und Prüfungen* [39] i kombinasjon med *DIN SPEC 4102-23:2011-10 Fire behaviour of building materials and building components - Part 23: Roofs - Application rules for test results for roofs tested to DIN V ENV 1187, test method 1, and DIN 4102-7* [40].

Oppsummert, skal solcellemoduler i henhold til det tyske regelverket testes og dokumenteres som overflatematerialer på vegg og tak. Tester som dokumenterer brannspredning i modulene som følge av brannpåkjenning innenfra bygningen, eller som følge av brannstart i selve modulene er ikke omfattet av bygningsregelverket.

### 3.4.2 Bransjeveiledninger

Solenergiklyngen er en næringsklynge som jobber for solenerginæringen i Norge. De har en innovasjonsgruppe som for tiden arbeider med å få på plass en veileder om solcellenergi prosjekter for solenergibransjen.

Generelt for byggevarer, pågår det for tiden mye arbeid internasjonalt med standarder og regelverk på fasader og brannspredning. Mye av dette arbeidet er ikke ferdigstilt på det nåværende tidspunkt, men kan være relevant for solceller på vegg, både integrert og utenpåmontert.

### 3.4.3 Teststandarder og testspesifikasjoner

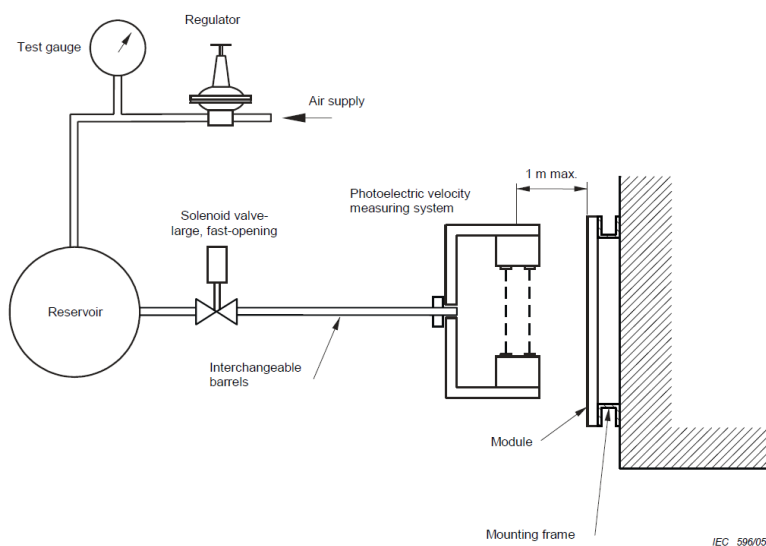
Det eksisterer en rekke teststandarder for solceller. Forskningsinstituttet BRE i Storbritannia har gjennomført en litteraturstudie og kartlagt standarder som er relevante for brannsikkerhet i solcelleinstallasjoner [41]. I rapporten er det listet opp 87 standarder som er relatert til solceller og brann. De fleste av disse standardene kommer



fra International Electrotechnical Commission (IEC). Noen av de mest sentrale standardene for solcelleinstallasjoner er listet opp i delkapitlene under.

### 3.4.3.1 NEK IEC 61215

NEK IEC 61215 er en teknisk standard som definerer krav til design, kvalifisering og typegodkjenning av solcellemoduler [42]. Testsekvensen som er beskrevet i denne standarden er utviklet for å bestemme elektriske og termiske egenskaper til modulen for å undersøke om den vil kunne tåle forventede belastninger over tid. Testsekvensen inneholder blant annet visuell inspeksjon, isolasjonsmotstandsmålinger, ytelsesmålinger ved ulike varmestrålingsnivå, eksponering for vær og vind, eksempelvis UV-stråler, temperaturforandringer, (snø)last og hagl. Denne teststandarden inneholder ingen tester for branneksposering.



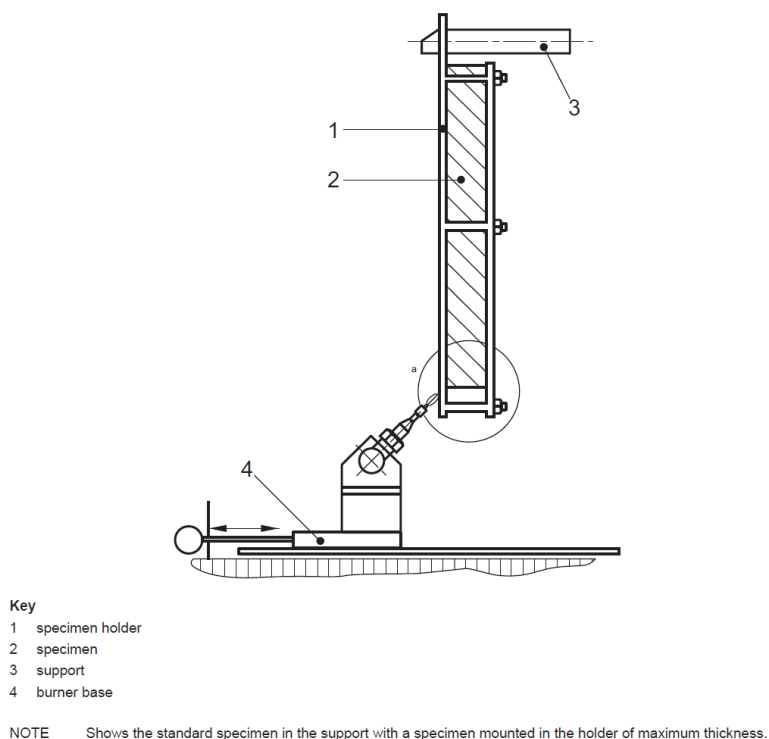
Figur 3-1 Eksempel på utstyr til å skyte hagl på en solcellemodul. Figur hentet fra NEK IEC 61215 [42].

### 3.4.3.2 IEC 61730

IEC 61730 er en standard i to deler, der IEC 61730-1 inneholder krav til konstruksjonen, og IEC 61730-2 inneholder krav til testing [43,44]. Denne standarden omhandler sikkerhetskrav for hvordan en solcellemodul skal konstrueres og testes for å hindre fare for elektrisk sjokk, brann og personskaide på grunn av mekanisk belastning. Som test for antennelighet er det referert til ISO 11925-2 som er en teststandard der et prøvestykke blir eksponert for en 20 mm lang flamme i 15 eller 30 sekunder [45]. Denne testen brukes også i det europeiske systemet for branntesting og klassifisering av byggevarer [46]. Testoppsettet er som vist i Figur 3-2. For brannmotstand fra eksterne brannkilder refererer standarden til nasjonale og lokale retningslinjer som kan stille krav til

solcellemoduler som blir montert på eller i en bygning. I annex B, som er informativt, er det gitt et eksempel på en aktuell branntest for solcellemoduler basert på test metode nummer 1 fra ENV 1187 [47] (se kapittel 3.4.3.5). Det er i tillegg referert til UL 1703 [48] som en aktuell standard for klassifisering av solcellemoduler på tak (se kapittel 3.4.3.6).

Fra desember 2017 er denne standarden harmonisert med den amerikanske UL 1703 og er publisert som UL 61730-1 og UL 61730-2 [49,50]. Nye produkter, og produkter som er endret og som tidligere var godkjent etter UL 1703, må følge de nye retningslinjene i UL 61730-1 og -2 innen desember 2019.



Figur 3-2 Test av et prøvestykke med brannpåkjenning fra en liten flamme. Figur hentet fra ISO 11925-2 [45].

### 3.4.3.3 IEC 62446

IEC 62446 er en teknisk standard som stiller krav til hvordan en solcelleinstallasjon skal dokumenteres, testes og vedlikeholdes [51]. Dette er en standard som omhandler hele solcelleinstallasjonen som et komplett system. Det stilles krav til testing, dokumentasjon og vedlikehold.

### 3.4.3.4 EN 13501-5

EN 13501-5 er en standard for klassifisering av tak ved utvendig branneksponeering [52]. Denne standarden refererer til fire ulike testmetoder som er beskrevet i CEN/TS 1187 [47].

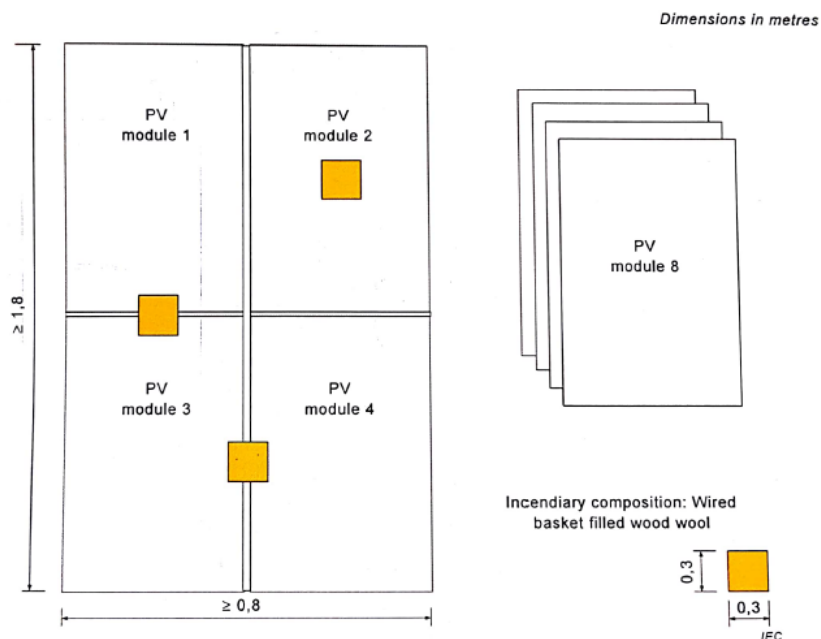
### 3.4.3.5 CEN/TS 1187

CEN/TS 1187 er en teknisk spesifikasjon som inneholder fire ulike testmetoder for ekstern branneksponeering på tak [47]. Ingen av disse testmetodene nevner solceller direkte, men definerer taket som det som sørger for værtetting inkludert dampsperre, isolasjon og innfesting. Dette vil si at utenpåmonterte solceller som ikke har noen funksjon som værtetting av taket, ikke direkte er dekket av denne standarden. Bygningsintegreerte solceller som har oppgave som en del av værtettingen kan testes sammen med resten av takkonstruksjonen etter disse testmetodene.

I Norge er det testmetode nummer 2 som er preakseptert i henhold til veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK) [53]. I veiledning til § 11-9 står det at taktekking som tilfredsstillende  $B_{\text{ROOF}}(t_2)$  (alternativt klasse Ta) er preakseptert. Det vil si at materialet skal testes etter testmetode nummer 2 som vist nedenfor. Småhus som har minst 8 meter avstand til nabobygg kan ha uklassifisert taktekking. Småhus er definert som enebolig, to- til firemannsbolig, rekkehus, kjedehus og terrassehus til og med tre etasjer.

#### **Testmetode 1**

I den første testmetoden for tak som er beskrevet i CEN/TS 1187, skal prøvestykket være minst  $0,8 \times 1,8$  meter. Det skal eksponeres for en kurv med treull som måler  $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ . Prøvestykket skal ikke eksponeres for vind eller varmestråling utover det som genereres av kurven med treull. Testmetoden gir mer fleksibilitet til oppbygging av større prøvestykker enn testmetode 2 og 4. Figur 3-3 viser testoppsettet med fire solcellemoduler og plasseringen av brannkilden. Dette er den gjeldende testmetoden i Tyskland.



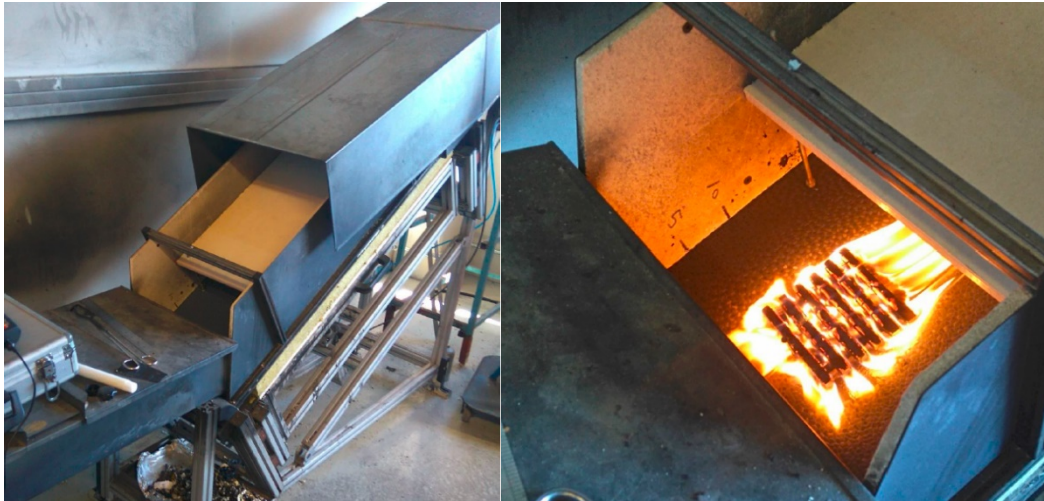
Figur 3-3 Oppsett for branntesting av tak med solcellemoduler basert på testmetode 1 fra CEN/TS 1187 [47]. Figuren er hentet fra IEC 61730 [43,44].

Vår vurdering er at denne testmetoden lar seg bruke til å gjennomføre branntester av solcellemoduler på samme måte som andre takoverflater, i og med at testoppsettet er stort og åpent og tillater oppbygging av en realistisk, liten solcelleinstallasjon med tilhørende festesystemer. For branner i mellomrommet mellom solcellemodulene og takoverflaten er den imidlertid ikke dekkende. Den inneholder heller ingen metodikk for hvordan kombinasjoner av solcellemoduler, opphengsystem og takoverflate kan godkjennes. For bygningsintegreerte solceller gir denne testmetoden mulighet til å bygge opp en representativ konstruksjon med alle relevante komponenter og materialer.

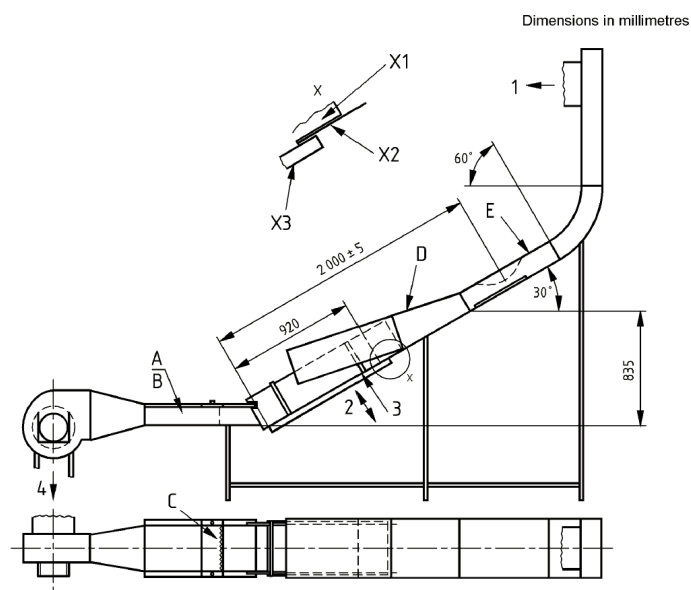
## Testmetode 2

Testmetode nummer 2 bruker prøvestykker som måler 400 mm × 1000 mm. Prøvestykkene er montert i en kanal som styrer luftstrømmen over takoverflaten, og blir eksponert for en brann fra en liten trekrybbe, som måler 100 mm × 100 mm × 20 mm, som tennes før den blir plassert på takoverflaten. Ei vifte blåser luft med en definert hastighet oppover langs takoverflaten. Denne metoden anvendes for branntesting av takbelegg i de nordiske landene. Testoppsettet er vist i Figur 3-5. Skadebildet på materialet etter at det har slokket avgjør hvilken klassifisering materialet får.

Smeplass gjennomførte i forbindelse med sin masteroppgave forsøk med et takbelegg og en simulert solcellemodul etter denne testmetoden [54]. Solcellemodulen var simulert med en ubrennbar plate som ble montert 12,5 cm over takbelegget parallelt med dette. Dette førte til at skaden på takbelegget ble 20-25% større enn det ble da det ble testet uten den simulerte solcellemodulen. Testomfanget var begrenset, og resultatene er derfor indikative.



Figur 3-4 Oppsett for branntesting av tak med en simulert solcellemodul basert på testmetode 2 fra CEN/TS 1187. Bildene er hentet fra Smepluss [54], med tillatelse.



#### Key

Detail drawings, Figures 7 – 11.

A	Lower air channel, side and top view	X1	Wall channel section
B	Lower air channel, end view	X2	Lower end of upper air channel bottom plate
C	Corrugated perforated plate near test specimen	X3	Test specimen
D	Lid section		
E	Narrow pass section of upper air channel		

#### NOTES

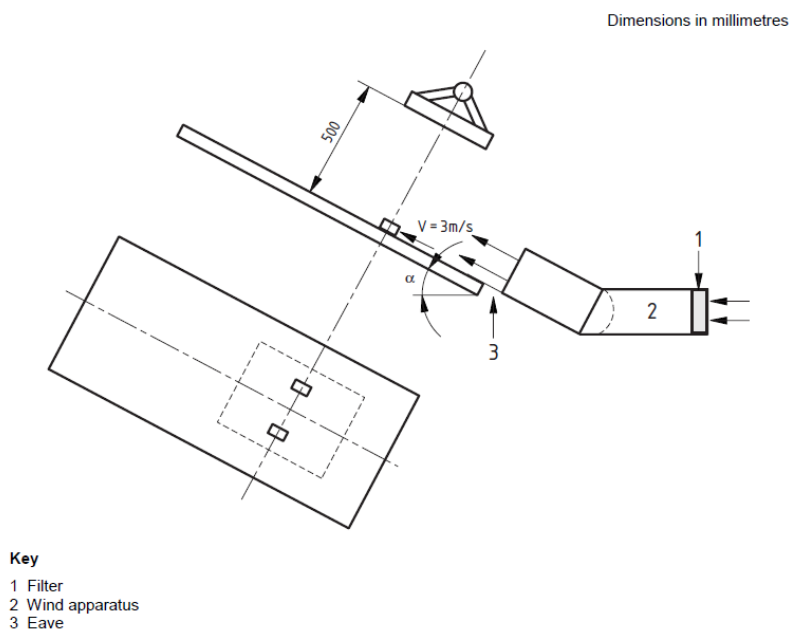
1	To exhaust system	3	Test specimen
2	Arrangements to raise test specimen into testing position	4	Air inlet

Figur 3-5 Testoppsett nummer 2 for branntesting av takoverflater mot ekstern brannpåkjenning med en trekrybbe. Figur hentet fra CEN/TS 1187:2012 [47].

Vår vurdering er at denne testmetoden er i for liten skala til å kunne teste solcellemoduler på en representativ måte. Man kan i prinsippet sage opp en solcellemodul til 400 mm x 1000 mm og teste denne, men dette vil ikke bli særlig representativt for en reell solcelleinstallasjon med innfestingssystem, luftrom og underliggende takteking.

### Testmetode 3

Den tredje testmetoden som er beskrevet i CEN/TS 1187 ligner på testmetode 2, men har i tillegg påkjenning med ekstern varmestråling mot prøvestykket. Prøvestykket skal være minst 1,2 m × 3 m. Eksempel på testoppsett er vist i Figur 3-6. Dette er den gjeldende testmetoden i Frankrike.

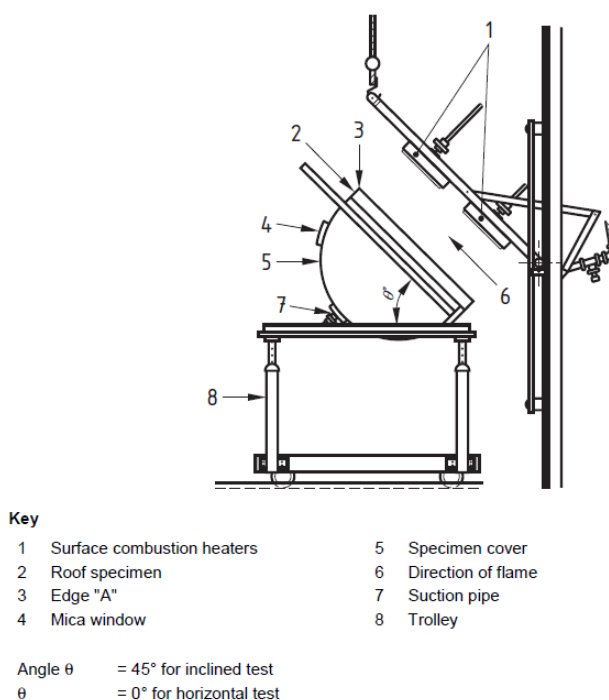


Figur 3-6 Testoppsett nummer 3 for branntesting av takoverflater mot ekstern brannpåkjenning med en trekrybbe og ekstern varmestråling. Figur hentet fra CEN/TS 1187:2012 [47].

Vår vurdering er at denne testmetoden lar seg tilpasse til større oppbygde prøvestykker omtrent like godt som testmetode 1, men denne er heller ikke spesielt tilpasset solceller med innfesting og luftrom over underliggende takteking. For bygningsintegreerte solceller gir denne testmetoden mulighet til å bygge opp en representativ konstruksjon med alle relevante komponenter og materialer.

### Testmetode 4

Den fjerde testmetoden har eksponering av takoverflaten i flere trinn med en gassbrenner, ekstern varmestråling og vind. Prøvestykket skal måle 0,84 m × 0,84 m. Denne metoden anvendes for branntesting av takbelegg i Storbritannia. Eksempel på testoppsett er vist i Figur 3-7.



Figur 3-7 Testoppsett nummer 4 for branntesting av takoverflater mot ekstern brannpåkjenning med en gassbrenner og ekstern varmestråling. Figur hentet fra CEN/TS 1187:2012 [47].

Vår vurdering er at denne testmetoden ikke gir rom for å bygge opp en representativ solcelleinstallasjon, verken for bygningsintegreerte solceller eller utenpåmonterte solceller.

### 3.4.3.6 UL 1703

UL 1703 er en amerikansk standard som omhandler flere sikkerhetsaspekter ved solceller [48]. Vi har ikke hatt tilgang til fulltekstversjonen av denne standarden, og vår gjennomgang er derfor basert på indirekte kilder [55–57]. Standarden stiller krav til både elektrisk ledende og isolerende materialer og komponenter. Blant testene som er beskrevet, finnes tester for temperaturpåkjenning, mekanisk belastning, korrosjon, lysbuer og brannpåkjenning. Modulene kan enten kvalifiseres uavhengig av takunderlag, eller som en kombinasjon av solcellemodul og takbelegg. Denne standarden dekker både solcellemoduler som er montert utenpå eller i en bygning, og frittstående solceller som ikke er montert på eller i en bygning.

Branntestene dekker både solcellemoduler eksponert for brann fra oversiden uten brennbart underlag, og tester der solcellemodulene testes som et komplett system med solcellemodul, festesystem og takbelegg.

For bygningsintegrerte solcellemoduler refereres det til UL 790 som er en teststandard for takbelegg [58].

UL 2703 er en standard som tidligere var en del av UL 1703, og dekker opphengssystemet. Ifølge UL<sup>2</sup> er UL 1703 i ferd med å bli avløst av UL 61730 (se avsnitt 3.4.3.2) og UL 2703.

Vår vurdering er at denne standarden er utviklet for å kunne teste de egenskapene som er viktige i kombinasjonen mellom utenpåmonterte solcellemoduler, monteringsystem og underliggende taktekking. Dette er også den eneste teststandard vi har funnet som er utviklet for testing og klassifisering av solcellemoduler på tak.

### 3.4.3.7 NEK CLC/TR 50670

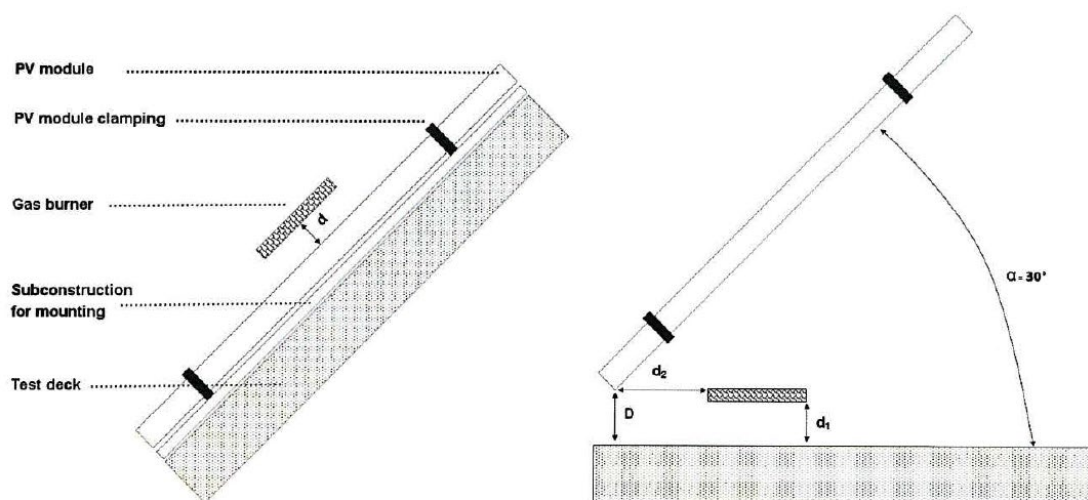
NEK CLC/TR 50670 er en teknisk rapport som beskriver branntester for ekstern brannpåkjenning på tak med utenpåmonterte solcellemoduler [59]. Brannpåkjenningen er en 15 kW gassbrenner som kan plasseres utenpå solcellemodulen, eller mellom solcellemodulen og takoverflaten. Underlaget som solcellemodulen blir montert over skal være ubrennbart.

Testmetoden gir ingen akseptkriterier eller klassifiseringer basert på testresultatene. Denne testmetoden er heller ikke referert til i EN 13501-5 som inneholder klassifiseringskriterier basert på testmetodene i CEN/TS 1187.

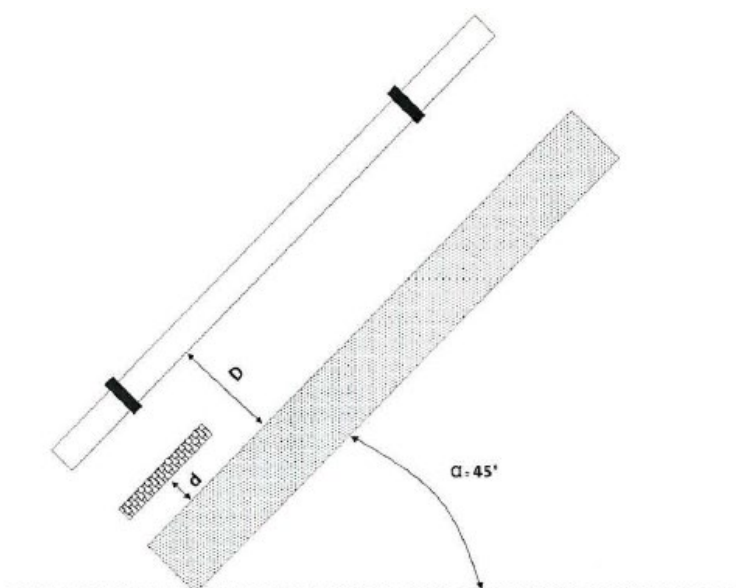
---

<sup>2</sup> Kilde: E-postkorrespondanse med "primary designated engineer for PV modules and racking systems" ved Underwriters Laboratory (UL LLC).





Figur 3-8 Plasseringen av gassbrenneren over og under solcellemodulen. Figur hentet fra NEK CLC/TR 50670 [59].



Figur 3-9 Plasseringen av gassbrenneren mellom en solcellemodul og et skrått tak. Figuren er hentet fra NEK CLC/TR 50670 [59].

Vår vurdering er at denne testmetoden ikke representerer et realistisk scenario med brennbar takoverflate under solcellemodulene. Brannspredning i rommet mellom solcellemodul og takoverflate vil være avhengig av både materialene i takoverflaten og i solcellemodulene. I denne testmetoden skal det ikke være andre brennbare materialer enn i selve solcellemodulene, slik at resultatene fra denne testen ikke vil vise hvordan brannen vil spre seg der modulene er montert over en brennbar takoverflate. Tennkilden er en gassbrenner som ikke er direkte sammenlignbar med noen av tennkildene i de andre europeiske testmetodene. Dette er likevel den eneste av de europeiske

testmetodene som på en systematisk måte dekker brannpåkjenning både fra oversiden av solcellemodulene og i rommet mellom solcellemodulene og takoverflaten.

### 3.4.4 Vår vurdering av best egnede testmetode

De europeiske standardene for testing og klassifisering av takoverflaters evne til å motstå en ytre brannpåkjenning er ikke godt egnet for å teste solcellemoduler. Bygningsintegreerte solceller skal testes som andre takkonstruksjoner, men utenpåmonterte solceller er ikke definert som en del av taktekkingen, og dekkes i utgangspunktet heller ikke av teststandardene for tak.

Det eksisterer en europeisk testmetode som er utviklet i IEC for å teste brannpåkjenningen på tak med utenpåmonterte solcellemoduler. Denne er beskrevet i NEK CLC/TR 50670, men gir ingen detaljer om klassifisering eller godkjenning. Den inkluderer heller ikke noen brennbar takoverflate under solcellene, og er ikke direkte sammenlignbar med eller overførbar til noen av de fire europeiske testmetodene for ekstern brannpåkjenning for takoverflater som beskrevet i CEN/TS 1187. De bygningsrelaterte europeiske standardene er utarbeidet av CEN og de elektrotekniske europeiske standardene er utarbeidet av CENELEC/IEC. Det ser ikke ut til at disse organisasjonene kan ha samarbeidet i stor grad for å håndtere problemstillingene som oppstår som vekselvirkninger mellom de elektriske komponentene og bygningskonstruksjonene.

I USA har Underwriters Laboratories (UL) utviklet en standard, UL 1703 [48], for testing og klassifisering av solcellemoduler i kombinasjon med ulike klasser av takoverflater og opphengsystemer. Dette er viktige momenter som bør være med i en branntest av et sammensatt system, slik som en solcelleinstallasjon på et tak. Det er ikke kjent hvilke typer testresultater denne metoden gir sammenlignet med tester gjennomført etter europeiske tester for tak.

Basert på den tilgjengelige informasjonen om de ulike testmetodene som er presentert i dette kapitlet, er det UL 1703 som i størst grad er utarbeidet for å teste brannegenskapene for kombinasjonen av takoverflate, opphengsystem og solcellemoduler. De europeiske metodene kan i varierende grad tilpasses montering av solcellemoduler, men er i utgangspunktet ikke laget for å teste vekselvirkningene mellom de ulike materialene som er involvert i en brann på et tak med solcellemoduler.

For fasader er vår vurdering at solceller bør behandles som andre utvendige fasadematerialer med tanke på ekstern brannpåkjenning og risiko for brannspredning i hulrom bak den ytre fasaden. For de fleste tilfeller vil en fasade med solceller i prinsippet være lik en annen luftet fasade. Et tilleggsmoment for solceller vil være at det er mange elektriske koblinger, og dermed potensielle tennkilder inne i hulrommet bak solcellene. Utfordringen her ligger i at regelverket for brannspredning i fasader er under utvikling, og at det dermed ikke er tydelig på hvilke krav som skal stilles til solcellemoduler montert vertikalt utenpå en fasade.

## 3.5 Antennelse og brannodynamikk

Årsaker til antennelse av brann i solcelleinstallasjoner er omhandlet i en tidligere studie om brannsikkerhet og solcelleteknologi [2]. Oppsummert, inneholder solcelleinstallasjoner mange koblingspunkt, som kan være potensielle tennkilder. En solcellestreng leverer likestrøm med høy spenning kontinuerlig så lenge panelene utsettes for sol eller andre sterke lyskilder. På grunn av at solcellene leverer likestrøm med høy spenning oppstår det lettere lysbuer i et kontaktpunkt enn det gjør i en vanlig elektrisk installasjon med 230 V vekselstrøm. De fleste kontaktpunktene er plassert på baksiden av solcellemodulene og delvis utsatt for vær og vind, slik at de må være motstandsdyktige mot påvirkning av vann, temperatursvingninger og UV-stråler over lang tid. De fleste solcellemoduler blir koblet sammen med en hurtigkobling som skal lette monteringen samt redusere risikoen for feilmonteringer og varmgang. Sammenkobling av hurtigkoblinger fra ulike produsenter gir økt risiko for at det oppstår dårlig kontakt over tid. Siden solcellene produserer strøm så lenge de utsettes for lys, vil de gi tilnærmet maksimal effekt når det er full solinnstråling om sommeren. Dette gjør at alle kontaktpunktene må være robuste for at ikke varmetviklingen skal føre til degradering av kontaktene.

Når det gjelder brannodynamikk, vil solcellemoduler i seg selv ikke bidra vesentlig til brannen ettersom de i hovedsak består av ubrennbare materialer [32]. Solcellemodulene vil likevel kunne påvirke brannodynamikken ved at de utgjør et ytre skall på bygningen som kan holde tilbake røyk og varme, slik at brannen kan gjøre større skade på bygningen enn uten dette skallet [31,32,54].

Hulrom bak solcellemoduler på fasader er et eksempel på en konstruksjonsmetode som kan gi fordeler på ett område, og utfordringer på et annet. Et eksempel er nye ZEB Flexible Lab ved Lerkendal i Trondheim, hvor deler av vegger og tak skal være kledd med solcellemoduler<sup>3</sup>. Her er planen å utnytte varmen som genereres, ved å trekke ut den oppvarmede luften som dannes under normal drift i spalten mellom solcelle og underliggende kledning.

Samtidig kan hulrom mellom solcellemodul og fasadekledning kunne gi utfordringer med tanke på brannsikkerhet. Hulrommet skal sørge for god luftsirkulasjon og kjøling til solcellemodulene for å unngå at temperaturen blir for høy og effektiviteten til solcellene blir redusert. Denne spalten vil også kunne akselerere brannspredningen, fordi varmen fra en brann vil kunne spre seg i det samme hulrommet.

Flere forsøk viser at varmepåkjenningen mot en takoverflate øker når det blir plassert en solcellemodul over takoverflaten. Smepluss gjennomførte i sin masteroppgave forsøk i henhold til testmetode 2 i CEN/TS 1187, og fant at skadene på et takbelegg ble større når det ble plassert en simulert solcellemodul over brannen [54]. Kristensen har gjennomført flere forsøk i større skala, der det ble målt opp til fire ganger så kraftig varmestråling mot takoverflaten fra en 8 kW gassbrenner når det ble plassert en solcellemodul over taket og brenneren [32]. Fra en serie med fullskalaforsøk ble det avdekket at en brann spredte seg ut over hele den delen av taket som var dekket av solcellemoduler, men stoppet maksimalt én meter fra ytterkanten av feltet med solcellemoduler. Taket i disse testene

<sup>3</sup> Kilde: Telefonsamtale og e-postkorrespondanse med professor innen ventilasjon, Institutt for energi og prosessteknikk, NTNU

var bygget opp med 150 mm EPS, 40 mm PIR eller 30 mm mineralull, og en PVC-basert takmembran som var klassifisert  $B_{ROOF}(t_2)$  [33]. Disse testene viser at solcellemoduler som blir montert utenpå et tak kan føre til økt brannspredning utover taket dersom det oppstår en brann i rommet mellom solcellemodulene og takoverflaten. Fordi brannvesenet må holde seg på sikker avstand fra solcelleinstallasjonen, og solcellemodulene kan skjerme takoverflaten fra vannpåføring, vil dette også kunne gi større brannspredning etter at brannvesenet har startet sin innsats.

Det er ikke funnet relevante forsøk med brannspredning bak vertikalt monterte solcellemoduler på fasader eller i hulrom bak bygningsintegreerte solcellemoduler. Effektene som er observert under solcellemoduler montert på tak vil mest sannsynlig i stor grad også gjelde for vertikalt monterte solceller ved at varmen fra brannen blir ledet oppover i luftrommet mellom fasaden og solcellemodulene. Vertikal brannspredning er generelt raskere enn brannspredning langs flater med mindre helning. Brannspredning i vertikale luftrom i fasader er et område hvor det trengs mer kunnskap.

## 3.6 Slokking av brann i solcelleinstallasjoner

I forbindelse med slokking av brann i solcelleinstallasjoner, er det primært den elektriske spenningen anlegget genererer som er problematisk med hensyn til slokningsarbeidet. Dette er omhandlet i følgende underkapitler for henholdsvis anlegg med høy og lav DC-spenning.

### 3.6.1 Berøringsfare ved høy DC-spenning

Man må regne med at solcellene og tilhørende komponenter er spenningssatte så lenge det er lys på solcellene - selv om solcelleomformerer er frakoblet AC-siden eller DC-siden [14]. Brannvesenet må holde tilstrekkelig avstand til de delene av bygningen som er dekket av solcellemoduler og spenningssatte kabler for å unngå strømgjennomgang ved direkte eller indirekte berøring. Med spredt stråle kan det spyles ferskvann på spenningssatte komponenter inntil 1000 V DC fra minimum én meters avstand, og med samlet stråle må man holde minst fem meters avstand [2]. Disse begrensningene vil gi brannvesenet redusert handlingsrom til å gjøre slokkeinnsats på tak og fasader med solcelleinstallasjoner. Usikkerhet om hvor det er spenningssatte komponenter i en solcelleinstallasjon på en bygning kan føre til at brannvesenet ikke får gjennomført en optimal innsats. I verste fall vil innsatspersonell komme i kontakt med spenningssatte komponenter som de ikke visste om.

Den eneste måten å «slå av» en solcelle på, er å dekke den til slik at den ikke mottar lys. Denne tildekkingen må være tilstrekkelig tett for å sikre at ikke noe av lyset trenger gjennom og aktiverer solcellene. Dersom tildekkingen er tilstrekkelig tett, vil spenningen fra solcellene falle umiddelbart. Det er utviklet ulike presenninger og skum for å skjerme solcellene for lys, men det er ikke alle produkt som i praksis klarer å hindre solcellene i å generere farlige spenningsnivåer [2,60].

En annen måte å unngå berøringsfaren på, er å lage solcelleinstallasjonen uten at mange solcellemoduler er koblet i serie. Dette kan gjøres ved å bruke vekselrettere på hver enkelt modul, slik at det bare er internt i hver enkelt solcellemodul at det er likespenning.

En utfordring med desentralisert strømproduksjon er at man ikke uten videre kan bryte strømmen og gjøre hele anlegget spenningsløst fra et enkelt punkt ved strøminntaket til bygget. Dette gjelder uavhengig av om energien kommer fra solceller eller andre energiproduksjonssystem. Dette gir utfordringer som for eksempel brannvesenet må håndtere når de skal gjøre en innsats i et bygg med alternative strømkilder. Solcelleinstallasjoner opererer som regel med spenningsnivåer som gir berøringsfare, og siden solcellene ikke kan slås av, vil de levere spenning så lenge det er lys. I praksis betyr dette at brannvesenet må holde sikker avstand til alle spenningsatte deler av solcelleinstallasjonen under innsats. Dette trenger ikke å være noe problem dersom brannvesenet vet hvilke områder de må holde avstand til, og det er tilstrekkelig med tilgjengelig areal for slukkeinnsatsen. Det er derfor viktig med merking, slik at brannvesenet får informasjon om at det er installert solceller på bygningen de kommer til, og at de får informasjon om hvor på bygningen det kan være spenningsatte deler av solcelleinstallasjonen. I NEK 400 [14] stilles det krav om at DC-siden av solcelleinstallasjonen skal være merket med symbolet vist i Figur 3-10, og at delene kan være spenningsatt selv etter frakopling. Det stilles også krav om at plassering av enhetene i solcelleinstallasjonen og trasé for DC-kabler skal dokumenteres og gjøres tilgjengelig ved bygningens brannorienteringsplan der dette finnes. Bygningen skal også merkes med et skilt som viser at det er montert solceller ved inngangspartiet og ved leveringspunktet for strøm. [14]



Figur 3-10 NEK 400:2018 stiller krav om at alle steder på DC-siden av en solcelleinstallasjon hvor det er tilgang til spenningsførende deler skal merkes med dette symbolet, og at delene kan være spenningsatt selv etter frakobling. Figuren er hentet fra NEK 400:2018 [14].

I solcelleinstallasjoner som er montert før disse kravene ble innført i NEK 400 vil det ikke nødvendigvis være noen form for merking av bygningen eller spenningsatte DC-komponenter. Brannvesenet kan dermed ikke uten videre anta at det ikke er solceller på en bygning som ikke er merket. Denne usikkerheten kan føre til at brannvesenet tar unødig store hensyn til berøringsfaren, og unngår å gjøre innsats i en større del av bygningen enn det som er nødvendig. I motsatt fall kan innsatspersonell komme i kontakt med spenningsførende deler ved slukking eller hulltaking dersom de ikke vet at det er spenningsatte deler av solcelleinstallasjonen der de skal gjøre sin innsats.

Det er ingen automatikk i at solcelleinstallasjoner blir meldt inn til brannvesenet. Større nybygg som får mye omtale i media vil enkelt kunne fanges opp av brannvesenet direkte, via kommunens behandling av byggesaker eller ved at brannrådgivere involverer brannvesenet i utviklingen av sitt brannkonsept. Veiledningen til byggesaksforskriften

(SAK10) sier at installering av solenergianlegg innenfor en bruksenhet eller branncelle, vurderes som en enkel installasjon, og er unntatt fra kravet om søknadsplikt [61]. Det vil si at mange mindre solcelleinstallasjoner ikke vil fanges opp av byggesakskontoret i kommunen.

Tradisjonelle utenpåmonterte solcellemoduler er karakteristiske og relativt enkle å se dersom man får oversikt over bygningsflaten de er montert på. For innsatspersonell som kommer i nærheten av denne typen moduler, vil disse ikke være vanskelig å se. Nye typer solcellemoduler er derimot utformet på mange ulike måter, og er ofte laget for å være best mulig integrert i det visuelle uttrykket til bygget. Dersom solcellemodulene er utformet som takstein eller andre typer bygningsdeler, vil det ikke være lett for innsatspersonell å se hvilke deler av bygningen de må holde seg unna. I verste fall vil brannvesenet iverksette hulltaking eller andre destruktive innsatsmetoder direkte på spenningsatte solcellemoduler eller gjennom skjulte spenningsatte kabler.

Nettselskapene har en fullstendig oversikt over alle nettilknyttede solcelleinstallasjoner både på store og små bygg, uavhengig av om installasjonen er søknadspliktig etter byggereglene eller ikke. Dersom brannvesenet får tilgang til denne oversikten over solcelleinstallasjoner, vil det kunne gi sikrere informasjon om hvor de må ta hensyn til at det kan være spenningsatte komponenter etter at strømforsyningen til bygningen er frakoblet.

### 3.6.2 Berøringsfare ved lav DC-spenning

Dersom solcelleinstallasjonen er konstruert slik at det ikke på noe sted kan oppstå høyere spenning enn 120 V DC, vil berøringsfaren kunne reduseres. Dette spenningsnivået er definert som ekstra lav spenning (Extra Low Voltage, ELV) [14]. Spenningen fra en enkelt solcellemodul vil ligge godt under dette spenningsnivået. Det vil si at det ikke er enkeltmoduler som utgjør noen berøringsfare. Berøringsfaren oppstår når flere moduler blir koblet i serie og den totale spenningen overstiger 120 V DC. En mulig metode for å hindre berøringsfaren er å dele opp solcellestrengene i mindre deler ved å bryte kontakten mellom modulene på tilstrekkelig mange steder. Dette kan gjøres med automatiske eller manuelle brytere. En utfordring med denne typen brytere, er at de i seg selv kan være et svakt punkt og føre til brann [29,30]. En annen måte å sørge for at spenningen er på et nivå som ikke gir berøringsfare, er å plassere vekselrettere på hver enkelt solcellemodul [62]. Når strømforsyningen til huset brytes, vil alle disse vekselretterne slå seg av og bli spenningsfrie på AC-siden. Dermed er det bare internt i hver enkelt solcellemodul at det er spenning når bygningen er frakoblet strømmettet. Denne spenningen vil ikke være så høy at det utgjør noen berøringsfare for brannvesen eller andre. Solcelleinstallasjonen blir litt dyrere, fordi man trenger flere vekselrettere enn når man kobler modulene i serie til en enkelt vekselretter. På den andre siden gir denne individuelle styringen på modulnivå muligheten til å optimalisere strømproduksjonen når det ikke er lik solinnstråling på alle solcellemodulene. Dette vil øke produksjonen ved delvis skygge. Det er gjennomført en økonomisk sammenligning av totalkostnaden for bruk av vekselrettere på hver enkelt modul og en enkelt vekselretter. Denne konkluderte med at det er mer lønnsomt å benytte en enkelt vekselretter, men at forskjellen var liten. Fordeler som sikkerhet, bedre muligheter for

overvåkning og styring av solcelleinstallasjonen og lignende var ikke tatt hensyn til i denne studien [63].

## 3.7 Innspill fra workshop og intervjuer

Flere aktører<sup>4</sup> har gitt innspill om at solceller gir utfordringer gjennom at de er både elektriske komponenter og samtidig en del av bygningen. Dette gjør det vanskelig å stille relevante krav, og å vite hvilke regelverk som skal benyttes.

Solenergibransjen vil unngå at det innføres særnorske krav til solcelleinstallasjoner, og mener dette vil være vanskelig å bære for et relativt lite marked som i Norge.

Mesteparten av solcellemoduler i Norge blir importert fra Tyskland. Disse er som regel testet og godkjent etter tyske regler for det tyske markedet. TÜV i Tyskland har en sertifiseringsordning for solcellemoduler som stiller krav til blant annet egenskaper ved brann.

Nye NEK 400 er et viktig dokument som omfatter mange detaljer om solcelleinstallasjoner. Standarden bygger på internasjonale delnormer, og avsnittet som omhandler krav til solcelleinstallasjoner er kraftig utvidet i 2018-revisjonen. Dette er et samarbeid mellom installasjons-komiteen og solcelle-komiteen i IEC.

Det er flere som savner at norske myndigheter er samkjørte når det gjelder solkraft, og mener at man må unngå at frykt for nyvinning overskygger mulighetene som solkraft gir.

Bygningsintegreerte solceller vil bare være aktuelle for eneboliger og småhus, ifølge en prosjektleder for solcelleinstallasjoner i Tyskland. For større anlegg vil kostnadene for drift og vedlikehold av anlegget bli vesentlig høyere på grunn av at deler av anlegget vil være vanskelig tilgjengelig.

Byggesakskontoret i Trondheim legger normalt føringer om at Trøndelag brann- og redningstjeneste (TBRT) skal involveres i prosessen ved bygg som involverer f.eks. solceller. På den måten får TBRT mulighet til å bidra på et tidlig stadium i en byggeprosess, og påvirke hvordan brannsikkerheten skal ivaretas. Powerhouse i Trondheim er et eksempel der TBRT har blitt inkludert tidlig i prosessen (se detaljer i Vedlegg A). Det finnes imidlertid eksempler på bygg med solceller der brannvesenet ikke har blitt informert før etter at bygget var ferdig.

Foreløpig har TBRT lite erfaring med branner i solcelleinstallasjoner og store stasjonære batterier. TBRT er imidlertid ikke bekymret for den økende bruken av solcelleinstallasjoner på næringsbygg, så lenge de får vite om anleggene og hvordan de er utformet, og at det er tydelig merking av spenningsatte kabler.

---

<sup>4</sup> Kilder i avsnitt 3.7: Workshop i juni 2018, telefonmøter og epostkorrespondanse med Solenergiklyngen, Fusen, Otovo, FME SUSOLTECH ved IFE, TBRT, DSB og byggesakskontoret i Trondheim, samt epostkorrespondanse med tysk prosjektleder for solcelleinstallasjoner.

## 3.8 Oppsummering og anbefalinger for solceller

Det er rapportert om mange branner i solcelleinstallasjoner i Italia. Til sammenligning er det rapportert om langt færre i Tyskland og i Storbritannia. I Norge er solceller lite utbredt sammenlignet med disse landene, og det bør sikres at vi tar lærdom av hvilke faktorer som øker brannrisikoen i solcelleinstallasjoner.

Ifølge en tysk studie fra 2013 har takintegrerte solceller om lag 20 ganger høyere brannrisiko enn solceller montert utenpå taket. Det er ikke funnet bekreftende dokumentasjon på dette fra andre land. Det bør undersøkes nærmere hva som er bakgrunnen for denne vurderingen, og hvordan dette kan håndteres.

Det er vanskelig å forstå hvilke krav som gjelder for brannklassifisering av solcelleinstallasjoner. Dette bør tydelig spesifiseres i nasjonalt regelverk, siden de etablerte europeiske standardene for solceller ikke spesifiserer dette tydelig. Videre bør dette harmoniseres i Europa for å bli enige om hvordan produkter kan brukes i flere land uten behov for egne nasjonale klassifiseringssystemer. Solceller som skal monteres på fasader bør behandles på samme måte som andre fasadesystemer når det gjelder krav til brannsikkerhet. Et tilleggsmoment som må behandles for solceller i denne sammenhengen, er at de også inkluderer potensielle tennkilder, der brann kan oppstå i elektriske koblinger på baksiden av solcellemodulene.

Det er ikke funnet noen vesentlig økning i brannrisiko for større solcelleinstallasjoner sammenlignet med små. Store anlegg fungerer i prinsippet på samme måte som mindre anlegg. Forskjellen ligger i hovedsak i antall komponenter og antall parallellkoblede strenger av solcellemoduler.

Det er primært den elektriske spenningen anleggene genererer som kan være problematisk med hensyn til slokningsarbeidet. Ved høye spenninger må brannvesenet ta forholdsregler og holde avstand til spenningssatte komponenter når de påfører vann. Dette blir mindre viktig ved lavere spenninger.



## 4 Batteri i bygg

Når det gjelder batterier, er målsetningen i dette prosjektet å øke forståelsen av sikkerhetsutfordringer, løsninger og regelverk knyttet til energilagring i batterier i bygg. I dette kapitlet blir resultater fra denne kartleggingen presentert.

### 4.1 Bakgrunn

Energilagring i batterier i privatbolig har foreløpig vært lite kostnadseffektivt for at det skal bli utbredt. Men det er flere forhold som kan endre dette. Det kan være kostnadseffektivt å lagre egenprodusert strøm lokalt i stedet for å selge til lav pris og kjøpe til høy pris når etterspørselen er høyest. Dessuten vil innføring av effekttariffer kunne gjøre det lønnsomt å fjerne toppbelastningen med batteribanker i perioder med høy pris på effekt. Som tidligere nevnt, vil smarte strømmålere og smarthusteknologi gi gode forutsetninger for husholdninger til å tilpasse seg strømpriser og strømbruk [20]. I eneboliger og borettslag kan energilagring i batteri bli en mer utbredt løsning for å øke strømkapasiteten til oppladning av elbiler og bedre utnyttelse av solceller.

I maritim sektor er utviklingen og etableringen av større batteripakker for energilagring godt i gang, og markedet opplever en stor etterspørsel<sup>5</sup>. Bruk av batteri for energilagring i andre typer industri og offentlige bygg følger etter. Flere nybygg (kontorer og næringsbygg) bygges i dag med batterier for lagring av energi fra solceller. Eksempler på energieffektive bygg er presentert i kapittel 6.

Batterier for privat bruk er normalt i størrelsen 1 - 15 kWh, mens kommersielle systemer kan være i størrelsen 20 - 250 kWh. Dersom flere system kobles sammen, kan kapasiteten bli enda større. Batteriene lades enten ved hjelp av sol- eller vindenergi, eller direkte fra strømmettet. Eksempler på slike system er Teslas to batterityper for energilagring, Powerwall (13,5 kWh) [64] og Powerpack (210 kWh) [65].

Ifølge innspill fra bransjen på workshop, se avsnitt 1.4.2 og 2.5, er det per nå vanskelig å selge strøm tilbake til nettselskaper, og dette påvirker hvor attraktivt det er å installere batterier i privat regi. Entreprenører ser til Tyskland og forutser en økning av batteribruk også her i Norge. Kunnskap og erfaringsoverføring kan skje fra maritim sektor, der det over en lengre periode har blitt jobbet med utfordringer i forbindelse med bruk av batterier.

#### 4.1.1 Gjenbruk av elbilbatterier

Den økende handelen med elbiler leder til et voksende batterimarked med et tilhørende omløp av brukte elbilbatterier. Flere elbilprodusenter har lansert såkalt «second life» batterisystemer, der batterier som har vært brukt i elbiler har fått et nytt bruksområde innen energilagring i bygg. Eksempler på gjenbruk av batterier er Nissan xStorage [66] og Mercedes-Benz Energy Storage [67].

<sup>5</sup> Kilde: Samtale med representant fra Corvus Energy, august 2018

Potensialet for elbilbatterier som energilagring er stort. Johan Cruijff Arena i Amsterdam produserer solenergi som lagres i et Nissan xStorage energilagringssystem med energikapasitet på hele 2800 kWh og effektkapasitet 3 MW [68]. Dette er det største kommersielle energilagringssystemet i Europa basert på gjenbrukte og nye elbilbatterier. Det installeres nå et tilsvarende system i Norge, med energikapasitet på omkring 1000 kWh og effektkapasitet på omkring 800 kW [69].

I tillegg til store aktører som tilbyr gjenbruk av batterier, finnes det også mindre, lokale aktører. Alternativ Energi AS<sup>6</sup> er et eksempel på dette. De benytter brukte bilbatterier, setter dem sammen til en ny batteripakke, og selger disse i hovedsak til private aktører. Les mer om Alternativ Energi AS i kapittel 4.6.2.

## 4.1.2 “Vehicle to building” og “Vehicle to grid”

Elbiler i seg selv kan også være et stort energilager. Ved å bruke elbilen som batteri kan den fungere enten som strømkilde til huset, «Vehicle to Building» (V2B), eller som strømkilde til strømmettet, «Vehicle to grid» (V2G). Statnett ser for seg en stor fremtidig bufferkapasitet ved å knytte elbiler til strømmettet [20].

Flere aktører er i gang med oppsett for V2B og V2G. I 2012 lanserte Nissan «LEAF to Home» som muliggjør at energi lagret i bilens batteri kan overføres til huset [70]. Et «Power Control System» (PCS) installeres for å konvertere likestrøm høy spenning til vekselstrøm når energien i batteriet skal brukes i huset, eller motsatt vei når bilbatteriet lades. Hitachi, Mitsubishi Motors og ENGINE samarbeider i et felles prosjekt for å utvikle et system for å bruke bil som energilagring til bygninger og strømmett [71]. Energien lagret i bilen distribueres til huset eller strømmettet via en «vehicle to everything» (V2X) to-veis lader.

Kombinasjonen av AMS-installasjon, smarthusteknologi og en stor vekst av elbiler innen persontransport, tilsier at V2B og V2G har et stort potensial i fremtiden. Per dags dato er en to-veis lader kostbar sammenlignet med konvensjonelle ladere [20], noe som kan antas å begrense utbredelsen av denne løsningen.

## 4.2 Regelverk, veiledninger og standarder

De viktigste forskriftene for installasjon av batteri i et bygg er forskrift om elektriske lavspenningsanlegg [72] og byggteknisk forskrift (TEK17) [10].

### 4.2.1 Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) [72] er hjemlet i lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr (el-tilsynsloven). Formålet med forskriften er å

---

<sup>6</sup> Kilde: E-postkorrespondanse med representant fra Alternativ Energi AS, 12. oktober 2018.

oppnå forsvarlig sikkerhet ved prosjektering, utførelse, endringer og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg og ved bruk av utstyr tilkoblet slike anlegg.

I veiledningen til forskriftens § 10 står det at normen NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner, Del 2-8 beskriver hvordan sikkerhetskravene i forskriften kan oppfylles, se kapittel 4.2.3. Andre løsninger kan også benyttes, men det krever at det dokumenteres at løsningene gir minst like godt sikkerhetsnivå som normene gir.

## 4.2.2 Byggeteknisk forskrift (TEK17)

Et energilagringssystem vil komme inn under definisjonen av en teknisk installasjon, og dermed omhandles av TEK17 § 11- 10 Tekniske installasjoner [10], som sier at tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg.

## 4.2.3 NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner

NEK 400 [14] er det sentrale henvisningsgrunnlaget i forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL). Forskriften viser til NEK 400 som en måte å oppfylle forskriften på, og i veiledningen til § 10 står det at NEK 400 del 2 til 8 beskriver hvordan sikkerhetsnivået i forskriften kan oppfylles.

I følgende avsnitt er et utvalg av NEK 400 presentert, som i hovedsak dekker batteriinstallasjoner.

### **NEK 400-8-806 Batteriinstallasjoner**

NEK 400-8-806 lister opp en rekke krav til utforming av installasjon og omgivelser omkring batterier, hvem som skal ha tilgang og hvordan vedlikehold bør skje.

I den følgende teksten følger en kort oppsummering over de viktigste kravene til batteriinstallasjoner:

- Kravene gjelder for alle typer stasjonære sekundærbatterier (batterier som kan lades), inkludert litium-ion batterier.
- Det stilles krav til at batterirom skal være ventilerte, ettersom det er fare for at de ved feil kan slippe ut brannfarlig og giftig gass.
- Batterier og batterisystemer skal kunne frakobles enhver kurs de er tilkoblet. Dette skal kunne skje lokalt ved batteriet, og fra utsiden.
- Batterier og batterisystemer skal være installert i beskyttede omgivelser. Det kan være nødvendig å plassere batteriene i egne områder, f.eks. i separate rom med begrenset adgang.
- Ved planlegging av rommet må følgende forhold tas hensyn til:
  - Eksterne farer som brann, vann, sjokk, vibrasjoner og skadedyr.
  - Farer generert av batteriet som høy spenning, brann- og eksplosjonsfare m.m.
  - Beskyttelse mot tilgang av uautoriserte personer.

- Beskyttelse mot eksterne miljømessige påvirkninger som temperatur, fuktighet og luftforurensninger.

### **NEK 400-8-823 Elektriske installasjoner i boliger**

I NEK 400 er det et eget kapittel for elektriske installasjoner i boliger. Dette kapitlet omhandler mye forskjellig bl.a. antall stikkontakter på ulike rom, hvordan overbelastning av nettet skal unngås, beskyttelse av platetopp på komfyr og gassanlegg. Det er imidlertid ingen retningslinjer eller krav knyttet til installasjon av større batteri i bolig. Her må installatør forholde seg til produsentens installasjonsveiledning og en generell risikovurdering etter forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) § 16 [72].

I praksis betyr dette at et stasjonært batterisystem kan installeres på et soverom uten at det er røykvarsler på rommet. Av forskrift om brannforebygging [73] er det imidlertid krav om minst en røykvarsler i hver etasje som skal dekke kjøkken, stue, sone utenfor soverommet og sone utenfor teknisk rom.

## **4.2.4 Bransjeveiledning**

I tillegg til bransjeveileder på solceller (se avsnitt 3.4.2), jobber Solenergiklyngens innovasjonsgruppe for tiden med å få på plass en bransjeveileder for batterier. Veilederen, i form av en sjekkliste, skal skape mer bevissthet omkring hva batteribaserte energilagringssystemer kan brukes til i hus med solcelleinstallasjoner, og hvilke sentrale aspekter som bør vurderes og avklares før en eventuell spesifisering og anbudsutarbeidelse. Arbeidsgruppen består av partnere fra Multiconsult, ÅF, IFE og Pixii, og er en del av innovasjonsgruppen Energisystemer og lagring.<sup>7</sup>

## **4.2.5 Teststandarder**

Det finnes en rekke teststandarder for batterier. Under følger de viktigste teststandardene for stasjonære batterier:

### **4.2.5.1 UL 1973**

UL 1973 [74] er en generell standard for stasjonære batterier, og er ikke spesifikk til en type teknologi. Standarden inkluderer designkrav, sikkerhetstester, overladingstester, sjokk- og vibrasjonstester. I tillegg er det krav om å bestå to ulike branntester, en intern og en ekstern test. I den interne testen fremprovoseres thermal runaway i en celle, og batterisystemet skal vise at brannen ikke sprer seg til hele batteriet. I den eksterne testen blir batteriet eksponert for en heptanbrann i 20 minutter fra undersiden og på sidene.

---

<sup>7</sup> Kilde: E-postkorrespondanse med representanter fra Solenergiklyngen og Pixii, oktober 2018.

Etter 20 minutter skal batteriet påføres vann. I løpet av hele testen skal det ikke forekomme noen tilfeller av eksplosjonsrelaterte hendelser.

#### 4.2.5.2 UL 9540

UL 9540 [75], er en overordnet standard for energilagringssystemer, som også inkluderer batteriløsninger.

#### 4.2.5.3 UL 9540

UL 9540 [76], er en testmetode for å evaluere brannkarakteristikken til et batteri, inkludert thermal runaway, og på det grunnlaget bestemme hvilke sikringstiltak som er nødvendige.

#### 4.2.5.4 IEC 61427

IEC 61427-1 [77], er en internasjonal standard som gir generell informasjon tilknyttet kravene til sekundære batterier benyttet i solkraft-systemer og testmetoder for godkjenning av batteriytelsen.

Standarden tar for seg batterier benyttet i solcelleinstallasjoner som ikke er tilknyttet strømmettet for salg av strøm tilbake til leverandørene, og tar for seg alle typer sekundære batterier, deriblant litium-ion batterier.

IEC 61427-2 [78], er del to av standarden for batterier i solcelleinstallasjoner som tar for seg batterier i systemer koblet til strømmettet. Den tar for seg testmetoder for batteriers holdbarhet, egenskaper og ytelse. Testmetodene gjelder for alle typer sekundære batterier, og vil da fungere for litium-ionbatterier og blybatterier. Batterienheter koblet til strømmettet skiller seg fra andre batterier ettersom de vil bidra til å stabilisere strømmettet.

#### 4.2.5.5 IEC 62619

IEC 62619 [79], er en standard som spesifiserer krav og tester for sikker oppføring, vedlikehold og destruksjon av batterier. Det er ikke en standard som tar for seg hele batterisystemet, men setter kun krav til batteriene alene.

## 4.3 Brannfare ved bruk av batterier i bygg

Litium-ion batterier benyttes i stadig flere applikasjoner rundt oss, som i mobiltelefoner, PC-er, elbiler og ferger. I løpet av de siste årene har det blitt mer og mer fokus på å lage store batteripakker, og i forbindelse med økende utbygging av solceller, har ønsket om å installere batteripakker i bygg økt.

### 4.3.1 Batterienes oppbygging og funksjon

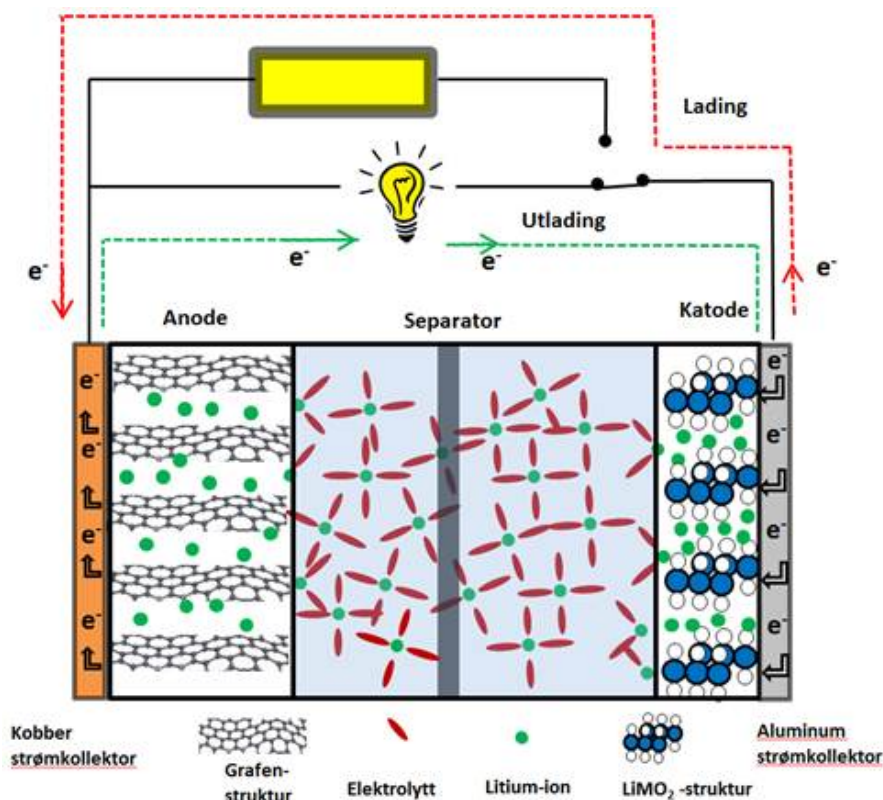
Litium-ion batterier kan ha mange ulike former og fasonger. De kan være sylinderformede, rektangulære, eller de kan fremstilles i en slags tettpakket pose, som minner om vakuumpakkede kaffeposer. Felles for alle disse er at de har en positiv og negativ elektrode, og en elektrolytt.

Elektrodene består av to ulike materialer og er adskilt av en separator. Separatoren har som oppgave å danne en fysisk barriere mellom anoden og katoden for å hindre intern kortslutning, men samtidig slippe igjennom litium-ioner. Separatoren består oftest av en porøs polyetylen- eller polypropylenfilm, og har en tykkelse på ca. 20  $\mu\text{m}$ .

Enkelt forklart er elektrolytten et løsemiddel og et salt som gjør det mulig å transportere ioner. Elektrolytten består nesten utelukkende av litium-saltet  $\text{LiPF}_6$  sammen med en organisk løsemiddelblanding av karbonater, slik som etyl-, metyl- og metyl-etyl-karbonat.

Anoden er av karbon, der grafitt er mest brukt. De vanligste katodematerialene består av en blanding av litium, oksygen og ulike metaller. Ved å endre på katodematerialene og sammensetningen av dem, er det mulig å endre battericellens egenskaper.

Når et litium-ion batteri lades, beveger litium-ioner seg fra katoden til anoden, mens elektroner strømmer via en ekstern elektrisk krets. Det motsatte skjer ved utlading av batteriet. Figur 4-1 viser en forenklet skisse av en litium-ioncelle.



Figur 4-1 Illustrasjon av en typisk litium-ion celle med anode, katode og en separator. Illustrasjon: RISE Fire Research.

### 4.3.2 Feilmekanismer som kan føre til brann og eksplosjon

En batteripakke i et bygg vil i stor grad være bygd opp av samme type celler som finnes i f.eks. elbiler og ferger, og vil derfor i stor grad være utsatt for de samme feilmekanismene som mindre batterier. Farene ved hvordan en brann kan oppstå er relativt godt kjent, og vil være overførbare til stasjonære batterier i et bygg.

En battericelle er relativt stabil frem til temperaturen i cellen når 70 – 80 °C. Fra dette punktet inntreffer en rekke reaksjoner. Ved 90 – 120 °C kan et beskyttende lag (*solid electrolyte interface (SEI)*) på anoden begynne å dekomponere eksotermt. Ved temperaturer over 120 °C kan elektrolytten reagere direkte med anoden. Ved ytterligere økt temperatur vil elektrolytten begynne å dekomponere. Samtidig med disse prosessene dannes det ulike gasser og det produseres varme. Dersom disse reaksjonene ikke stanses, vil temperaturen i cellen fortsette å stige til thermal runaway oppstår. Thermal runaway er en ukontrollerbar eksoterm prosess som produserer mye varme på kort tid, store mengder giftige og brennbare gasser, og sannsynligheten for at det oppstår brann er relativt stor. Kjente gasser som dannes er CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, HF og POF<sub>3</sub> [80–83]. Blant disse gassene er det både høyst giftige gasser, som HF og POF<sub>3</sub>, men også svært brennbare gasser, som H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> og C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Grensen for thermal runaway er ca. 130 – 220 °C for ulike batterikjemier.

I større batterisystemer kan det potensielt dannes store mengder gass, og det er derfor påbudt med et ventilasjonssystem for å hindre at gassen sprer seg til oppholdsrom, og for å redusere risikoen for en gasseksplisjon.

Feng et al. [84] beskriver ulike måter thermal runaway kan oppstå i en battericelle. En kort oppsummering av de vanligste årsakene følger nedenfor:

1. Ekstern kortslutning  
Ekstern kortslutning oppstår dersom det oppstår en bane med lav elektrisk motstand mellom batteriets to poler. Dette kan føre til høy varmeproduksjon, og i verste fall initiere en ytre brann. Sikringer er den vanligste sikkerhetsmekanismen for å unngå denne type feil.
2. Overlading  
Battericellene har et ganske begrenset spenningsintervall i normalttilstand. Dersom spenningen over en battericelle overstiger denne grensen, vil kjemiske reaksjoner, som produserer varme, oksygen og gjør battericellen mer ustabil, initieres i battericellen. I ytterste konsekvens kan overlading føre til thermal runaway. Overlading kan skje dersom BMSen ikke greier å overvåke cellespenningen til hver enkelt celle.
3. Dyputlading  
Dyputlading kan oppstå dersom BMS-en ikke har kontroll på spenningen over alle celler. En dyputlading av en celle fører til at SEI-laget (SEI: solid-electrolyte interphase) brytes ned. Dette produserer varme og ulike gasser. Battericellen kan også få endrede kjemiske egenskaper som gjør den mer utsatt for andre typer feil, eksempelvis overlading.
4. Eksponering for høy temperatur  
Ved eksponering for høy temperatur er det en rekke reaksjoner som inntreffer i en battericelle, og thermal runaway kan initieres dersom temperaturen i batteriet overstiger grensen for thermal runaway. En ekstern brann er eksempel på en ytre eksponering med høy temperatur.
5. Intern kortslutning  
Intern kortslutning oppstår dersom det oppstår direkte kontakt mellom katode og anode. Dette kan skje dersom separatoren blir ødelagt. En intern kortslutning kan oppstå av flere ulike årsaker, f.eks. ved overlading, overutlading, mekanisk skade eller ved interne feil som oppstår under produksjonen.
6. Mekanisk skade  
For elbiler, og batterier som lett kan bli utsatt for støt, penetrering og vibrasjoner, er mekaniske påkjenninger en av de viktigste årsakene til at thermal runaway kan oppstå. For stasjonære batterier er dette imidlertid ansett som mindre relevant.

Alle store batterileverandører utfører en rekke branntester for å utvikle produktet sitt. Det er imidlertid ikke så mange resultater som er åpent tilgjengelig, men det finnes noen. NFPA [85] utførte to branntester på et Tesla Powerwall batteri (100 kWh), en test med brannutvikling internt i batteriet, og en hvor batteriet ble utsatt for ekstern brann. I den førstnevnte testen ble thermal runaway og brann fremprovosert i en celle. Brannen spredte seg innad i modulen, men ikke til andre moduler. I den eksterne branntesten ble hele batteriet utsatt for en 400 kW brannpåkjenning. Etter 45 minutter oppstod thermal



runaway for første gang. Den siste observerte thermal runaway oppstod etter 3 timer og 10 minutter.

Noe som skiller et batteri for bygg fra f.eks. et elbilbatteri, er at et batteri for bygg i mye mindre grad blir utsatt for vibrasjoner og støt. I tillegg er behovet for energitetthet lavere, som gir større fleksibilitet på vekt og størrelse. Samlet gjør dette at sikkerhetsmarginene kan økes.

### 4.3.3 Sikkerhetsmekanismer

Litium-ion batterier har en rekke innebygde sikkerhetsmekanismer [82], både passive og aktive systemer. Disse skal hindre at en battericelle når thermal runaway, og videre unngå at thermal runaway sprer seg til en nabocelle. Sikkerhetsmekanismer for et batteri er listet i Tabell 4-1 og Tabell 4-2.

Tabell 4-1 Sikkerhetsmekanismer på cellenivå [82].

Sikkerhetsmekanisme	Beskrivelse
PTC (Positive temperature coefficient)	Hvis strømmen gjennom en celle overstiger en gitt grense vil PTC-en begrense strømmen ved at motstanden øker med temperaturen.
CID (Circuit interrupt device)	En mekanisme som bryter strømkretsen dersom det indre gasstrykket overstiger en grense
Termostat	Strømmen kuttes hvis den interne temperaturen i batteriet blir for høy. Termostaten er innstilt på en maksimaltemperatur som ligger godt under smeltepunktet til metallet og den mekaniske bruddtemperaturen til separatoren
Smeltesikring	Benyttes til beskyttelse mot thermal runaway. Smeltesikringer er ofte innstilt på å smelte ved en temperatur som ligger 30 – 50 °C høyere enn vanlig driftstemperatur.
Sikkerhetsventil	Dersom det indre trykket i cellen overstiger en gitt grense, åpner en sikkerhetsventil seg og frigjør trykket. Dette hindrer i stor grad at cellen eksploderer ukontrollert.

Tabell 4-2 Sikkerhetsmekanismer på batterinivå. Informasjonen er innhentet gjennom samtaler og erfaringsutvekslinger med ulike aktører knyttet til batterivirksomhet i Norge, samt fra referanse [82].

Sikkerhetsmekanisme	Beskrivelse
BMS (Battery Management System)	BMS-en er batteriets hjerne og overvåker alt som skjer i batteriet. Den sørger blant annet for at det tappes strøm jevnt over battericellene, og at celler ikke overlades. Dersom BMS-en registrerer parametere som er utenfor deres normalområde, vil den sette i gang tiltak for å forsøke å normalisere situasjonen. Eksempler på dette er at ved unormal lading kan ladingen stenges av, ved unormal temperatur kan ekstra ventilasjon iverksettes m.m.
Inndeling i moduler og grupper	Alle større batterier er delt inn i større og mindre grupperinger. Flere battericeller utgjør en modul, og flere moduler utgjør en gruppe. Inndelingen har en praktisk nytte ved at da kan man bygge så store batterier man vil ved å legge til flere grupper. Samtidig spiller grupperingene en rolle ved f.eks. thermal runaway. Til tross for en rekke sikkerhetsbarrierer, kan man ikke garantere at thermal runaway kan unngås. Det er imidlertid viktig at thermal runaway i en celle ikke får spre seg til et helt batteri. Ved å dele batteriet inn i moduler, kan fortsatt thermal runaway spre seg innad i en modul, men har vanskeligere for å spre seg fra modul til modul.
Kjølesystem	Mange store batterier har et kjølesystem inkludert, basert på enten luft eller vann. Et slikt system vil bidra til å holde celletemperaturene på et riktig nivå, og bremse oppvarmingen av en battericelle, og varmeoverføringen til naboceller. Ved luftsystemer er det ofte vanlig å kunne oppjustere lufthastigheten dersom unormale forhold detekteres.

#### 4.3.4 Forskjell mellom boliger og næringsbygg

Til tross for at samme type battericeller kan benyttes i store og små batteri, kan det likevel være store forskjeller med tanke på hvor sikre batteriene er. Ifølge innspill fra batterileverandører, kan man normalt forvente at store batterier har et mer avansert BMS-system, og vil på den måten være sikrere enn små. Det forventes derfor at store batterier for næringsbygg er sikrere på flere områder enn mindre batterier i privatboliger.

Strømforbruksmønster, batteridesign og utbredelse av energilagringssystemer vil avhenge av om det er installert i et næringsbygg eller i et privat hjem. Brannsikkerheten kan påvirkes ulikt i de to tilfellene.

### **I næringsbygg**

Fra NEK 400 er det krav om at et batteri skal plasseres i egnet rom, med begrenset adgang og med tilpasset ventilasjon. Normalt vil det følge med en serviceavtale på store batterier, og kyndig personell kan tilkalles ved driftsfeil.

I tillegg til at batteriet er godt overvåket og beskyttet, vil det i resten av bygget også være et stort fokus på brannsikkerhet gjennom eksempelvis krav i teknisk forskrift, forskrift om brannforebygging [73] og internkontrollforskriften [86]. Automatiske sløkkeanlegg og brannvarslingssystemer vil ytterligere redusere risikoen for personskader og materielle tap på grunn av en eventuell brann i et batterirom.

### **I private boliger**

I private boliger vil batteriene være mindre enn i et stort næringsbygg. Dette åpner opp for at mange flere tilbydere kan levere slike løsninger. Allerede i dag finnes det både profesjonelle store aktører som Tesla og Eaton, men også lokale leverandører som bygger om gamle bilbatterier til stasjonære løsninger. Flere tilbydere vil presse prisen på slike batterier ned, men det vil også bidra til at det blir større forskjeller f.eks. med hensyn til hvor avansert sikkerhetssystemet er.

Det kan spekuleres i om batterier i private boliger ikke vil ha de samme serviceavtaler og vedlikeholdsprosedyrer som større batterisystemer i næringsbygg vil ha. Når det gjelder regelverk, er batterier i privatbygg i utgangspunktet regulert av det samme regelverket som store batterier i næringsbygg. Det finnes imidlertid ikke detaljkrav på hvor stasjonære batterisystem kan installeres og hvilket brannsikringsnivå som gjelder. I praksis betyr dette at et stasjonært batterisystem kan installeres på soverommet i et bolighus, uten at dette er brudd med kravene i NEK 400, forutsatt at produsentens installasjonsveiledning følges. I privatbygg er fokuset på brann mer varierende, og sikkerhetsnivået omfatter ofte ikke mer enn en røykvarsler per etasje og manuelt sløkkeutstyr, som det er krav om etter forskrift om brannforebygging [73]. En annen stor forskjell mellom et bolighus og et næringsbygg, er at det stort sett er i bolighusene folk sover, og konsekvensene ved en brann kan dermed være alvorlige.

Med tanke på personsikkerheten, er det et lite paradoks at det stilles så få krav til hvor batterier kan installeres, og hvilket brannsikringsnivå som skal gjelde der personer i størst grad oppholder seg og sover.

Som et minimum anbefaler vi at sekundære batterier ikke installeres i rom hvor personer sover, og at det er minst en røykvarsler i kort avstand til batteriet.

## **4.3.5 Samfunnsøkonomisk nytteverdi**

Når flere og flere bygg får installert stasjonære batterier som er koblet til strømmettet vil dette bidra til å jevne ut effekttopper på strømmettet. Dette har en rekke fordeler, blant annet mindre belastning på strømmettet, og at flere personer og bygg har tilgang på en form for reserveenergikilde i tilfelle strømbrudd [20]. Selv om dette nødvendigvis ikke bidrar til å redusere brannrisikoen, har det klart en samfunnsøkonomisk nytteverdi.

## 4.4 Brann i bygg med energilagring

For større solcelleinstallasjoner blir det mer og mer vanlig med energilagring i form av batteribanker som gir mer stabil tilgang på strøm, selv når solcellene ikke produserer tilstrekkelig med strøm.

Det er gitt retningslinjer i NEK 400 [14], hvor det står beskrevet hvordan batterirom skal merkes og utformes. Utfordringene ligger i implementeringen av batteribanker i private boliger, hvor kanskje verken krav til separate batterirom eller merking vil være oppfylt.

På lik linje som solcelleinstallasjoner kan bidra til økte forekomster av brann, er også batteribanker med tilhørende elektronikk en potensiell fare for økt frekvens av branner, men det er ikke funnet noe statistikk som dokumenterer dette.

Brannforløpet i batteriene vil også avhenge av hvordan selve batteribanken er bygget opp og hvor mye den er ladet. Ved enkelte tilfeller kan det oppstå en eller flere jet-flammer i løpet av brannen [87]. Det blir i tillegg produsert gasser som HF og SO<sub>2</sub> [88].

Dette har betydning for hvordan brannvesenet bør forholde seg til denne typen bygninger både under og etter branner.

## 4.5 Slokking av brann i batteri

Å slokke en brann i batterier kan gjøres på flere måter. De tre vanligste måtene er å avkjøle brannen, redusere oksygenivået, eller bryte kjemiske reaksjoner, eventuelt en kombinasjon av disse tre. Å slokke en brann i et litium-ion batteri innebærer imidlertid noen flere utfordringer i forhold til slokking av andre typer batterier.

En battericelle som har nådd thermal runaway har alt den trenger for å starte og opprettholde en brann: lokalt høy temperatur, oksygen frigjøres ved nedbryting av katoden, og det produseres brennbare gasser ved nedbryting av anoden, katoden og elektrolytten [84]. Brann i små batterier, som f.eks. fra mobiltelefoner, pc-er osv. kan slokkes ved å senke hele batteriet i vann. Dette er mulig for battericeller opp til en viss størrelse, så lenge personell har egnet beskyttelsesutstyr, og batteriet er håndterbart. For større batterier, som enten er for tunge til å flyttes på, eller som er skrudd fast til vegg eller gulv, må en brann håndteres på en annen måte. Den vanligste måten er å avkjøle batteriet med vann. En slik metode vil kunne slå ned synlige flammer, men vil kunne ha problemer med å slokke selve brannen, ettersom battericellene ofte er godt beskyttet, og vannet vil ha problemer med å komme til der det behøves. Dette har ført til at man i tester har opplevd å benytte enorme mengder vann på relativt små branner. [85,89–91]

En nøkkelfaktor som avgjør i hvilken grad et fastmontert, vannbaserte slokkeanlegg har mulighet til å slokke eller begrense en brann, ligger i hvor tilgjengelig battericellene er [92]. Dersom de er plassert i bokser som er hermetisk lukket, vil ikke et slokkeanlegg klare å slokke en slik brann. Det er ikke funnet studier som ser på slokking av brann i batteri ved bruk av fastmonterte, gassbaserte slokkeanlegg.

I skipsfart med eldrift er en slokkestrategi å fylle hele rommet med vann. Dersom denne strategien skal benyttes i vanlige bygg, er det imidlertid viktig å sørge for at vegger og gulv

tåler påkjenningen av vannet, og at det holder godt nok på vannet til å unngå vannskader. Etter brannen må det også finnes en måte å fjerne vannet på. En slik sikring av batterier anses imidlertid som en kostbar løsning med stort potensiale for vannskader.

I hvilken grad en brann som oppstår sprer seg til naboceller påvirkes i stor grad av hvor godt sikkerhetssystemet til batteriet er designet. Ved et godt design vil brannen begrenses til en celle, evt en modul [85]. Røyk vil imidlertid kunne komme på avveie, og med tanke på evakuering er det en fordel om denne røyken ventileres bort, og ut av bygningen.

Det er utført en del tester [90,91,93] for å undersøke effekten av å tilsette surfaktanter til vannet. Dette er stoffer som reduserer overflatespenningen til vannet, slik at det fukter bedre, dvs. trenger bedre inn i sprekker og hull. Ved tilstrekkelig tilsats av surfaktanter vil det dannes skum i vannet. Fordelen med skum er at det ikke renner så lett av, i motsetning til ordinært vann, og på den måten oppnår man en bedre kjøleevne per liter vann påført.

En annen viktig faktor ved slokking av en batterirelatert brann, er om batteriet er inkludert i brannen, eller om det er omgivelsene som brenner. Dersom brannen har oppstått i batteriene, er det ingen tvil om at det er en batteribrann, men dersom brannen har oppstått i annet teknisk utstyr i nærheten av brannen, kan det se ut som at det er en batteribrann uten at dette faktisk er tilfelle. I en test utført av RISE ble en batteripakke varmet opp av en bilbrann i mer enn 15 minutter uten at batteriet begynte å brenne [4]. Med andre ord kan en brann som har oppstått utenfor batteriet slokkes som en ordinær brann inntil temperaturen i battericellene blir så høy at thermal runaway initieres. Hvor langt dette tidsvinduet er, vil avhenge av blant annet intensiteten på brannen, og hvor godt beskyttet batteriene er mot ekstern varme.

Per nå finnes det få bygg med store litium-ion batterier, og brannvesenet har dermed i liten grad erfaring og trening med brann knyttet til denne typen objekter, ifølge samtaler med brannvesen, se avsnitt 4.6.2.

## 4.6 Innspill fra workshop og intervjuer

### 4.6.1 Workshop

Under workshopen som ble arrangert i prosjektet, ble brannsikkerhet ved bruk av batterier som energilagring diskutert. Her følger en oppsummering av deltakernes innspill knyttet til batterisikkerhet og regelverk.

#### **Batterisikkerhet**

- Det er knyttet usikkerhet til hvordan kvalitet, slitasje og aldring av batterier påvirker brannsikkerheten.
- Det forventes at batterier tas i bruk på nye måter, for eksempel gjenbruk av elbilbatterier. Dette kan lede til ytterligere utfordringer ved slitasje, brannstart osv.
- Installasjon av batterier i eldre bygg er mer utfordrende enn i nye bygg. Ettermontering av anlegg i eksisterende bygninger kan gi utfordringer, da batterier burde vært plassert i tekniske rom som er dimensjonert for formålet.

- Batterisikkerheten i maritim sektor er godt regulert, mens det i mindre grad finnes regler for landbaserte anlegg.
- Det finnes lite erfaring knyttet til brann i store landbaserte anlegg.
- Til nå har det vært vanlig at brannvesenet frakter batteri ut av bygg i tilfelle brann, for å slukke. Dette vil ikke være mulig ved store batterianlegg, og en annen tilnærming må benyttes.
- Brannvesenet har ikke full oversikt over hvilke bygg som har installert batterier. Dette kan komplisere en innsats.
- Det er knyttet bekymring til at ikke-kompetent personell installerer batterisystemer hjemme.
- Med økende antall batterier i omløp, vil det etter hvert også bli en utfordring med håndtering av disse når de har nådd grensen for redusert kapasitet for ett bruksområde («end-of-life»), og skal tas i bruk til andre bruksområder. Ved evt ombygging til nytt bruksområde må man ta hensyn til avgassing og varmeutvikling.

### **Regelverk**

- Det anbefales at det føres tilsyn av installasjon, og dette må gjerne utføres av forsikringsselskaper. Man kan ikke forvente at regelverket er på plass før innovasjonen er på plass.
- Det er stor forskjell på krav i regelverk offshore og på land.
- Ulike batterityper/teknologier krever ulikt regelverk.
- Det er ønske om å linke VTEK med NEK 400 på batterier
- Det er ønske om tilgang til preaksepterte løsninger eller veiledere, f.eks. gjennom et byggdetaljblad e.l.

## **4.6.2 Intervjuer**

### **Innspill fra forebyggende avdeling Oslo brann- og redningsetat (OBRE)**

Det er foreløpig ikke utarbeidet en intern prosedyre for hvordan brann i et bygg med solcelleinstallasjoner med store batterirom (stasjonært litium-ion batteri) skal håndteres<sup>8</sup>. Det er imidlertid mye fokus på denne tematikken internt. I Oslo-området er det foreløpig få kjente prosjekter med stasjonære batterier, men mer fokus på solcelleinstallasjoner. I større prosjekter er det normalt utbygger som inkluderer brannvesenet i planleggingen og utformingen av anlegget.

---

<sup>8</sup> Kilde: Samtale og e-postkorrespondanse med representant fra OBRE, september og desember 2018

### **Innspill fra Trøndelag brann- og redningstjeneste (TBRT)**

Som beskrevet i avsnitt 3.7 har TBRT<sup>9</sup> foreløpig lite erfaring med branner i store stasjonære batterier. Når det gjelder næringsbygg er de ikke bekymret, men de uttrykker en bekymring knyttet til økende bruk av batterier og solceller hos private aktører.

### **Innspill fra Batteriretur**

Batteriretur er et returselskap for alle typer batterier. Batteriretur<sup>10</sup> har, som de eneste i Norge, tillatelse fra DSB til å transportere kritisk skadde litium-ion batterier i henhold til EUs retningslinjer for transport av farlig gods. Når det har vært en hendelse hvor et litium-ion batteri har vært involvert, kontaktes derfor Batteriretur for transport. Eksempler på hendelser er bilulykker hvor en el-bil er involvert, eller en øvelse hvor brannvesen har tent på en el-bil, men der bilen ikke ble helt utbrent.

Transport skjer først når det er bekreftet at det ikke er temperaturoppbygging internt i det skadde batteriet. Batteriretur transporterer deretter de kritisk skadde batteriene til Sandefjord for sikker demontering, utlading og levering til gjenvinning.

Batteriretur er bekymret for at høyenergibatterier fra el- og hybridbiler kan komme på avveie og bli behandlet eller ombygget av ukyndige personer, og derved benyttet til formål som de ikke var beregnet for. Men de påpeker at de ikke har grunnlag for å si noe om i hvilken størrelsesorden dette forekommer, eller om det kan øke brannrisikoen i for eksempel fremtidige bygg.

### **Intervju med Alternativ Energi AS**

Alternativ Energi AS<sup>11</sup> er et firma som kjøper brukte celler fra Batteriretur og setter dem sammen til et nytt batteri. Batteriet er beskyttet med et BMS-system som har kontroll på celledemperaturer og -spenning, og er spesialtilpasset til dette produktet. Det kontrolleres at hver enkelt celle er i orden, både hos Batteriretur og hos Alternativ Energi. I tillegg testes det ferdige batteriet. Foreløpig er en batteripakke maksimalt 13 kWh, men dette kan økes ved å koble flere batterier sammen.

Hittil har dette produktet i hovedsak blitt installert på private hytter. Det kan installeres i alle rom innendørs, men som regel blir det installert i bod eller i gangarealer. Det er ifølge Alternativ Energi ikke nødvendig å installere noen annen form for brannsikring.

Etterspørsel etter produktet er foreløpig større enn antall celler de får tak i, og etterspørselen er forventet å øke ettersom flere og flere har ønske om å installere solcelleinstallasjoner. En av grunnene til at det er vanskelig å skaffe til veie nok brukte battericeller, er at mange elbilbatterier selges direkte fra bilopp hugger til privatpersoner.

Alternativ Energi er bekymret over at privatpersoner fritt kan kjøpe batterier fra kollisjonsskadede biler for eget bruk. Det er en risiko knyttet til demontering og gjenoppbygging av batterier dersom vedkommende ikke har tilstrekkelig kunnskap om

<sup>9</sup> Kilde: Samtale med to representanter fra Trøndelag brann- og redningstjeneste, oktober 2018.

<sup>10</sup> Kilde: Samtale og e-postkorrespondanse med plassjef ved Batteriretur, oktober&november 2018

<sup>11</sup> Kilde: E-postkorrespondanse med representant fra Alternativ Energi AS, oktober 2018.

hvordan litium-ion batterier og batteriovervåkningssystemer fungerer. I tillegg er dette batteripakker med 300-400 V likestrøm. Dette kan potensielt lede til alvorlige konsekvenser som brann og personskade.

### **Innspill fra DSB**

DSB er enig i bransjens bekymringer omkring behandling og bruk av høyenergibatterier fra el- og hybridbiler som kommer på avveie<sup>12</sup>. Det er dessverre mange tilfeller av at elbilbatterier fra kollisjonsskadde biler legges ut til salgs av opphuggere gjennom markedsplasser på nett.

Videre er DSB bekymret for at batteriene også har ukjent tilstand, og kan derfor være ustabile og representere en potensiell brannfare. Det finnes heller ingen kontroll på at batteriene overvåkes og lades av et batteristyringssystem (BMS) som er tilpasset batteriene. Da er det stor fare for brann og eksplosjon. Dessuten vil batteriene ha en spenning som kan medføre fare for elektrisk sjokk om dette ikke håndteres på riktig måte.

---

<sup>12</sup> Kilde: E-postkorrespondanse med kontaktperson i prosjektet ved DSB, november 2018.



## 4.7 Oppsummering og anbefalinger for batterier

Det er ventet at stasjonære batterier vil bli mer og mer vanlig de neste årene, både i næringsbygg og hos private. Dette henger sammen med forventet økt strømpris og strengere miljøkrav.

Farene ved hvordan en brann kan oppstå er relativt godt kjent, og vil være overførbare til stasjonære batterier i et bygg. I alle store batterier er det derfor bygd inn en rekke sikkerhetsmekanismer som skal hindre at en brann oppstår, og hindre at en brann får spre seg i batteriet. Til tross for at farene er godt kjent, finnes det foreløpig ingen fasitsvar på hva som er den beste måten å håndtere en batteribrann på. I mange tilfeller vil avkjøling med vann være den beste slokkemethoden, men dette kan resultere i et stort vannforbruk ettersom det er vanskelig å få vannet til å komme til der vannet behøves mest.

En av de største utfordringene knyttet til bruk av store stasjonære batterier, er lite erfaring med teknologien. Det finnes få registrerte branner på verdensbasis som man kan lære av, det finnes få publiserte resultater fra fullskala tester, og det er generelt en ny teknologi for mange aktører. Spesielt for brannvesenet er dette et område som få har erfaring med, og som det generelt er lite øvelse med. Mangelen på både kunnskap, erfaring og øvelse kan bidra til at uheldige slokkestrategier velges. For å unngå at dette skjer, er det derfor viktig at brannvesen informeres om hvor store batterisystemer installeres, slik at de har en beredskapsplan klar i tilfelle det oppstår en brann.

Det er samtidig viktig at regelverket er konsistent og tydelig, slik at brannvesen og utbyggere i større grad vet hva de har å forholde seg til. I den nye NEK 400 har det kommet inn viktige oppdateringer fra forrige versjon som omhandler stasjonære batterisystemer. Dette er en god start, selv om regelverket for batterier i privatboliger med fordel kunne vært tydeligere.

Å slukke brann i batterier kan være problematisk, da batteriet selv forsyner brannen med oksygen. Det kreves derfor mye vann for å avkjøle batteriet, slik at den kjemiske reaksjonen brytes. Batterienes innpakning kan også hindre at vann kommer til i brannsonen, noe som fører til at store mengder vann må brukes for å oppnå slokking.

## 5 Tette bygg

Som nevnt i kapittel 2 er det mange ulike typer bygg som kan gå under betegnelsen *energieffektive bygg*. En egenskap som går igjen for enkelte av typene, er at byggene er tettere enn konvensjonelle bygg. Mindre varmelekkasje gjennom bygningskroppen kan føre til høyere trykkoppbygging i bygningen under en brann. I dette kapittelet redegjøres det for hvilke konsekvenser *tette bygg* har for brannutviklingen, muligheten for rømning og brannvesenets slukkeinnsats.

### 5.1 Brann i tette bygg

Ett av forskningsspørsmålene i dette prosjektet var hvorvidt byggenes grad av tetthet påvirker brannutviklingen, og følgelig om dette vil påvirke slukkeinnsatsen fra brannvesenet. En gjennomgang av publisert forskning viser at det er gjennomført en del numeriske beregninger (simuleringer) for å belyse denne problemstillingen, men at det er få av disse som har validert de matematiske modellene ved hjelp av eksperimenter. Det vil derfor hefte usikkerhet vedrørende simuleringenes validitet.

Fourneau et al. [94] gjennomførte simuleringer for å undersøke eventuelle forskjeller i brannfaren mellom passivhus og konvensjonelle hus, samt for å undersøke hvorvidt disse forskjellene påvirker personers mulighet til å rømme fra bygget. Huset som ble modellert var en enebolig på to etasjer med ca. 100 m<sup>2</sup> i grunnareal. For tilfellet med passivhus ble det også modellert mekanisk ventilasjon. I tilfellet med konvensjonelle hus ble kun naturlig ventilasjon modellert.

I sine konklusjoner skiller de mellom brannens vekstfase, og når brannen er fullt utviklet. I vekstfasen observerte de ikke nevneverdige forskjeller mellom passivhuset og det konvensjonelle huset med hensyn til røykgasstemperatur og CO- og HCN-konsentrasjon i arnestedsrommet. Videre konkluderer de med at isolasjonen i passivhuset har ingen innvirkning på røykgasstemperaturene, da varmefronten så vidt har nådd inn til isolasjonslaget i veggene i løpet av simuleringssperioden. Videre konkluderer de med at det samlede lekkasjearealet ikke har noen innvirkning på brannen i vekstfasen, da brannen forbruker oksygenet som var i rommet i utgangspunktet, og at ytterligere oksygen ikke kan komme inn i rommet på grunn av overtrykket brannen skaper.

I neste fase, når brannen er fullt utviklet, vil imidlertid det samlede lekkasjearealet spille en viktig rolle. I denne fasen vil de tette veggene i passivhuset hindre oksygentilgang og føre til en redusert varmeavgivelse. Oksygenmangelen vil føre til en høyere andel av uforbrente gasser, som CO og HCN, og dersom ikke brannen får ytterligere tilgang på oksygen, vil den til slutt kveles. I et konvensjonelt hus vil reduksjonen i varmeavgivelse føre til lavere temperatur, og følgelig et undertrykk som trekker inn oksygen fra utsiden gjennom lekkasjeåpninger.

Schubert og Krause [95] har fått tilsvarende resultater i CFD-simuleringer (computational fluid dynamics) av ventilasjonsanleggets påvirkning på brannforløpet i passivhus. Huset som ble modellert var en enebolig på to etasjer. I simuleringene har man sett på to tilfeller av ventilasjon: balansert, mekanisk ventilasjon, samt ventilasjon gjennom et åpent vindu.

Schubert og Krause konkluderer med at det var små forskjeller mellom de ulike ventilasjonsforholdene med hensyn til temperaturøkning og CO-konsentrasjon i brannens vekstfase, men at forholdene ble mer uttalt utover i brannforløpet. Når brannen er fullt utviklet ser man også her, i likhet med i simuleringene til Fourneau et al., at CO-konsentrasjonene og overtrykket i brannrommet blir høyere i tilfellet med mekanisk ventilasjon enn når man har et åpent vindu.

Hostikka et al. [96] har gjennomført CFD-simuleringer, med en modell som er validert med eksperimentelle data fra flere tidligere studier [97–99], for å belyse hvordan brannspjeld, byggets tetthet og brannvekstrate påvirker trykkoppbygging og røykspredning i mekanisk ventilerte bygninger. Modellen beskriver et enkelt, tett rom, med en lekkasjeåpning tilknyttet en ventilasjonskanal som forgreiner seg til tre andre rom, før kanalen når viften og deretter kanalens åpning mot omgivelsene.

Forfatterne konkluderer med at trykket i rommet øker med økende grad av bygningstetthet, økende bruk av brannspjeld og økende brannvekstrate. Studien har funnet at 100 Pa overtrykk i brannrommet er tilstrekkelig for å hindre personer i å åpne en innadslående dør, og dermed forhindre dem i fra å rømme. Denne trykkgrensen ble oppnådd i samtlige simuleringer av passivhus etter 20 sekunder med ultrarask brannvekstrate, og etter 100 sekunder med middels brannvekstrate. Det var også fare for skader på lettvegger på grunn av overtrykk (>1450 Pa) i tilfellene med rask og ultrarask brannvekstrate. I kun ett tilfelle greide de å unngå røykspredning via ventilasjonsanlegget: med brannspjeld lukket på tilluftskanalen, og åpen avtrekkskanal med viften i gang. Hostikka [100] peker også på at trykkoppbygging i rommet kan føre til utblåsning av vinduer, noe som kan påvirke både rømning og redning.

## 5.2 Slokking av brann i tette bygg

Hume [101] har gjennomgått forskningslitteratur vedrørende brannvesens slokkeinnsats av branner i underventilerte rom. Det redegjøres for en rekke studier som omhandler fysikken, brannvesenets perspektiv og anbefalinger for brannvesenet om hvordan de skal takle branner i underventilerte rom. Dette behandles videre i følgende underkapitler.

Som nevnt tidligere, vil det dannes en større en del uforbrente branngasser i tette bygg enn i konvensjonelle bygg. Dette kan representere en fare for brannvesenet i deres slokkeinnsats. Når de går inn i bygget, vil de uforbrente branngassene få tilgang på oksygen, og kan dermed antenne og skape en deflagrasjon [101] som presser flammer ut gjennom døråpningen [102]. Dette kalles backdraft.

En rekke studier har studert fenomenet backdraft, med formål å identifisere faktorer som kjennetegner, og som kan predikere, backdraft. Fleischman et al. [103] gjennomførte i 1994 forsøk i bostedsrom i halv skala i tillegg til numeriske beregninger. Denne studien identifiserte oppdriftskreftene som skaper en strøm av friskluft, eksempelvis langs gulvet inn gjennom en dør og inn i gassonen, som en viktig faktor. Dette kan skje i løpet av sekunder. I tillegg konkluderte de med at en massefraksjon uforbrente hydrokarboner på minst 10 % måtte være til stede for å oppnå backdraft, og en konsentrasjon på over 15 % resulterer i store flammeballer utenfor brannrommet. Tilsvarende nedre grense for massefraksjon har blitt funnet av Weng og Fan [104] til å være 9,8 %, noe som stemmer godt overens med Fleischmans resultater.

Gottuk et al. [105] gjennomførte eksperimenter på et tidligere US Navy-skip. I eksperimentene, hvor diesel ble brukt som brennstoff, oppnådde man backdraft i naborommet til brannrommet. Videre studerte man effekten av ulike parametere, som naborommets størrelse og ventilasjonsforhold. Studien konkluderte med at man for diesel trenger en uforbrent massefraksjon på minst 16 % for å oppnå backdraft. Videre konkluderte de med at naborommets størrelse påvirker intensiteten av backdraft utenfor brannrommet, og at mindre rom er assosiert med høyere intensitet. Å slå av ventilasjonen i naborommet påvirket ikke intensiteten i like stor grad, og det ble derfor diskutert om det er hensiktsmessig å la ventilasjonen gå for å redusere temperaturen i rommet. Videre ble det vist at ved å påføre vann i rommet kunne man fortynne konsentrasjonen av branngassene, og følgelig effektivt hindre backdraft.

Backdraft kan være en alvorlig og uforutsigbar hendelse for brannvesenet [106], og Chitty [107] sier at brannvesenet bør være i stand til å identifisere et sett med forhold som kan føre til backdraft.

Videre gir litteraturen brannvesenet flere konkrete råd om hvordan man skal forutse og håndtere faren for backdraft. Eksempelvis lister en veileder for britisk brannvesen [108] flere tegn på at backdraft kan skje:

- Eksterne tegn på backdraft
  - Brannen har vart en stund
  - Branngasser presses ut gjennom åpninger av overtrykket i brannrommet
  - Vinduer har blitt mørke, uten tegn til flammer
  - Branngasser pulserer ut gjennom åpninger
- Interne tegn på backdraft
  - Det nøytralplanet ligger lavt
  - Branngassene blir mørkere
  - Det strømmer luft inn gjennom åpning (dør, vindu etc.) samtidig som branngasser presses ut
  - Branngassene pulserer ut gjennom åpninger
  - Deflagrasjon gjennom åpning

Gojkovic og Bengtsson [109] gjennomførte CFD-simuleringer av brann i en leilighet for å få bedre forståelse for effekten av ulike brannbekjempelsestaktikker i backdraft-situasjoner. Fire taktikker ble simulert: 1) brannvesen går inn i leiligheten for å redde ut personer, 2) naturlig ventilasjon, 3) overtrykksventilasjon og 4) feil bruk av overtrykksventilasjon.

I det første scenariet, hvor brannvesenet utfører personredning, konkluderer de med at det tar kun sekunder fra man åpner døren til leiligheten til det oppstår en brennbar blanding av brannrøyk og oksygen. Brannvesenet må på denne tiden avkjøle gassene med vannspray. Å lukke døren etter seg for å redusere mengden oksygen virket tilsynelatende ikke.

I det andre scenariet, naturlig ventilasjon, ble det antatt at det ikke var personer som måtte reddes i leiligheten. To åpninger for å ventilere ut røyken ble etablert: døren og et vindu. Røyken som slipper ut av åpningene må kjøles med vann for ikke å antenne på utsiden av bygget. Simuleringene viste at denne taktikken var effektiv med hensyn til røykevakuering, men samtidig kan det være fare for rask flammespredning.

I tilfellet hvor man bruke overtrykk for å ventilere ut røyken (scenario 3), ble det i simuleringene tilført luft til leiligheten ved hjelp av en vifte plassert i døråpningen, samtidig som røyken ble presset ut av et åpent vindu. Viften økte sammenblandingen av luft og brannrøyk, og økte i en kort periode faren for backdraft. Ut over dette så man at leiligheten raskt ble tømt for brannrøyk.

I det siste tilfellet, hvor man simulerte feil bruk av overtrykk, ble det lagt inn en blokkering for å simulere en stengt dør som hindrer gjennomtrekk i leiligheten. Resultatene viste at dette økte faren for backdraft betydelig.

Videre diskuterer forfatterne å bruke skjærslukker for å forhindre backdraft, men dette ble ikke simulert. Det argumenteres for at skjærslukkeren kan skjære et lite hull gjennom døren til en leilighet, og deretter tilføre vann i brannrommet uten at man samtidig tilfører oksygen. De små dråpene skjærslukkeren produserer vil også være godt egnet til å senke røyktemperaturen [110].

## 5.3 Oppsummering og anbefalinger

Det er gjennomført en del CFD-simuleringer som viser at branner i tette bygg utvikler seg annerledes enn branner i konvensjonelle bygg. Simuleringene viser at i brannens vekstfase er det liten forskjell mellom ulike typer bygg, men at forskjellene blir mer uttalte i senere faser av brannen. Grunnet byggenes lekkasjetetthet, vil man først få en trykkoppbygging som er kraftigere enn i konvensjonelle bygg. Videre vil brannen raskere konsumere oksygenet i bygget, noe som fører til at brannen avtar eller dør ut. Dette fører til en stor andel uforbrente gasser, som igjen øker risikoen for backdraft.

Faren for backdraft er faktoren som primært påvirker brannvesenets slukkeinnsats, og som kan utgjøre betydelig risiko for mennesket. Brannvesenet må derfor være bevisst denne faren, og legge opp innsatsen deretter, eksempelvis ved å benytte alternative sløkkemetoder som skjærslukker.

## 6 Vurdering av brannsikkerhet

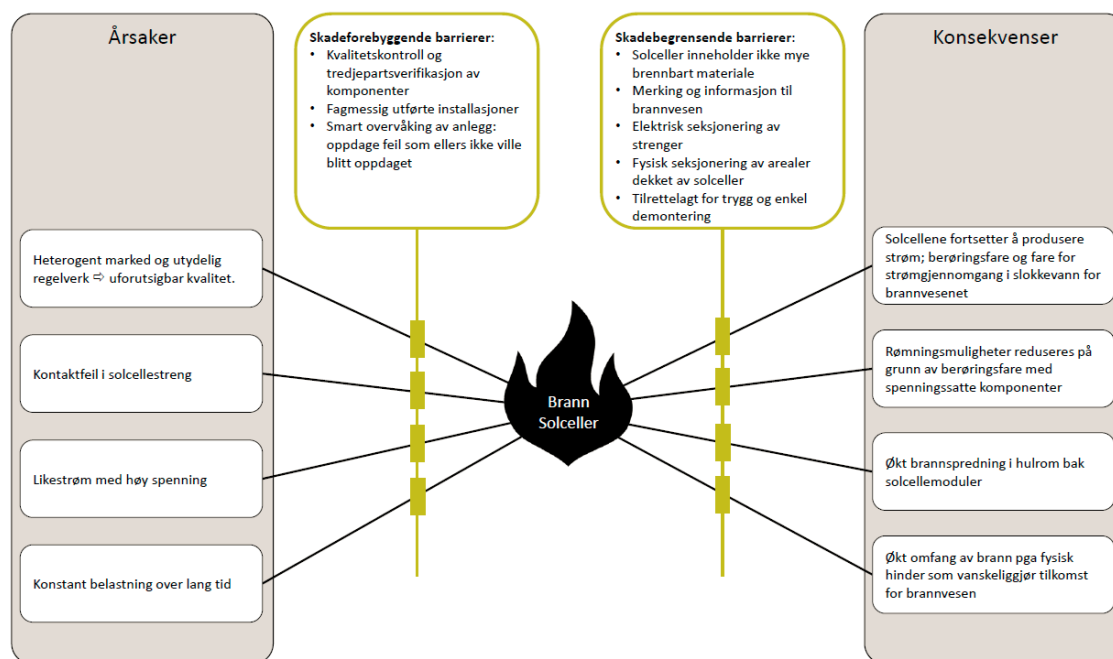
I dette kapitlet vil det bli gitt en vurdering av brannsikkerhet knyttet til solceller, batterier og tette hus, samt en overordnet vurdering av innvirkningen av andre energieffektive løsninger. Dette skal svare ut forskningsspørsmålet: *På hvilken måte vil samspillet mellom ulike nye tekniske og energieffektive løsninger kunne påvirke sikkerheten, med tanke på antennelse av brann, brannforløp, rømning, brukeradferd og innsats fra brannvesen?*

Vurderingen er gjort på grunnlag av resultater presentert i kapittel 3 for solceller, i kapittel 4 for batterier og i kapittel 5 for tette bygg. Til slutt er det gitt en gjennomgang av teknologi og løsninger som kommer utenfor disse fokusområdene.

Det er gjennomført en kvalitativ risikoanalyse, og vurderingen er basert på «bowtie»-metoden, som er en barriere-fokusert risikoanalysemetode. Dette med grunnlag i kartleggingen av regelverk og litteratur som er gjennomført i prosjektet, samt innspill fra bransjen gjennom intervju og workshop. I «bowtie»-metoden visualiseres skadeforebyggende og skadebegrensende tiltak, med utgangspunkt i det som har blitt identifisert av årsaker til brann og konsekvenser av brann innenfor hvert tema.

## 6.1 Solceller

Årsaker til, og konsekvenser av, branner i solcelleinstallasjoner er kartlagt. I tillegg er det identifisert barrierer som skal hindre at branner oppstår, samt redusere konsekvensene av oppståtte branner. Dette er vist i bowtie-diagrammet i Figur 6-1.



Figur 6-1 Bowtie-risikoanalyse for solceller. Årsaker og skadeforebyggende barrierer (grønne bokser) til venstre. Brann er uønsket hendelse i senter. Konsekvenser og skadebegrensende barrierer (grønne bokser) til høyre.

Siden solcelleinstallasjoner både er elektriske komponenter og kan utgjøre en betydelig del av bygningskroppen, faller de litt mellom to stoler når det kommer til regelverk og teststandarder for brannegenskaper. Regelverket er ikke så lett å sette seg inn i, slik at det er en utfordring for byggherre å vite hvilke krav som skal stilles til leverandørene av solcelleinstallasjoner. Dette kan gi rom for aktører i markedet som leverer produkter uten tilstrekkelig gode brannegenskaper. Det er likevel vårt inntrykk at de fleste aktører i bransjen tar brannsikkerhet på alvor. Det er behov for et tydeligere regelverk og etablering av testmetoder som sikrer at de nødvendige egenskapene blir ivaretatt, som barrierer for å sikre at ikke brannegenskapene til tak og fasader blir vesentlig dårligere med utenpåmonterte solceller. Her er det behov for tverrfaglig samarbeid mellom ulike aktører innen solenergi, elektro, brann og bygg.

Innsamlete data om branner i solcelleinstallasjoner fra Tyskland og Storbritannia tyder ikke på at det oppstår veldig mange branner på grunn av solcelleinstallasjoner. Likevel er solcelleinstallasjoner annerledes enn de fleste andre elektriske anlegg, ettersom en solcellestreng leverer likestrøm med høy spenning kontinuerlig så lenge panelene utsettes for sol eller andre sterke lyskilder. På grunn av at solcellene leverer likestrøm med høy spenning oppstår det lettere lysbuer i et kontaktpunkt enn det gjør i en vanlig elektrisk installasjon med 230 V vekselstrøm. En barriere her er kvalitetskontroll av

komponenter, robuste og værbestandige kontaktpunkt, samt fagmessig utførte installasjoner. Det kan være vanskelig å oppdage mindre elektriske feil, som dårlige koblinger, ettersom produksjonen varierer gjennom døgnet og året med varierende solinnstråling. Her kan smart overvåkning av solcelleinstallasjonen være en barriere, ved at redusert produksjon kan oppdages ved sammenligning av ulike deler av installasjonen over tid.

Solceller monteres utenpå bygningskroppen med luftrom bak for å sikre kjøling av solcellene. Dimensjonene på dette luftrommet vil variere avhengig av om det er utenpåmonterte solceller eller bygningsintegreerte solceller. Uansett vil dette luftrommet kunne være med på å gi økt brannspredning på grunn av at varmen fra en brann vil bli fanget i dette luftrommet i stedet for å slippe ut til omgivelsene.

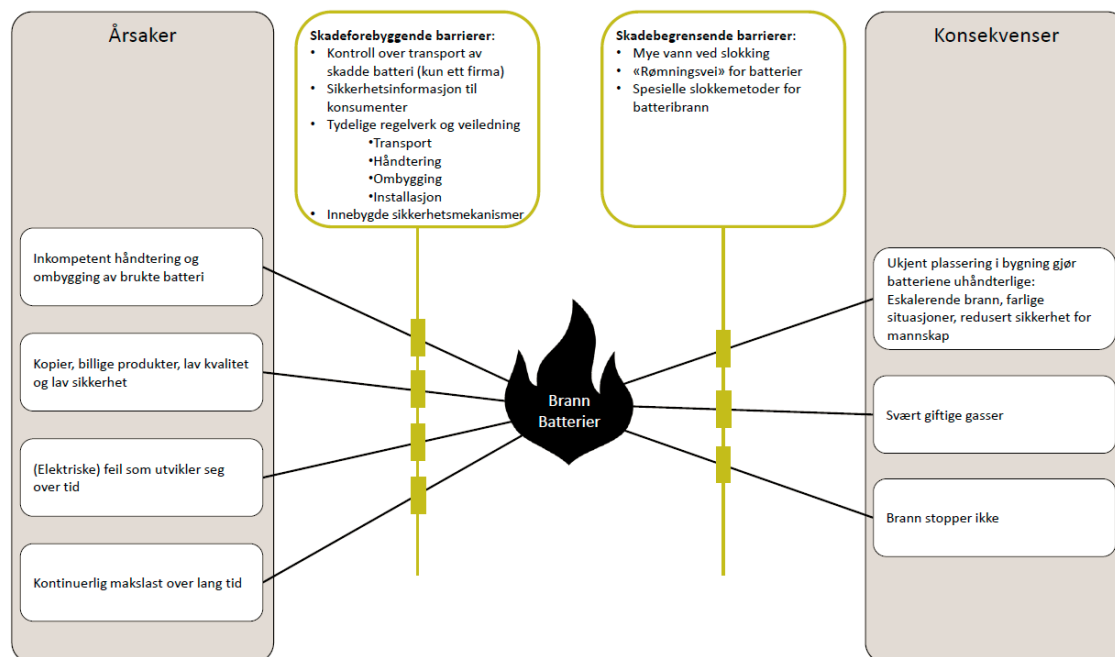
Med mange solceller i serie vil spenningen kunne gi berøringsfare for innsatspersonell og folk som skal evakuere dersom de kommer i kontakt med en skadet del av installasjonen. Den viktigste barrieren for å unngå dette, er å sikre at brannvesenet vet hvor det potensielt kan være spenningsatte deler. Det må også sikres at rømningsveier er tilgjengelige uten at personer kommer i nærheten av spenningsatte solcellekomponenter. Dersom solcellene er utstyrt med mikrovekselrettere, eller andre komponenter for å hindre at det oppstår høye spenninger i solcelleinstallasjonen, vil berøringsfaren i installasjonen kunne minimeres.

Brannvesenet må ta utgangspunkt i at solcelleinstallasjonen kan være spenningsatt. De kan spyle vann på solcellene så lenge de holder minst én meters avstand med spredt stråle og fem meters avstand med samlet stråle. De delene av en bygning som er dekket av solceller vil normalt ikke være tilgjengelig for innsatspersonell, ettersom solcellemodulene utgjør et fysisk hinder mellom brannvesen og bygg, med mindre det er lagt til rette for trygg og enkel demontering i tilfelle brann. For at brannvesen skal ha noe handlingsrom til å bevege seg på tak med solceller er det anbefalt i NEK400-7-712 [14] å ha minst én meter bred sikkerhetssone for hver 40 m med solceller. I tillegg bør ikke solcellene dekke hele takflaten ut til kanten.



## 6.2 Batterier

Årsaker til, og konsekvenser av, branner i batterier er kartlagt. I tillegg er det identifisert barrierer som skal hindre at branner oppstår, samt redusere konsekvensene av oppståtte branner. Dette er vist i bowtie-diagrammet i Figur 6-2.



Figur 6-2 Bowtie-risikoanalyse for batteri. Årsaker og skadeforebyggende barrierer (grønne bokser) til venstre. Brann er uønsket hendelse i senter. Konsekvenser og skadebegrensende barrierer (grønne bokser) til høyre.

Det er stor interesse for batterier og energilagring. De identifiserte årsakene til branner i batteri har i stor grad sammenheng med den raske utviklingen innen batteriteknologi. Økt bruk i næringsbygg, og særlig bruk i private boliger, gir utfordringer for brannsikkerheten. Begrenset tilgang på resultater fra fullskala tester og lite erfaringsdata innen brannslukking, medfører at det er lite grunnlag for læring fra denne typen branner, og kan være utfordrende for regelverk og veiledninger å følge med i utviklingen.

Årsaker til brann kan være elektriske feil som utvikler seg over tid, for eksempel på grunn av kontinuerlig makslast i batteriene over lang tid. Et økende antall installasjoner vil gjøre at kunnskapen om denne påvirkningen øker. Barrierer i form av kontroll, informasjon og regelverk bør likevel etableres så raskt som mulig, og oppdateres fortløpende for å forhindre at branner oppstår.

Det er et voksende marked med nye aktører som vil posisjonere seg på markedet for både nye og brukte batterier. Markedskonkurransen vil potensielt lede til billigere systemer med lavere sikkerhetsnivå. Økningen i antall nyproduserte batterier etterfølges av en økt tilgang på brukte batterier. Privatpersoner har i dag mulighet å kjøpe brukte batterier med ukjent nivå av sikkerhetsmekanismer og skadeomfang, for å så sette sammen egne energilagringssystemer. Transport, håndtering, ombygging og installasjon av batterier er

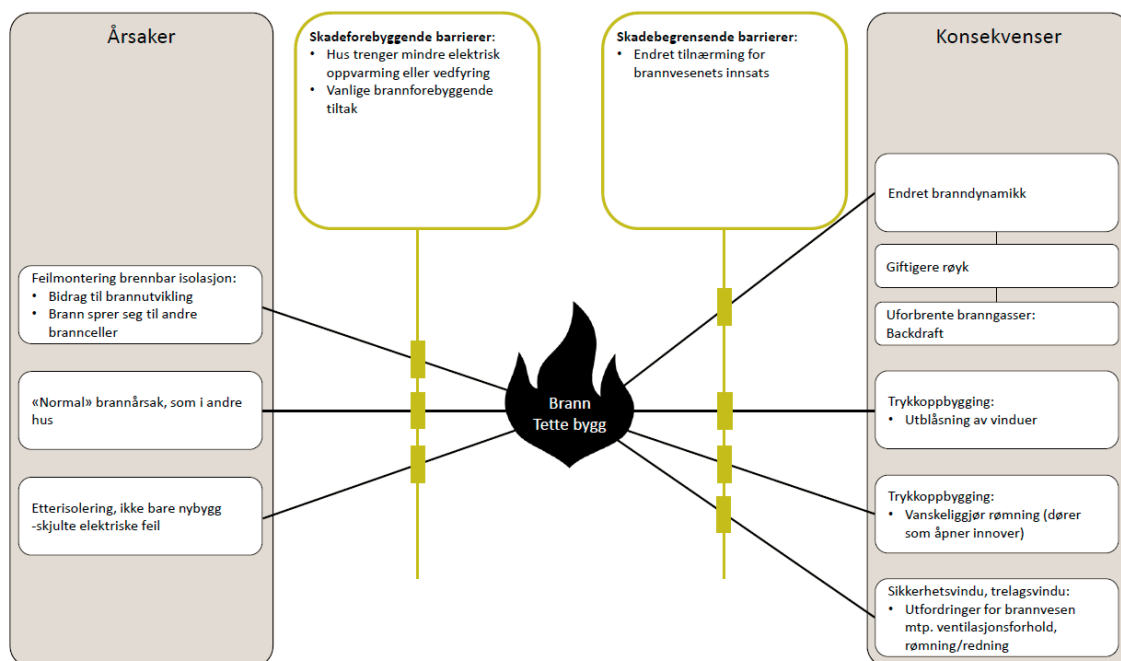
faser hvor det potensielt kan oppstå personskade og materielle tap. Målrettet informasjonsarbeid til privatpersoner og aktører innen batteriindustrien kan hindre at situasjoner som leder til brann oppstår. Dette forutsetter tydelig regelverk og lettforståelige veiledninger. Spesielt batterier for bruk i private boliger, der personer oppholder seg og sover, er kritiske. Mangelen på kontroll av håndtering og bruk av batterier danner et betydelig bidrag i risikokartleggingen for batterier.

En brann i et batteri stopper ikke av seg selv, før cellen er utbrent. Det kan derfor kreves store mengder vann for å forhindre spredning av brann mellom battericeller. Det er ikke gitt at dette er den beste sløkkemetoden for batteribrann. Andre sløkkemetoder bør undersøkes, utvikles og testes for å finne den mest optimale metoden for å slukke og hindre spredning av brann i batteri.

Stasjonær energilagring i bygg påvirker innsatsen til brannvesenet ved eventuell brann. Tidligere har batterier i hovedsak vært mindre, mer mobile og har enklere kunne fjernes fra bygninger ved innsats fra brannvesenet. Dersom det også for større batterier kan legges til rette for at batteriet kan evakueres fra bygget, en «rømningsvei» for batteriet, vil dette kunne lette brannvesenets innsats. Brann i store og fastmonterte batterier vil likevel i større grad måtte bekjempes og kontrolleres der batteriene er installert. Dette forutsetter at brannvesenet vet hvor batteriene er lokalisert, hvilken sløkkemetode som er best egnet, og at de er bevisst på sikkerhetsaspektet knyttet til giftige gasser som kan frigjøres ved brann i batteri.

## 6.3 Tette bygg

Årsaker til, og konsekvenser av, branner i tette bygg er kartlagt. I tillegg er det identifisert barrierer som skal hindre at branner oppstår, samt redusere konsekvensene av oppståtte branner. Dette er vist i bowtie-diagrammet i Figur 6-3.



Figur 6-3 Bowtie-risikoanalyse for tette bygg. Årsaker og skadeforebyggende barrierer (grønne bokser) til venstre. Brann er uønsket hendelse i senter. Konsekvenser og skadebegrensende barrierer (grønne bokser) til høyre.

Det er ikke identifisert mange spesielle faktorer som kan antas å øke sannsynligheten for at brann skal oppstå i tette hus. Dersom brennbar isolasjon blir brukt, kan risikoen øke ved for eksempel feilmontering eller feil bruk (for eksempel ved rehabilitering som endrer beskyttelsen), og spredning av brann inne i sandwichelementer kan være vanskelig å håndtere, som beskrevet i tidligere studier på plast i byggevarer [5,6]. Ved etterisolering kan skjulte elektriske feil bli vanskeligere å oppdage.

Tette bygg har ofte mindre behov for tradisjonell elektrisk oppvarming eller vedfyring, som kan være årsaker til brann. Færre antennelseskilder kan derfor være en barriere som kan forhindre brann i denne typen bygg. Kartleggingen viser også at det kan se ut til at det er et behov for flere barrierer som kan dempe konsekvensene av brann i tette bygg.

Brannvesenet vil måtte endre sin tilnærming ved slokkeinnsats, ettersom det kan forventes at branndynamikken vil være forskjellig fra de brannene de er vant til å håndtere. Den endrede branndynamikken vil kunne ha stor betydning både for de som blir utsatt for brann (beboere) og for brannvesenet. På den ene siden vil noen branner, som i konvensjonelle hus ville utviklet seg og blitt store, dø ut og aldri spre seg nevneverdig på grunn av oksygenmangel. På den andre siden kan slike branner også bidra til giftigere røyk, som jo påvirker mulighetene for å overleve. Det er også observert

fenomen med trykkoppbygging som kan ha konsekvenser for rømningsforhold, for eksempel dersom dørene åpner innover og på grunn av det høye trykket ikke går an å åpne. Trykkoppbygging kan gi en utblåsning av vinduer, og bruk av sikkerhetsvindu kan gi utfordring med tanke på rømning og redning. Backdraft er også en risiko i forbindelse med tette bygg. Brannvesenet vil derfor kunne ha behov for å endre sin tilnærming til oppgaven for å ivareta egen sikkerhet, ut fra forutsetningene de har for å håndtere brannen og dens konsekvenser.

Det er mange kunnskapshull knyttet til konsekvensene av brann i tette bygg. Risikokartleggingen i figuren ovenfor er basert på forskningslitteratur fra praktiske forsøk, modellering og på en viss grad erfaringer. Brannvesenets erfaringer bør samles inn på en systematisk måte og analyseres. Modelleringsdemonstrasjoner bør valideres med eksperiment. Slik vil man kunne redusere usikkerheten, og eventuelt kunne utvikle nye flere barrierer der det er behov.

## 6.4 Andre tema aktuelle for videre arbeid

Dette avsnittet vil gi en kort oversikt over aspekter ved andre tema, som ikke direkte kommer inn under solceller, batterier eller tette bygg, når det gjelder brann sikkerhet i energieffektive bygg. Fokus er lagt på å identifisere både potensielle negative og positive aspekter ved hvordan løsninger i energieffektive bygg kan påvirke antennelse, brannforløp, brann dynamikk, rømning og innsats fra brannvesen. Oversikten er basert på informasjon fra forskningslitteratur, rapporter, veiledere og innspill fra bransjen (se avsnitt 2.5 for detaljer). Dette er ikke en komplett gjennomgang, men er å betrakte som innspill til områder som kan undersøkes mer i dybden i fremtidige studier.

### **Antennelse:**

#### *Negativt:*

Det kommer generelt sett mer teknikk og elektronikk inn i bygg. Dette gir flere potensielle elektriske antennelseskilder. Her er en viktig barriere korrekt dimensjonering og installering av utstyr.

Med smartere styring, og internet-of-things kommer også problemstillingen om sikkerhet med tanke på «cyber security» inn. Når alle elektriske enheter i et bygg er koblet på nett, kan det spekuleres i at overlatt fjern-påtenning kan bli aktuelt. En som hacker seg inn på husets energisystem kan få tilgang til å tukle med eksempelvis solcelleinstallasjonen, varmtvannsberederen, oppvaskmaskinen, stekeovnen eller andre potensielle antennelseskilder i huset. Ildspåsettelse fra hackere som potensiell fremtidig sikkerhetsutfordring er et område som trenger mer kunnskap.

#### *Positivt:*

Behovsstyring av lys og andre komponenter etter tilstedeværelse i bygget og andre behov, vil gjøre at færre lys og andre elektriske enheter står på når folk ikke er til stede. Dette vil kunne redusere sannsynligheten for antennelse av brann. Videre vil smarte hus kunne ha sammenkobling mellom ulike deteksjonssystemer og mulige brannkilder. Eksempelvis vil en detektor for varmgang eller røyk kunne slå av stekeovnen eller varmtvannsberederen før det oppstår brann. Smarte hus vil også kunne tilrettelegge for langsiktig overvåking og sammenligning av strømforbruk fra år til år, og vil dermed gi grunnlag for at man kan oppdage feil i elektriske komponenter på et tidlig stadium.

Med ny strømtariff vil det kunne bli et flatere strømforbruk i løpet av et døgn. Færre toppe i strømforbruket kan ha en positiv effekt på fare for antennelse, for eksempel i trafostasjoner. Dette er litt på siden når det gjelder selve det energieffektive bygget, men det er en positiv konsekvens av et flatere strømforbruk.

### **Brannforløp og -dynamikk**

#### *Negativt*

Hulrom kan påvirke brann dynamikken, som diskutert for hulrom bak solcellemoduler i avsnitt 6.1 og i tidligere studie [2]. I energieffektive bygg, er også hulrom som en del av andre typer dobbeltfasader aktuelt. Brannen i Grenfell Tower i juni 2017 aktualiserte behovet for fokus på hvordan hulrom i fasader påvirker brannforløp. Dagens

preaksepterte ytelser i VTEK [53] for utvendig kledning inkludert hulrom er utredet av Steen-Hansen i 2018 [9]. Her påpekes det at hulrom vil kunne påvirke hvordan et produkt oppfører seg i en brann, og at hulrommet mellom plate og underlag følgelig må inkluderes i branntesting og klassifisering av overflatematerialer, som en del av det underlaget som skal anvendes i praksis.

Økt bruk av trevirke i bygg, kan også bidra til endret brannodynamikk og brannforløp sammenlignet med bygg av mindre brennbare materialer. Tidligere studier viser at kunnskapen om brannsikkerhet i forbindelse med massivtre i bygninger er mangelfull [8], men de senere årene har det blitt gjennomført en del omfattende, fullskala brannforsøk og modelleringsarbeid som vil bidra til å tette kunnskapshullene. En statusoppdatering på disse nyere studiene presenteres av Reitan m.fl. [111].

Innenfor termisk energilagring og isolasjonsprodukt, er noen av materialene som brukes brennbare. Eksempelvis brukes parafin-baserte faseskiftende materialer i varmevekslere og i termiske isolasjonsprodukter. I tilfelle brann vil dette kunne påvirke brannforløpet, ved at brennbare materialer kan bidra til brannen. En barriere her vil være bruk av ikke-brennbare faseskiftende materialer (som salter). Passive tiltak (som gips foran brennbare isolasjonsoverflater) eller aktive brannsikkerhetstiltak i bygget vil også fungere som barrierer.

Når det gjelder biobaserte isolasjonsprodukter, av for eksempel ull, cellulose og trefiber, er også disse brennbare og vil kunne bidra til brannutviklingen. En masteroppgave som ble utført i samarbeid med RISE viste at bruken av kjemiske brannhemmere i isolasjonsprodukter av treull ikke nødvendigvis forbedrer de branntekniske egenskapene i tilfelle ulmebrann [112]. En spansk studie viste at isolasjonsmaterialer lagd av produkter fra maisavfall kan gi forbedrede branntekniske egenskaper sammenlignet med noen typer plastmaterialer [113].

#### *Positivt/negativt:*

Som en del av en generell trend i moderne bygg, men også som et ledd for å spare energi innenfor ventilasjonsfaget, velges det ofte løsninger med store rom, himlinger og mer åpne areal. Det vil kunne ha både positiv og negativ innvirkning på brannforløp og brannodynamikk. Med større rom blir det lengre tid til overtenning, men mangel på fysiske skiller legger samtidig til rette for røyk- og brannspredning over større arealer.

#### **Rømning:**

##### *Positivt/negativt:*

Trenden med mer åpne areal vil også kunne påvirke rømning. Store rom kan være en fordel for rømning ettersom det er mer plass, men samtidig kan det være utfordrende for folk å vite hvor de skal rømme. Når det gjelder rømning fra store, åpne areal, særlig hvis det er kombinert med store folkemengder, er det en del kunnskapshull når det gjelder menneskelig oppførsel, som vist av en litteraturgjennomgang av Storesund og Mikalsen [114]. Det er derfor usikkert om utvidet bruk av åpne areal i bygg vil netto påvirke rømningssikkerheten på en positiv eller negativ måte.

Et annet aspekt som vil kunne påvirke rømning, er smart styring av energieffektive bygg. Brukeradferd vil kunne endres sammenlignet med mer analoge, tradisjonelle bygg.

Samtidig som ny teknologi og smart styring vil kunne være positivt for rømning med hensyn på for eksempel smart styring av deteksjon og brannventilasjon, vil usikkerhet ved bruk av ny teknologi i krisesituasjoner potensielt kunne virke inn negativt på brukeradferd under rømning. Her er det behov for mer kunnskap.

*Negativt:*

Som beskrevet ovenfor, vil ny strømtariff og et flatere strømforbruk i løpet av et døgn kunne være positivt med hensyn på antennelse, men når det kommer til rømning vil dette ikke være heldig. Dersom flere velger å kjøre tørketrommel og andre enheter med høyt strømforbruk på nattetid, vil det bety at dersom det skulle oppstå en brann, vil personer ligge og sove når det skjer. En barriere for å håndtere denne risikoen er ekstra røykvarslere i nærheten av disse apparatene, slik at man kan få tidlig varslings og iverksette evakuering raskt. En annen barriere kan være bedre innebygde sikringsmekanismer i utstyr som produserer varme (tørketromler, vaskemaskin, oppvaskmaskin).

**Innsats fra brannvesen:**

*Positivt/negativt:*

Samspeilet mellom ulike nye tekniske og energieffektive løsninger vil kunne påvirke brannvesenets innsats både i positiv og negativ retning.

Det er Norges Brannskole (NBSK) som er ansvarlig for opplæring av brannvesenet i Norge. NBSK forteller at de er avhengig av tilgjengelig kunnskap om ulike tema for å kunne gi en god opplæring<sup>13</sup>. De føler at de ligger i etterkant av nyere forskning, og at det tar lang tid fra ny kunnskap blir publisert til de får det implementert i sine læreplaner. Noe av utfordringen er måten tilgangen til ny og aktuell kunnskap blir bekjentgjort for NBS. Læreplaner i dag utarbeides på bakgrunn av kunnskapsgrunnlag gjort tilgjengelig fra DSB. Brannskolen har energieffektive bygg med som tema i alle kursene de gjennomfører, men føler at de kun er i stand til å belyse en problemstilling uten å kunne tilby noe generell løsning på hvordan disse utfordringene skal håndteres.

Mye av kunnskapen i de enkelte brannvesen baserer seg i dag på erfarings- og kunnskapsoverføring. Dette medfører at det er veldig stor variasjon i hvordan slike situasjoner blir håndtert, avhengig av hvilke erfaringer det enkelte brannvesen har gjort seg, og hvor mange hendelser de baserer denne kunnskapen på. Det åpner for at en bred kunnskapsoverføring og kunnskapsoversikt kan gi forbedringer i forhold til dagens situasjon.

Fra casegjennomgangene presentert i Vedlegg A ser vi også at informasjon til brannvesenet er viktig. Dette gjelder både underveis i byggeprosessen, og i form av et system som sikrer at brannvesenet har informasjon om større bygg som benytter solceller og batteripakker. Dette gjelder både for nybygg og ved renovering av eksisterende bygningsmasse. Vi ser at i tilfeller hvor brannvesenet har vært involvert underveis i byggeprosessen, så har det blitt gjort tiltak som sørger for en bedre helhetlig løsning som i større grad tilrettelegger for innsats (se eksempel kontorbygg i

---

<sup>13</sup> Kilde: Telefonmøte med fagansvarlig for innsats/beredskaps avdeling ved NBSK, oktober 2018

Vedlegg A). Dette er tidkrevende prosesser, og er kanskje mest aktuelt for bygg som er svært annerledes enn det som er normen. Etter hvert som energieffektive bygg blir vanligere, vil kunnskapsutveksling i bransjen og læring fra gjennomførte prosjekt, i dialog med brannvesenet, være nøkkelen.

Dersom brannvesenet ikke involveres eller informeres, vil det kunne være negativt for brannsikkerheten, ettersom brannvesenet da ikke vet at bygget som brenner er et energieffektivt bygg, og de dermed ikke er oppmerksom på de eventuelle tilleggsutfordringene som foreligger på objektet med hensyn til slukkeinnsats. Brannvesener som vi har snakket med i dette prosjektet er imidlertid ikke bekymret for den økende bruken av nye teknologier som for eksempel solceller i næringsbygg, så lenge de får vite om anleggene på forhånd, får informasjon om hvordan de er utformet, og at spenningssatte kabler er tydelig merket.



## 7 Konklusjoner

Målsettingen med prosjektet har vært å belyse utfordringer knyttet til energieffektive bygg og brannsikkerhet. Her gir vi en oppsummering av læringspunkt fra prosjektet. Innledningsvis ble en rekke problemstillinger definert, med fokus på solceller, batterier og slokking. I tillegg til solceller og batterier som tekniske løsninger, er det fokusert på tettere bygg, ettersom dette kan påvirke brannforløp og slokking. En oppsummering med anbefalinger for hvert av disse temaene- solceller, batterier og tette bygg, er gitt henholdsvis avsnitt 3.8, 4.7 og 5.3. Her er et sammendrag av de viktigste punktene:

### Generelt:

En oversikt over hva som er teknologi- og utviklingsfronten innenfor materialer, konstruksjoner, tekniske løsninger og krysningspunkt mellom ulike teknologier er gitt i 2.4. Samspillet mellom ulike nye tekniske og energieffektive løsninger vil kunne påvirke brannsikkerheten, med hensyn på antennelse, brannforløp, brannodynamikk, rømning og innsats fra brannvesen. Her er det både potensielle negative og positive aspekt, se avsnitt 6.4 for detaljer.

Tabell 7-1 Oversikt over teknologi- og utviklingsfronten for energieffektive bygg. Dette er faktorer innenfor materialer, konstruksjoner, tekniske løsninger og krysningspunkt mellom ulike teknologier som kan være relevante for brannsikkerhet. Mer detaljer gis i avsnitt 2.4.

#### Materialer og konstruksjoner

- Utenpåmontert solcelle som dobbeltfasade
- Tettere bygg og innovative isolasjonsteknikker (vakuum, nye plastprodukt, dobbeltfasader/glassfasader, aerogel, faseskiftende materialer)
- Biobaserte materialer: massivtre, limtre, biobaserte isolasjonsprodukt

#### Nye tekniske løsninger

- Generelt mer teknikk i bygg
- Batteribanker, elbil i garasjen, ladeklare bygg
- Kjemisk, mekanisk og termisk energilagring
- Termisk energiutveksling: varmevekslere, faseskiftende materialer
- Bygningsintegrerte solceller
- Inneklima, ventilasjon, mer åpne løsninger, behovsstyring

#### Krysningspunkt mellom ulike teknologier

- Strømbruk: smarte målere, effekttariff, økt nattbruk
- Smart grid, desentralisert strømproduksjon, plusskundeordning
- Utvidet sensorbruk: velferdsteknologi
- Smarte styringssystemer/ internet of things: sikkerhet (safety og cyber security)

Når nye løsninger lanseres, savner ofte aktører i bransjen at regelverket holder tritt. Myndighetene på sin side påpeker at det er ikke regelverkets oppgave å ligge i front, og

med dagens funksjonsbaserte regelverk er det bransjen selv som har ansvaret for å dokumentere at nye løsninger holder mål. Når det gjelder brannsikkerhet, oppstår en del spørsmål om hvilken dokumentasjon som skal foreligge, og hva som er tilstrekkelig. Her vil bransjeveiledninger og kunnskapsutveksling kunne være en nøkkel, frem til regelverket er på plass.

Generelt er det viktig at aktører tar hensyn til brannsikkerheten og koordinerer ansvar og oppgaver når nye løsninger skal implementeres. Det kan være en tendens til utviklingsfrykt fra et brannsikkerhetsperspektiv, men det er likevel ingen grunn til å overdramatisere, ettersom nye løsninger og teknologier også kan bidra til forbedret brannsikkerhet. Vårt overordnede inntrykk er at de fleste profesjonelle aktører i bransjen tar brannsikkerhet på alvor. Seriose aktører, god kvalitet på produkter, dimensjonering og installering vil være viktig også fremover for å sikre en trygg utvikling.

### **Solceller:**

I Norge er solceller lite utbredt sammenlignet med andre land, og god statistikk samt lærdom fra enkelthendelser kan sørge for at vi unngår faktorer som øker brannrisikoen. Det er mange ulike teststandarder for solcelleinstallasjoner, og det kan være vanskelig å forstå hvilke krav – om det er noen - som gjelder for brannklassifisering. Solceller som skal monteres på fasader bør behandles på samme måte som annen fasadekledning med luftrom bak, men det europeiske systemet for branntesting og klassifisering av takbelegg er ikke godt egnet for testing av tak med utenpåmonterte solcellemoduler. Det ble i en studie fra 2013 funnet at bygningsintegreerte solceller på tak har en vesentlig større brannrisiko enn utenpåmonterte solceller, men dette er i liten grad undersøkt i de senere år. Det er ikke funnet noen vesentlig forskjell i branntekniske utfordringer for større solcelleinstallasjoner sammenlignet med små.

For brannslukking er det primært den elektriske spenningen anleggene genererer som kan være problematisk, med fare for re-antennelse og fare for strømgjennomgang direkte ved berøring og indirekte gjennom slokkevann. En kvalitativ risikoanalyse av årsaker, barrierer og konsekvenser av brann i solcelleinstallasjoner er gitt i avsnitt 6.1.

### **Batterier:**

Farene ved hvordan en brann i et batteri kan oppstå er relativt godt kjent, og vil være overførbare til stasjonære batterier i et bygg. Samtidig kan brannvesenets manglende kunnskap, erfaring og øvelse med hensyn til store batteribanker i bygninger bidra til at uheldige slokkestrategier velges. For å unngå dette, er det viktig at brannvesen informeres når det installeres store batterisystemer i bygninger, slik at slokkestrategien kan være klar når brannen oppstår. I mange tilfeller vil avkjøling med vann være den beste slokemetoden, men dette kan resultere i et stort vannforbruk ettersom batteriet selv forsyner brannen med oksygen, og at batterienes innkapsling hindrer vannet i å nå brannsonen. Til gjengjeld er det ofte mulighet for større sikkerhetsmarginer i store, stasjonære batteribanker på grunn av et mindre behov for energitetthet, sammenlignet med for eksempel batterier i kjøretøy eller til maritim bruk.

Regelverket som omhandler bruk av batteripakker i boliger bør presiseres med hensyn til plassering av batteripakke og hvilket sikkerhetsnivå som skal gjelde. Det bør utarbeides en veileder for personer som vurderer å installere batteri i hjemmet.

En kvalitativ risikoanalyse av årsaker, barrierer og konsekvenser av brann i batterier er gitt i avsnitt 6.2.

### **Tette bygg:**

CFD-simuleringer viser at det med hensyn til brannutviklingen er liten forskjell mellom tette og konvensjonelle bygg i brannens startfase, men at forskjellene blir mer uttalte i senere faser av brannen. Forskjellene vil primært vise seg i form av økt trykkoppbygging og at brannen raskt blir ventilasjonskontrollert i tette bygg. Høyt trykk i et brannrom kan gjøre det vanskelig å åpne dører som slår innover, og kan føre til utblåsning av vinduer. Mindre oksygen til brannen fører til økt risiko for backdraft (rask tilluftsantennelse), noe som representerer en fare for brannvesenet. En kvalitativ risikoanalyse av årsaker, barrierer og konsekvenser av brann i batterier er gitt i avsnitt 6.3.

## 8 Videre arbeid

Energieffektive bygg er et stort, komplekst og relativt nytt område, hvor det fremdeles er mange kunnskapshull knyttet til hvilken brannrisiko de nye innovative løsningene kan medføre. Her gis en oversikt over behov for videre arbeid innenfor solceller, batteri og slokking. Når det gjelder andre tema, gis det i avsnitt 6.4 en del eksempler på områder hvor det trengs mer kunnskap omkring energieffektive bygg og brannsikkerhet.

### **Solceller:**

Videre arbeid bør inkludere en innsamling og gjennomgang av tilgjengelig statistikk og hendelser for branner i solcelleinstallasjoner i ulike land, for å belyse den reelle brannrisikoen ved solcelleinstallasjoner. Dette vil også kunne underbygge eller motbevise påstanden fra en tysk studie fra 2013 (se avsnitt 3.3) om at bygningsintegreerte er farligere enn utenpåmonterte solceller. Når det gjelder bygningsintegreerte solceller, er det et generelt behov for flere numeriske, eksperimentelle studier og analyser med fokus på brannsikkerheten til denne typen installasjoner, særlig hvis utbredelsen av slike installasjoner blir større enn i dag, noe som er forventet.

Videre er det kunnskapshull når det gjelder hvordan seksjonering av solcellemoduler bør utformes, og det er behov for storskala eksperimenter med flere felt med solcellemoduler. Tidligere studier (se avsnitt 3.5) indikerer at solceller potensielt kan føre til større brannspredning på taket enn om taket hadde vært åpent uten solceller. Forsøkene viser også at materialene i takkonstruksjonen og solcelleinstallasjonen vekselvirker i en brann i dette mellomrommet. Videre studier bør gjennomføre tilsvarende forsøk, men med flere felt med solcellemoduler. Forsøk med tilsvarende brannspredning på skrå tak og på vertikale fasader kunne også bygd videre på dette arbeidet for å få mer kunnskap om skrå og vertikal brannspredning.

I de europeiske tekniske standardene for solceller refereres det til nasjonale regler for brannklassifisering. De fire testmetodene som er referert i CEN/TS 1187 (se avsnitt 3.4.3.5) er ikke spesifikt utviklet for å teste solcellemoduler og det varierer hvor godt de fire ulike testmetodene lar seg tilpasse til å inkludere solceller i takkonstruksjonen.

Det er publisert en testmetode i den tekniske rapporten NEK CEN/TR 50670 for å evaluere hvilken effekt utenpåmonterte solceller har på et eksisterende klassifisert tak. Denne tar ikke høyde for brennbart underlag under solcellene, og har heller ingen akseptkriterier. Videre studier bør ta sikte på å legge grunnlaget for en norm for hvordan resultater fra denne testen skal sees i sammenheng med klassifiseringsresultater for tak.

Videre arbeid bør også undersøke hvilken testmetode som er best egnet til å gi et relevant bilde av brannrisikoen ved solcelleinstallasjoner. De fleste testmetodene som brukes i dag for brannpåkjenning mot tak og for solcellemoduler, er ikke spesielt tilpasset solcellemoduler som prøvestykker, og følgelig er det usikkert hvor godt egnet de er til å si noe om brannrisikoen ved montering av solceller på tak. Det bør gjennomføres sammenlignbare tester av en eller flere typer solcellemoduler med flere av testmetodene som benyttes i dag. Dette bør også sammenlignes med relevante fullskalatester for å avgjøre omnoen av testene gir et relevant bilde av brannrisikoen.

**Batteri:**

Eventuelle problemstillinger knyttet til «ladeklare bygg» er lite belyst. Når elbilen blir en del av byggets energisystem, vil interaksjonen mellom elbil, energilager og energiproduksjon kunne medføre et endret risikobilde, som bør kartlegges.

**Slokking:**

Det har frem til nå vært relativt få branner i bygg med solcelleinstallasjoner, batterier og i bygg som er tette, og brannvesenet har hatt begrensede muligheter til å skaffe seg erfaring med tanke på denne problemstillingen. Etter hvert som teknologien blir mer utbredt og brannvesenet får mer erfaring, kan det være hensiktsmessig å gjennomføre en kartlegging av erfaringene brannvesenet har gjort seg, for å legge grunnlag for opplæring og erfaringsoverføring til andre brannvesen, og å utarbeide en veileder om hvordan branner i slike bygg best bør håndteres.

# Referanser

- [1] P. G. Nordløyken, C. Sesseng, og E. D. Wormdahl, «Energibesparende bygg og brannsikkerhet», SP Fire Research AS, Trondheim, SPFR A15 20129:1, 2015.
- [2] R. Stølen, R. F. Mikalsen, og J. P. Stensaas, «Solcelleteknologi og brannsikkerhet», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2018:31, sep. 2018.
- [3] N. K. Reitan og A. Bøe, «Brannsikkerhet og alternative energibærere: El- og gasskjøretøy i innelukkede rom», SP Fire Research AS, Trondheim, Norway, A16 20096-1:1, feb. 2016.
- [4] A. S. Bøe, «Fullskala branntest av elbil», SP Fire Research, Trondheim, Norge, A17 20096:03-01, 2017.
- [5] A. Steen-Hansen, N. K. Reitan, og E. Andersson, «Plast i byggevarer og brannsikkerhet - Forprosjekt», SINTEF NBL as, Trondheim, SINTEF-rapport NBL A12138, feb. 2013.
- [6] N. K. Reitan, R. F. Mikalsen, og E. Andersson, «Plast i byggevarer og brannsikkerhet - Hovedprosjekt», SINTEF NBL as, Trondheim, SINTEF-rapport NBL A13134, 2014.
- [7] K. Hox, «Branntest av massivtre», SP Fire Research AS, Trondheim, SPFR A15101, 2015.
- [8] E. D. Wormdahl, K. Hox, A. Steen-Hansen, G. Baker, og M. Ulfesnes, «Brannsikkerhet i bygg med massivtre», SP Fire Research, Trondheim, Norge, SPFR-rapport A17 20229:1, mar. 2017.
- [9] A. Steen-Hansen, «Utredning – branntekniske ytelseskrav for kledninger og overflater», Trondheim, Norge, RISE-rapport A18 20354:1.
- [10] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 19. juni 2017 nr. 840 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK17)*. 2017.
- [11] «Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner», SINTEF Byggforsk, Oslo, Byggforskserien 473.003, des. 2015.
- [12] Standard Norge, «NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger». Standard Norge, 2013.
- [13] Standard Norge, «NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Yrkesbygninger». Standard Norge, 2012.
- [14] «NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner, Norsk elektroteknisk norm». Norsk Elektroteknisk Komité, 2018.
- [15] «Stortingsmelding nr. 25 (2015-2016), Kraft til endring – energipolitikken mot 2030». 15 apr. 2016.
- [16] Enova, «Markedsutviklingen 2017 - Hovedtrender i Enovas satsingsområder», Enova SF, 2017:4.
- [17] Forskningsrådet, «Forskningssentre for miljøvennlig energi (FME)», [www.forskningsradet.no](http://www.forskningsradet.no). [Online]. Tilgjengelig på: [https://www.forskningsradet.no/prognett-energiserter/Om\\_sentrene/1222932140880](https://www.forskningsradet.no/prognett-energiserter/Om_sentrene/1222932140880). [Åpnet: 10 des. 2018].
- [18] «BREEAM». [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.breeam.com/>. [Åpnet: 04 des. 2018].
- [19] Grønn Byggallianse, Norwegian Green Building Council, «BREEAM-NOR». [Online]. Tilgjengelig på: <https://byggalliansen.no/sertifisering/breeam/om-breeam-nor/>. [Åpnet: 06 des. 2018].
- [20] A. Kringstad, V. Holmefjord, og J. Aarstad, «Fleksibilitet i det nordiske kraftmarkedet 2018-2040», Statnett, jan. 2018.
- [21] NVE- Norges vassdrags- og energidirektorat, «NVE ønsker innspill til arbeidet med ny tariffstruktur», 27 nov. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-reguleringsmyndigheten-for->

- energi/nve-onsker-innspill-til-arbeidet-med-ny-tariffstruktur/. [Åpnet: 28 nov. 2018].
- [22] «Innst. 315 S (2016-2017), Innstilling til Stortinget fra energi- og miljøkomiteen, Dokument 8:70 S (2016-2017)». mai. 2017.
- [23] «Representantforslag om å sikre at alle i borettslag og sameier får mulighet til å lade elbilene sine, samt opptrappingsplan for salg av nullutslippsbiler. Stortingsvedtak 717, Dokument 8:70 S (2016-2017)». mai. 2017.
- [24] «Europas strømrebeller», Norsk Klimastiftelse, Norwegian Climate Foundation, Bergen, Rapport nr. 7/2015, 2015.
- [25] *Forskrift 11.april 1999 nr.302 om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer (Forskrift om kontroll av nettvirksomhet)*. 1999.
- [26] NVE, «Plusskunde», NVE, 12 jul. 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/>. [Åpnet: 30 okt. 2018].
- [27] *Forskrift 27.juni 2018 nr.1092 om endring i forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer (Endr. i forskrift om kontroll av nettvirksomhet)*. 2018.
- [28] L. Fiorentini, L. Marmo, E. Danzi, og V. Puccia, «Fires in photovoltaic systems: lessons learned from fire investigations in italy», *www.sfpe.org*, 2017. [Online]. Tilgjengelig på: [http://www.sfpe.org/?page=FPE\\_ET\\_Issue\\_99](http://www.sfpe.org/?page=FPE_ET_Issue_99). [Åpnet: 03 sep. 2018].
- [29] H. Laukamp *mfl.*, «PV fire hazard-analysis and assessment of fire incidents», presentert på 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2013.
- [30] S. Pester og S. Woodman, «Fire and solar PV systems- Investigations and Evidence», BRE National Solar Centre, Cornwall, P100874-1004, issue 2.5, jul. 2017.
- [31] J. S. Kristensen, «Photovoltaic installations on warehouse buildings- an experimental study of the propagation of fire», Master thesis, DTU Civil Engineering, Kongens Lyngby, Denmark, 2016.
- [32] J. S. Kristensen, B. Merci, og G. Jomaas, «Fire-induced reradiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs», *Fire and Materials*, bd. 42, nr. 3, s. 316–323, apr. 2018.
- [33] J. S. Kristensen og G. Jomaas, «Experimental study of the fire behaviour on flat roof constructions with multiple photovoltaic (PV) panels», *Fire Techn*, bd. 54, nr. 6, s. 1807–1828, 2018.
- [34] *Forskrift 19 juni 2013 nr. 739 om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr (Forskrift om elektroforetak mv.)*. 2013.
- [35] *Veiledning til forskrift om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr, Veiledning til § 6 Kvalifikasjonskrav for den som bygger og vedlikeholder elektriske anlegg. .*
- [36] *Musterbauordnung- fassung november 2002\* (Byggeregler, november 2002)*. 2016.
- [37] «Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017». Deutsches Institut für Bautechnik, aug. 2017.
- [38] «DIN 4102-20:2016-03 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Besonderer Nachweis für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen». DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Germany, 2016.
- [39] «DIN 4102-7 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 7: Bedachungen. Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.» DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Germany, 1998.

- [40] «DIN SPEC 4102-23:2018-07 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 23: Bedachungen - Anwendungsregeln für Prüfergebnisse von Bedachungen nach DIN CEN/TS 1187, Prüfverfahren 1, und DIN 4102-7». DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Germany, 2018.
- [41] S. Pester, «Fire and solar PV systems- literature review», BRE National Solar Centre, Cornwall, P100874-10000, issue 3.4, 2017.
- [42] «IEC 61215:2005 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval». International Electrotechnical Commission (IEC), apr. 2005.
- [43] «IEC 61730-1:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction, 2.edition». International electrotechnical commission (IEC), aug. 2016.
- [44] «IEC 61730-2:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing, 2.edition». International electrotechnical commission (IEC), aug. 2016.
- [45] «EN ISO 11925-2:2010 Reaction to fire tests -Ignitability of products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test». CEN-European Committee for Standardization, 2010.
- [46] «EN 13501-1:2007+A1:2009 Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests». European Committee for Standardization, 2009.
- [47] «CEN/TS 1187:2012. Prøvingsmetoder for utvendig brannekspnering av tak». European Committee for Standardization, 2012.
- [48] «UL 1703 - Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels». Underwriters Laboratories, 2002.
- [49] «UL 61730-1:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction.» Underwriters Laboratories, 04 des. 2017.
- [50] «UL 61730-2:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing.» Underwriters Laboratories, 04 des. 2017.
- [51] «IEC 62446-1:2016, Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction, 2.edition». International electrotechnical commission (IEC), aug. 2016.
- [52] «NS-EN 13501-5:2005 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 5: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av tak utsatt for utvendig brannekspnering». Standard Norge, 2005.
- [53] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK)*. 2017.
- [54] E. F. Smeplass, «Brannsikkerhet i bygg med solcelleanlegg», Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2016.
- [55] «UL 1703 Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels». [Online]. Tilgjengelig på: [https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard\\_1703\\_3](https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_1703_3). [Åpnet: 06 nov. 2018].
- [56] «Intertek.com UL 1703». [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.intertek.com/building/standards/ul-1703/>. [Åpnet: 06 nov. 2018].
- [57] L. Sherwood, B. Backstorm, D. Sloan, C. Flueckiger, B. Brooks, og A. Rosenthal, «Fire Classification Rating Testing of Stand-Off Mounted Photovoltaic Modules and Systems», Solar America Board for Codes and Standards, aug. 2013.
- [58] UL LLC, «UL790, Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings», UL LLC, ulstd edition 8, apr. 2004.
- [59] «NEK CLC/TR 50670:2016 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays - Test method(s)». Norsk Elektroteknisk Komité, NK82, 02 jan. 2017.
- [60] R. Backstrom og D. A. Dini, «Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project», Underwriters Laboratories Inc., Northbrook, IL, USA, nov. 2011.



- [61] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning om byggesak*. 2016.
- [62] D. Stellbogen, P. Lechner, og M. Senger, «Field and Laboratory Performance Characterisation of Microinverter and Power Optimizer Systems», presentert på 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Munich, Germany, 2016, s. 1654–1659.
- [63] M. N. van den Donker, G. Verberne, K. Sinapis, og W. Folkerts, «Module-Level Power Electronics: the Business Case from an End-User Perspective», presentert på 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Munich, Germany, 2016, s. 1651–1653.
- [64] «Powerwall Tesla hjemmebatteri». [Online]. Tilgjengelig på: [https://www.tesla.com/no\\_NO/powerwall](https://www.tesla.com/no_NO/powerwall). [Åpnet: 17 okt. 2018].
- [65] «Powerpack Commercial & Utility Energy Storage Solutions Tesla». [Online]. Tilgjengelig på: [https://www.tesla.com/no\\_NO/powerpack](https://www.tesla.com/no_NO/powerpack). [Åpnet: 17 okt. 2018].
- [66] «xStorage by NISSAN». [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.nissan.no/opplev-nissan/electric-vehicle-leadership/xstorage-by-nissan.html>. [Åpnet: 17 okt. 2018].
- [67] «Mercedes-Benz Energy Storage». [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.mercedes-benz.com/com-en/mercedes-benz-energy/products/battery/>. [Åpnet: 17 okt. 2018].
- [68] «Three megawatt battery Johan Cruijff Arena live». [Online]. Tilgjengelig på: <https://amsterdaminnovationarena.com/three-megawatt-battery-johan-cruijff-arena-live/>. [Åpnet: 17 okt. 2018].
- [69] «Skagerak Energilab». [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.odd.no/nyheter/skagerak-energilab>. [Åpnet: 14 feb. 2019].
- [70] «Nissan Vehicle to Home Electricity supply system». [Online]. Tilgjengelig på: [https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle\\_to\\_home.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle_to_home.html). [Åpnet: 17 okt. 2018].
- [71] «Press release: Hitachi, Mitsubishi Motors and ENGIE explore using electric car batteries as renewable energy storage for office buildings». 29 mar. 2018.
- [72] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 6.november 1998 nr. 1060 om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)*. 1999.
- [73] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 17.desember 2015 nr. 1710 om brannforebygging*. 2015.
- [74] «UL 1973 - Standard for Batteries for Use In Stationary, Vehicle Auxiliary Power and Light Electric Rail (LER) Application». Underwriters Laboratories, 2018.
- [75] «UL 9540 - Standard for Energy Storage Systems and Equipment». Underwriters Laboratories, 2016.
- [76] «UL 9540A - Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems». Underwriters Laboratories, 2018.
- [77] «IEC 61427-1:2013 - Secondary cells and batteries for renewable energy storage - General requirements and methods of test - Part 1: Photovoltaic off-grid application». International Electrotechnical Commission, 2013.
- [78] «IEC 61427-2:2015 - Secondary cells and batteries for renewable energy storage - General requirements and methods of test - Part 2: On-grid applications». International Electrotechnical Commission, 2015.
- [79] «IEC 62619:2017 - Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications». International Electrotechnical Commission, 2017.
- [80] A. W. Golubkov, D. Fuchs, og J. Wagner, «Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes», *Royal Society of Chemistry*, bd. 4, s. 3633–3642, 2014.
- [81] R. Spotnitz og J. Franklin, «Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells», *Journal of Power Sources*, bd. 113, nr. 1, s. 81–100, jan. 2003.

- [82] P. G. Balakrishnan, R. Ramesh, og T. Prem Kumar, «Safety mechanisms in lithium-ion batteries», *Journal of Power Sources*, bd. 155, nr. 2, s. 401–414, apr. 2006.
- [83] F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist, A. Lorén, og B.-E. Mellander, «Characteristics of lithium-ion batteries during fire tests», *Journal of Power Sources*, bd. 271, s. 414–420, des. 2014.
- [84] X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia, og X. He, «Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review», *Energy Storage Materials*, bd. 10, s. 246–267, jan. 2018.
- [85] A. F. Blum og R. T. Long jr., «Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems», NFPA, feb. 2016.
- [86] «Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter», Arbeids- og sosialdepartementet, FOR-1996-12-06-1127, 1997.
- [87] Q. Wang, P. Huang, P. Ping, Y. Du, K. Li, og J. Sun, «Combustion behavior of lithium iron phosphate battery induced by external heat radiation», *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, bd. 49, s. 961–969, sep. 2017.
- [88] A. Lecocq, G. G. Eshetu, S. Grugeon, N. Martin, S. Laruelle, og G. Marlair, «Scenario-based prediction of Li-ion batteries fire-induced toxicity», *Journal of Power Sources*, bd. 316, s. 197–206, jun. 2016.
- [89] R. T. Long jr., A. F. Blum, og T. J. Bress, «Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results», NFPA, jun. 2013.
- [90] W. Luo, S. Zhu, J. Gong, og Z. Zhou, «Research and Development of Fire Extinguishing Technology for Power Lithium Batteries», *Procedia Engineering*, bd. 211, s. 531–537, 2018.
- [91] «DEKRA - Lithium-Ionen-Batterien stellen in Brandversuchen Sicherheit unter Beweis». [Online]. Tilgjengelig på: [http://www.dekra.com/de/pressemitteilung?p\\_p\\_lifecycle=o&p\\_p\\_id=ArticleDisplay\\_WAR\\_ArticleDisplay&\\_ArticleDisplay\\_WAR\\_ArticleDisplay\\_articleID=24844066](http://www.dekra.com/de/pressemitteilung?p_p_lifecycle=o&p_p_id=ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay&_ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay_articleID=24844066). [Åpnet: 11 des. 2015].
- [92] F. W. Williams, «Lithium Battery Fire Tests and Mitigation», Naval Research Laboratory, NRL/FR/6104--14-10,262, 2014.
- [93] T. Maloney, «Extinguishment of Lithium-Ion and Lithium-Metal Battery Fires», U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, DOT/FAA/TC-13/53.
- [94] C. Fourneau, N. Cornil, C. Delvosalle, H. Breulet, S. Desmet, og S. Brohez, «Comparison of Fire Hazards in Passive and Conventional Houses», *Chemical Engineering Transactions*, bd. 26, 2012.
- [95] S. Schubert, «A CFD-based study about smoke distribution in presence of a mechanical ventilation system in a passive house», presentert på 16th International Conference on Automatic Fire Detection, Washington D.C, USA, 2017.
- [96] S. Hostikka, R. K. Janardhan, U. Riaz, og T. Sikanen, «Fire-induced pressure and smoke spreading in mechanically ventilated buildings with air-tight envelopes», *Fire Safety Journal*, bd. 91, s. 380–388, 2017.
- [97] Hägglund B, Nireus K and Werling P, «Pressure rise due to fire growth in a closed room. An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts.», FOA Defence Research Establishment, FOA-R-98-00870-311-SE, 1998.
- [98] Hägglund B, Nireus K and Werling P, «Pressure rise due to fire growth in a closed room. Description of three full-scale tests.», FOA Defence Research Establishment, FOA-R-96-00347-2.4-SE, 1996.
- [99] R. Kallada Janardhan og S. Hostikka, «Experiments and Numerical Simulations of Pressure Effects in Apartment Fires», *Fire Technology*, bd. 53, s. 1353–1377, 2017.

- [100] S. Hostikka, «Handling overpressure and ventilation in modern building fires (keynote)», i *Nordic Fire & Safety Days, Book of Abstracts*, Trondheim, Norway, 2018.
- [101] B. Hume, «Firefighting in under-ventilated compartments: Literature review», Office of the Deputy Prime Minister, Fire Statistics and Research Division, London, UK, 04LGFG02767(5), ISBN: 1 85112 764 X, des. 2014.
- [102] «Kollegiet for brannfaglig terminologi», 22 okt. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.kbt.no>.
- [103] C. M. Fleischman, «Backdraft phenomena», University of California, Berkeley, California, USA, NIST-GCR-94-646, jun. 1994.
- [104] W. Weng og W. C Fan, *Critical condition of backdraft in compartment fires: A reduced-scale experimental study*, bd. 16. 2003.
- [105] D. T. Gottuk, M. J. Peatross, J. P. Farley, og F. W. Williams, *Development and mitigation of backdraft: A real-scale shipboard study*, bd. 33. 1999.
- [106] J. A. Foster og G. V. Roberts, «An Experimental Investigation of Backdraught», Office of the Deputy Prime Minister, Fire Research Division, London, UK, Fire Research Report Number 82, ISBN: 1-85112677-5, des. 2003.
- [107] R. Chitty, «A Survey of Backdraught», Home Office, Fire Research & Development Group, London, UK, FRDG Publication FRDG Publication Number 5/94, ISBN: 1-85893-191-6, 1994.
- [108] «Fire and Rescue Service Operational Guidance, Generic Risk Assessments, GRA 5.8 Flashover, backdraught and fire gas ignitions», The Stationery Office, London, UK, ISBN: 978-0-11-754011-8, aug. 2009.
- [109] D. Gojkovic og L.-G. Bengtsson, «Some theoretical and practical aspects on fire fighting tactics in a backdraft situation», i *Interflam Proceedings*, 2001, bd. 2, s. 1093–1104.
- [110] K. Hox og A. S. Bøe, «Slokkemetoder med lite vann», SP Fire Research, Trondheim, Norway, A17 20099-01:1, 2017.
- [111] N. K. Reitan, R. F. Mikalsen, og K. L. Friquin, «Brannsikkerhet ved bruk av massivtre i bygninger», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, (Upublisert, publiseres tidlig 2019).
- [112] A. Steen Hansen, R. F. Mikalsen, og U. E. Jensen, «Smouldering combustion in loose-fill wood fibre thermal insulation. An experimental study.», *Fire Technol*, bd. 54, nr. 6, s. 1585–1608, 2018.
- [113] M. Palumbo, J. Formosa, og A. M. Lacasta, «Thermal degradation and fire behaviour of thermal insulation materials based on food crop by-products», *Construction and Building Materials*, bd. 79, s. 34–39, 2015.
- [114] A. K. Storesund, R. F. Mikalsen, og H. Ishol, «Rømning i brann. Funksjonen til ulike visuelle ledesystemer.», SP Fire Research AS, SPFR A14113, ISBN 978-82-14-00130-3, sep. 2014.

# Vedlegg A Eksempler på energieffektive bygg

## A1. Dagligvarebutikk med solceller og batteri

Kiwi Dalgård i Trondheim er en ny dagligvarebutikk på ca 1200 m<sup>2</sup> som ble åpnet i september 2017. Den er planlagt og bygget som en energieffektiv butikk, og har fått støtte fra Enova for å teste ut ulike typer solceller i kombinasjon med batterilagring<sup>14</sup>.

Det er montert solceller av to ulike typer på taket og på tre av fasadene til bygget, med en samlet effekt på 84 kWp. I tillegg til tradisjonelle krystallinske solceller, er det montert tynnfilmceller som hevdes å være mer effektive i diffust lys. Anlegget er laget for å overvåke og sammenligne hvor godt disse ulike typene solceller produserer strøm gjennom året. Solinnstråling, temperatur og vind måles også for å kunne analysere resultatene. Forsøket skal følges opp av Institutt for energiteknikk gjennom et helt år fra 2019.

På fasadene dekker solcellene store deler av overflaten uten at det ser påfallende ut som solceller. Fasaden mot sørvest er vist i Figur A-1 der de mørke glasspanelene er solcellemoduler.



Figur A-1 Fasaden på Kiwi Dalgård i Trondheim er kledd med solcellemoduler. Foto: RISE Fire Research.

På taket er det montert solceller med tradisjonelle festemetoder. Det er god plass langs kantene av taket, og flere gangbaner i mellom feltene med solceller.

---

<sup>14</sup> Kilder i avsnitt A1: Befaring på dagligvarebutikken sammen med byggeier og brannvesen i oktober 2018, samt telefon- og e-postkorrespondanse med leverandør av solcelleinstallasjon Fusen.



Figur A-2 To ulike typer solceller på taket av Kiwi Dalgård i Trondheim. Tynnfilmsolceller til venstre og krystallinske solceller til høyre. Foto: RISE Fire Research.

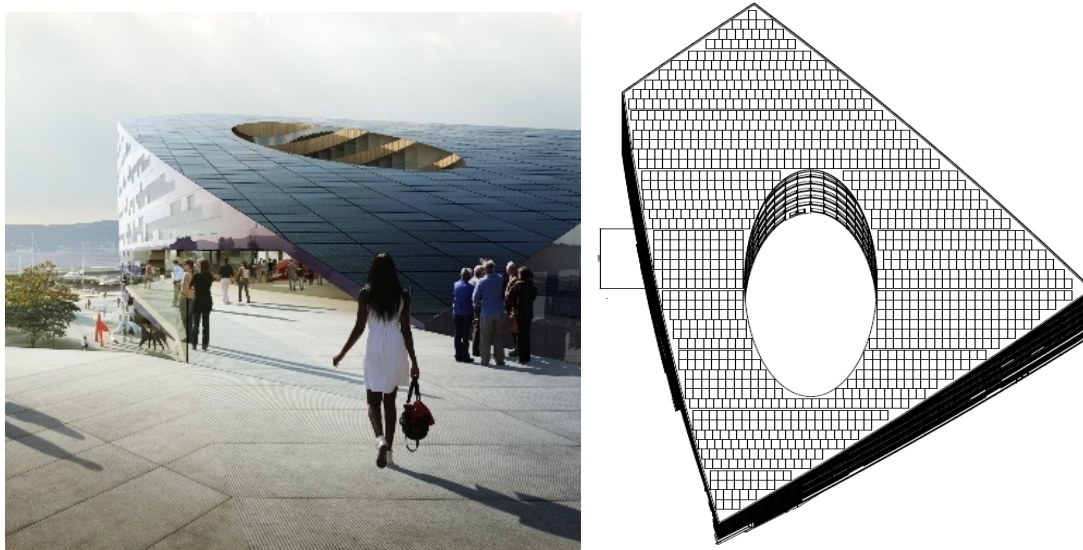
Bygget har installert seks batteripakker med en samlet kapasitet på ca. 40 kWh. Denne kapasiteten er tenkt å kunne brukes til å lagre solenergi når produksjonen overstiger forbruket, samt til å jevne ut effekttopper i forbruket. Dagligvarebutikken har et vesentlig strømforbruk til kjøling av matvarer. Dette gjør at strømforbruket til bygget er relativt jevnt gjennom hele døgnet og gjennom hele året.

Brannvesenet har ikke vært involvert underveis i prosjektering eller byggefasen for dette bygget. Bygget er ikke et særskilt brannobjekt, og brannvesenet har følgelig ikke vært på tilsyn etter ferdigstillelse.

Med tanke på prosjektering sier leverandør av solcelleinstallasjonen at det er viktig at brannmannskapet får informasjon om at det er solkraftverk på bygget, og at de vet hvordan de skal agere. De tilbyr også en sløkkeanvisning for brannvesenet. Normalt sett har de dialog med brannvesenet når de er hovedentreprenør for en solcelleinstallasjon. I forbindelse med et annet bygg, har brannvesenet hatt flere befaringer på bygget, og entreprenøren har også hatt informasjonsmøte på brannstasjonen.

## A2. Kontorbygg pluss hus

Powerhouse Brattøra i Trondheim er et kontorbygg som er planlagt for å produsere mer energi enn det bruker gjennom hele livsløpet til bygget<sup>15</sup>. Planlagt ferdigstilling av bygget er våren 2019. Bygget er på totalt 18 700 m<sup>2</sup>, går over ni etasjer, i tillegg til parkeringskjeller, se illustrasjon i Figur A-3. Målet for energisertifisering for bygget er å oppnå «BREEAM Outstanding». Dette er det høyeste nivået som kan oppnås innenfor BREEAM, som er verdens ledende miljøsertifiseringsverktøy for bygninger [18]. Bygget har et budsjettert forbruk på 14,8 kWh/m<sup>2</sup>. Til sammenligning krever TEK17 at energiforbruket til kontorbygg skal ligge under 115 kWh/m<sup>2</sup> [10]. Byggets egen energiproduksjon er beregnet til 485 000 kWh per år.



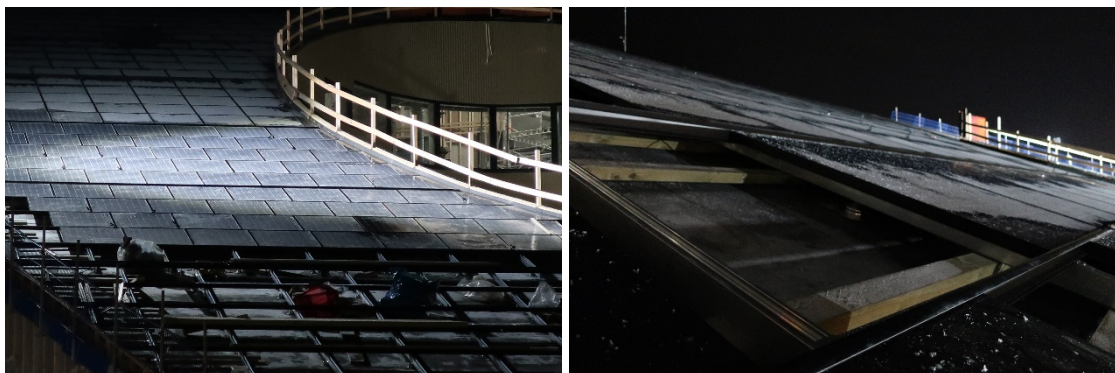
Figur A-3 Illustrasjon av Powerhouse Brattøra i Trondheim ferdigstilt (venstre) og skisse av solcellemoduler på tak inkludert seksjoner for gangbaner hver 5.rad og ved gesims (høyre). Det vil også være solceller på de to fasadene som er synlig på illustrasjonen. Illustrasjoner av Skanska, gjengitt med tillatelse.

Av tekniske installasjoner og løsninger har bygget blant annet solcelleinstallasjon på tak og deler av fasade, ammoniakkvarmepumpe, kjøling ved hjelp av sjøvann fra fjorden, hybridventilasjon hvor trappesjakter er brukt som tilluftkanaler, solfilm på vinduer og belysning som tilpasses antall personer og deres bevegelse. Det er forberedt for batterirom i samme plan som parkeringskjeller i fremtiden, men det skal ikke være batteripakker i bygget ved ferdigstilling i 2019.

Det er foreløpig planlagt installert solceller med en total effekt på inntil 629 kWp fordelt på taket og på deler av fasadene mot sør og mot vest. Taket er skrått, og går fra 3-9 etasje. Taket vender 19 grader mot sør, og er nesten helt dekket av solceller. Solcellemodulene

<sup>15</sup> Kilder i avsnitt A2: Presentasjon av entreprenør Skanska på workshop 6.juni 2018, presentasjon og omvisning av Skanska på Powerhouse Brattøra 28.nov 2018, Notat om brannsikkerhet utarbeidet av Skanska, Testrapport av Currenta for branntest av solcellemodul for tak, samt epostkorrespondanse med assisterende prosjektleder ved Skanska og telefonsamtale med brannrådgiver ved Sweco, november 2018.

er festet på fasadeplater som er montert på taket, med en luftspalte mellom plate og takteking, se Figur A-4. Taket er bygd opp av (fra innerst til ytterst): gips, massivtreelement, dampsperre, 300 mm ubrennbar isolasjon av mineralull, takteking, luftspalte, fasadeplater med solceller.



Figur A-4 Detaljbilder fra montering av fasadeplater med solceller på taket av Powerhouse Brattøra i Trondheim. Foto: RISE Fire Research.

I løpet av prosjektet har det blitt gjort flere tiltak for å redusere sannsynligheten for brannstart, og for å tilrettelegge for slukkeinnsats fra brannvesen. Disse tiltakene har blitt gjort ut fra et samarbeid mellom entreprenør og brannrådgiver, med innspill fra Trondheim brann og redningstjeneste.

For å redusere sannsynligheten for brann i solcelleinstallasjonen, skal alle plugger monteres med korrekt verktøy av instruert personell. Alle koblingspunkter skal henges opp minimum 10 cm over taktekingen. Vekselrettere til solcelleinstallasjonen er plassert i teknisk rom i kryprom inne i bygget, i plan 5 og 8. Her er det lagt opp til brannvarslings- og slukkesystem som tiltak mot brann. Solcellemodulene er branntestet i henhold til ANSI/UL 790:2004 og IEC 61730-2:2004, og de er klassifisert i henhold til ANSI/UL 1703:2008, se detaljer om standardene i avsnitt 3.4.3.2.

For å tilrettelegge for innsats fra brannvesen, er det laget til gangbaner med sikring for hver femte rad med solcellemoduler, samt ved gesims. Dette fungerer både som snø- og is-stoppere, samt utlufting av varm luft bak solcellemodulene. Konseptet for taket er utarbeidet slik at solcellemodulene skal tåle vindpåkjenning, men samtidig kunne enkelt demonteres ved eksempelvis slukkeinnsats. Ved brannalarm utkobles invertere, som innebærer at AC- og DC-krets brytes, og det kun er DC-kabler som er spenningsatt, med spenning generert av solcellene. Denne spenningen kan likevel være så stor at det kan være fare for fare strømgjennomgang ved berøring. Av tiltak her, har brannvesenet vært på befaring på bygget for å bli kjent med kabelføring, kabler er samlet på kabelbro, og kabelføringsvei og plassering av vekselretter er merket.

Når det gjelder den branntekniske prosjekteringen, var det ifølge brannrådgiver lite som skiller dette bygget fra et normalt kontorbygg. Det ble gjort noen tiltak med tanke på solcellene på taket, som beskrevet ovenfor. Utover dette, var det lite behov for ytterligere tiltak eller utredninger for dette bygget sammenlignet med andre kontorbygg.

## A3. Enebolig med solceller

I dette avsnittet vil en generell case med ettermontering av solcelleinstallasjon på en enebolig bli presentert. En typisk solcelleinstallasjon på en enebolig består av mellom 20 og 30 solcellemoduler koblet sammen i en eller to strenger<sup>16</sup>. Modulene blir montert på taket med festeutstyr som er tilpasset den eksisterende taktekkingen. Spenningen fra strengene ligger typisk mellom 600 og 800 V. Det stilles ikke spesielle krav til brannegenskaper for taket ved installasjon av solceller.

I følge Otovo er det ikke noen større branntekniske utfordringer med å installere solceller på en enebolig. Otovo er en forhandler av solcelleinstallasjoner til privatmarkedet, og samarbeider med solcelleinstallatører rundt i landet. Selve detaljprosjekteringen og installasjonen av anleggene blir gjort av underleverandørene, mens Otovo står for en overordnet kvalitetssikring, markedsføring og salg.

NEK 400-7-712 [14] stiller noen krav til blant annet mulighet for frakobling av spenning fra solceller og tilkomst for brannvesenet. Så lenge disse kravene blir overholdt og selve installasjonen blir fagmessig godt gjennomført, er det ikke spesielle brannrelaterte utfordringer knyttet til slike solcelleinstallasjoner.

Likestrømskabler fra solcellene skal kunne frakobles med en manuell bryter der de går inn i bygningen. Det vil si at det ikke vil være noen spenningsatte kabler fra solcellene inne i bygningen når denne bryteren er koblet ut. I tillegg er det stilt krav om at solcellene ikke skal være montert nærmere enn 1 meter fra minst en av kantene på takflaten og minst 0,6 meter fra mønet dersom alle takflatene på bygningen er benyttet til plassering av solceller. Solceller på tak skal ikke monteres nærmere enn 1,25 m fra brannskiller som stikker opp over takflata og det skal være en solcellemodulfri sone på minst 1 meter for hver 40 meter.

Det er ikke noen automatikk i at brannvesenet får informasjon om nye eller gamle solcelleinstallasjoner på bolighus. Selv om det er innført krav om merking av solcelleinstallasjoner i den nyeste versjonen av NEK 400, vil dette ikke gjelde for solcelleinstallasjonene som er laget etter tidligere versjoner. Det vil si at det ikke er sikkert at alle solcelleinstallasjoner er merket tydelig for brannvesenet. Alle nettilknyttede solcelleinstallasjoner skal imidlertid meldes inn til det aktuelle nettselskapet. Det vil si at nettselskapene skal ha en komplett oversikt over hvor det er installert solceller. Denne oversikten bør gjøres tilgjengelig for brannvesenet, slik at de kan være sikre på at de tar de nødvendige forholdsreglene ved innsats i bygninger der deler av det elektriske anlegget kan være spenningsatt selv etter at nettilkoblingen er brutt.

---

<sup>16</sup> Kilde i avsnitt A3: Intervju med teknologidirektør (CTO) i Otovo, oktober 2018.



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

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



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Postboks 4767 Torgarden, 7465 TRONDHEIM  
Telefon: 464 18 000  
E-post: [post@risefr.no](mailto:post@risefr.no), Internett: [www.risefr.no](http://www.risefr.no)

RISE Fire Research  
RISE-rapport 2019:02  
ISBN: 978-91-88907-16-5