

# Energibesparende bygg og brannsikkerhet

Per Gunnar Nordløkken, Christian Sesseng,  
Espen D. Wormdahl

SP Fire Research AS



# Energibesparende bygg og brannsikkerhet

---

**VERSJON**  
1

**DATO**  
2016-02-08

**NØKKELOORD:**

Brann  
Energisparing  
Brannsikkerhet

---

**FORFATTERE**

Per Gunnar Nordløkken, Christian Sesseng, Espen D. Wormdahl

---

**OPPDRAGSGIVERE**

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap  
Direktoratet for byggkvalitet

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Jostein Ween Grav  
Vidar Stenstad

---

**PROSJEKTNR.**  
20129

**ANTALLSIDER OG VEDLEGG:**  
21 + 0 vedlegg

---

**SAMMENDRAG**

Rapporten er en oppsummering av et forskningsprosjekt som har hatt som formål å kartlegge ulike temaer innen energieffektive bygg og brannsikkerhet som grunnlag for vurdering av fremtidige forskningsprosjekter. Dette prosjektet har omfattet både en workshop og et litteraturstudium. Temaene som trekkes frem i rapporten er massivtre, solcellepaneler, dobbelfasader, VIP-paneler og energilagring.

Rapporten konkluderer med at massivtre og solcellepaneler er temaer som anbefales videreført i kommende forskningsprosjekt.

---

**UTARBEIDET AV**

Espen Daaland Wormdahl

SIGNATUR

---

**KONTROLLERT AV**

Anne Steen-Hansen

SIGNATUR

---

**GODKJENT AV**

Paul H. Zahl Pedersen

SIGNATUR

---

**RAPPORTNR.**  
A15 20129:1

**ISBN**

**GRADERING**  
Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**  
Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	08.02.2016	Første versjon.

---

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b>	<b>4</b>
<b>Summary in English</b>	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Målsetting	7
1.3 Metodebeskrivelse	8
1.3.1 Litteraturstudium	8
1.3.2 Workshop	8
1.4 Hypoteser	8
<b>2 Resultater fra litteraturstudiet</b>	<b>9</b>
2.1 Statistikk over hendelser	9
2.2 Materialer og konstruksjoner	9
2.2.1 Plast i byggevarer	9
2.2.2 Isolasjonsmaterialer	10
2.2.3 Innovative isolasjonsmaterialer	11
2.3 Massivtre	11
2.4 Dobbelfasader	12
2.4.1 Branntekniske utfordringer med dobbelfasader	12
2.4.2 Dobbelfasader og solcellepaneler	13
2.5 Tekniske installasjoner	13
2.5.1 Solcellepaneler	13
2.5.1.1 Hendelser med brann i solcellepanel	13
2.5.1.2 Branntekniske utfordringer med solcellepaneler	13
2.5.2 Varmepumper	15
2.5.2.1 Hendelser med brann i varmpumper	15
2.6 Hydrogenbasert energilagring	15
2.6.1 Hendelser med brann i hydrogenbasert energilagring	15
2.6.2 Branntekniske utfordringer med hydrogenbasert energilagring	15
<b>3 Resultater fra workshopen</b>	<b>16</b>
3.1 Konstruksjoner	16
3.2 Materialbruk	16
3.3 Byggenes utforming	16
3.4 Tekniske installasjoner	16
<b>4 Diskusjon og anbefalinger</b>	<b>18</b>
4.1 Hvor godt stemmer hypotesene?	18
4.2 Anbefalinger til videre arbeid	19
<b>Referanser</b>	<b>20</b>

# Sammendrag

Rapporten er en oppsummering av et forskningsprosjekt som har hatt som formål å kartlegge ulike temaer innen energieffektive bygg og brannsikkerhet som grunnlag for vurdering av fremtidige forskningsprosjekter. Dette prosjektet har omfattet både en workshop og et litteraturstudium. Temaene som trekkes frem i rapporten er massivtre, solcellepaneler, dobbelfasader, VIP-paneler og energilagring.

Workshopen ble gjennomført med SINTEF Byggforsk, Norgeshus og SP Fire Research AS. Hovedtemaene som ble omhandlet var konstruksjoner, materialbruk, byggenes utforming, og tekniske installasjoner.

Gjennom litteraturstudiet fant vi en rekke temaer som er aktuelle innenfor energieffektivisering av bygg. For solcellepaneler ble det blant annet funnet at det ikke er noen enkel måte for brannvesenet å gjøre panelene spenningsløse. Dermed representerer slike paneler en fare for elektrisk støt for mennesket, enten ved direkte kontakt eller ved påføring av vann.

En annen utfordring er å håndtere solcellepaneler som er skadet av brann. Materialene som inngår i slike panel, kan etter en brann være skadelige dersom de kommer i kontakt med hud eller partikler inhaleres.

Massivtre har den siste tiden fått en økende interesse for anvendelse i stadig større og høyere bygninger. Bruk av brennbare materialer i bæresystem i for eksempel brannklasse 3 er ikke en pre-akseptert løsning. Bruk av massivtre i «større bygg» er lite dokumentert sammenlignet med mer kjente løsninger av ubrennbare materialer, som for eksempel betong og stål. Massivtre har også mye til felles med limtrekonstruksjoner når det gjelder spørsmålet om dokumentasjon og fravik fra pre-aksepterte ytelser for blant annet bæresystem.

Rapporten anbefaler at massivtre og solcellepaneler er temaer som bør videreføres i nye forskningsprosjekt.

## Summary in English

The report is a summary of a research project with the objective to identify various topics related to energy efficient buildings and fire safety, to be able to recommend relevant topics for future research projects within this field. This project has included both a workshop and a literature study. The topics that are highlighted in the report are cross laminated timber (CLT), solar panels, double facades, VIP panels and energy storage.

The workshop was carried out with participants from SINTEF Building and Infrastructure, Norgeshus (a construction company) and SP Fire Research AS. The main topics that were discussed were constructions, materials, building design and technical installations.

Through the literature study we found a number of relevant topics related to energy efficiency of buildings. For solar panels it was found that there is no easy way for the fire fighters to stop panels from producing electricity. That means that such panels represent a danger of electric shock for persons, either by direct contact or by application of water.

Another challenge is dealing with solar panels that are damaged by fire. The materials contained in such panels may after a fire be harmful if they come into contact with skin, or if particles are inhaled.

Cross laminated timber (CLT) has recently gained interest for use in increasingly larger and taller buildings. Use of combustible materials in load bearing systems, for example in the Norwegian fire class 3, is not a pre-accepted solution. Use of CLT in "large buildings" is poorly documented compared with more well-known solutions of non-combustible materials such as concrete and steel.

This report recommends that CLT and solar panels are topics that should be followed up in upcoming research.

# Forkortelser

**DiBK:** Direktoratet for byggkvalitet.

**DSB:** Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

**TEK10:** *Forskrift om tekniske krav til byggverk av 2010.*

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Det er i de senere årene blitt et vesentlig større fokus på energibruk i bygg. Dette gjenspeiles blant annet i byggeteknisk forskrift av 2010 (TEK10) [1], og i NS 3700 «Kriterier for passivhus og lavenergibygninger», som kom i 2010 med senere revisjon i 2013 [2]. En overordnet politisk målsetting om å senke energibruken i norske bygninger er fremdeles gjeldende.

Noe av forskjellen fra tidligere regelverk (som for eksempel TEK fra 1997) [3], er at det stilles krav til mindre energibehov, og at det er konkrete krav om tilrettelegging for bruk av fornybar energi. Ved bygging av lavenergi- og passivhus, er kravet til energibehov og bruk av fornybar energi enda strengere enn i dagens gjeldende byggetekniske forskrift (TEK10).

Et resultat av den politiske målsettingen, og ditto krav om energieffektive bygg, er blant annet en omfattende bruk av stadig mer avanserte tekniske løsninger. Det være seg styringssystemer, varmepumper, større ventilasjonsanlegg, solcellepaneler, solfangere osv. I tillegg resulterer den samme målsettingen i tettere og mer isolerte bygg, som igjen skaper et behov for alternative løsninger og materialbruk. Bygningenes utforming er også av stor betydning for energieffektiviteten.

Alle disse forholdene vil i større eller mindre grad påvirke både planlegging, bygging og drift av bygningsmassen. En ny og «utradisjonell» løsning, eller et nytt produkt knyttet til energibruk, vil eksempelvis kunne utgjøre en risiko, eller endre forutsetninger som ikke går direkte på energibruk, men andre forhold ved et byggverk.

SP Fire Research AS har et generelt inntrykk av at behovet for nye produkter og løsninger relatert til å bygge energieffektive og «grønne» byggverk har medført en relativt rask utvikling og endring i forhold til «tradisjonelle» materialer og metoder. Vi ser derfor et behov for å undersøke nærmere hvilke konsekvenser dette på generelt grunnlag kan ha med hensyn til brannsikkerhet.

## 1.2 Målsetting

Målet med prosjektet har vært å belyse hvilke utfordringer energibesparende byggverk står overfor med hensyn til brannsikkerhet. Vi snakker da om utfordringer som hovedsakelig er relatert til passivhus og andre «grønne» byggverk. I tillegg har prosjektet hatt som målsetting å foreslå tema som er aktuelle for videre forskning.

Denne rapporten danner grunnlag for vurdering av videre forskning på temaet.



## 1.3 Metodebeskrivelse

### 1.3.1 Litteraturstudium

Den ene hovedaktiviteten i dette prosjektet har vært et litteraturstudium. Ett av hovedmålene med litteraturstudien er å kartlegge forskningsfronten (state of the art) for å gi et best mulig bilde av tema som det vil være hensiktsmessig å se nærmere på fremover.

Det er gjennomført søk i aktuelle litteraturlagres for både nasjonale og internasjonale publikasjoner. Annen relevant faglitteratur, som bøker og rapporter, er også studert. Det er hovedsakelig forskning fra de siste ti år som er langt til grunn i studien.

Det er anvendt brannstatistikk fra 1990 til 2013 som er tilsendt fra DSB.

### 1.3.2 Workshop

15. juni 2015 ble det avholdt en begrenset workshop med deltakere fra SINTEF Byggforsk, Norgeshus og SP Fire Research AS.

Det var lagt vekt på å samle aktører innen prosjektering og forskning på energieffektive og miljøvennlige bygg. Under workshopen ble det lagt hovedvekt på problemstillinger knyttet til branntekniske utfordringer med både «grønne» og energibesparende bygg. Hovedpunktene som ble diskutert var:

- Branntekniske utfordringer knyttet til bruk av tekniske installasjoner (som for eksempel solcellepaneler).
- Branntekniske utfordringer med hensyn til endret materialbruk.
- Utfordringer med design av nye løsninger knyttet til brann.

## 1.4 Hypoteser

Hypotesene ble valgt på bakgrunn av generelle antagelser og informasjon fra byggebransjen i forkant av prosjektet. Vi valgte å ta utgangspunkt i tre hypoteser:

#### **Hypotese A:**

«Grønne» og energibesparende byggverk genererer «nye» utfordringer med hensyn til brannsikkerhet.

#### **Hypotese B:**

Tekniske installasjoner kan utgjøre en risiko ved brann.

#### **Hypotese C:**

Materialbruk og løsninger for «grønne» og energibesparende byggverk vil kunne innebære en økning i brannenergi og endring i brannutvikling sammenlignet med tradisjonelle byggverk.

## 2 Resultater fra litteraturstudiet

### 2.1 Statistikk over hendelser

Referanse [5] lister i Tabell 2.1 opp 20 representative hendelser med branner med solcellepaneler, sprayskumisolasjon, folieisolasjon, isolasjonssystemer og sandwichpaneler. Hendelsene er fra USA, England, Kina, Australia og Canada. I rapporten er det presisert at det er relativt få hendelser, men at de listede hendelsene gir eksempler på ulike problemstillinger knyttet til de ulike materialene og systemene. Mange av disse hendelsene er rapportert i form av nyhetsinnslag og artikler.

Rapporten refererer en studie der man henvendte seg til ulike organisasjoner (brannvesen, forsikrings- og forskningsinstitusjoner) i ulike land for å kartlegge om det finnes statistikk over branner i grønne bygg. De konkluderer med at det finnes begrenset data, da det ikke inngår i rapporteringssystemene om huset er «grønt» eller ikke.

### 2.2 Materialer og konstruksjoner

Referanse [5] gir i Tabell 3.1 en liste over "grønne" materialer som kan ha betydning for brannsikkerheten i "grønne" bygg. Tabellen deler inn materialer i struktur-, eksteriør-, fasade- og interiørmaterialer. Ikke alle er like relevante for norske forhold på grunn av ulike forhold som blant annet klima og byggeskikk.

#### 2.2.1 Plast i byggevarer

I dag finnes det over 700 ulike plasttyper, inndelt i 18 polymerfamilier [6]. Enkelt sagt, kan man si at «plast ikke er plast». Med det menes at ulike plasttyper har ulike egenskaper, herunder termiske, miljømessige, økonomiske og branntekniske egenskaper, noe som er viktig å være klar over når man velger isolasjonsmateriale.

I 2012 gjennomførte SP Fire Research et forprosjekt hvor hensikten var å gi en oversikt over bruksområder der det har oppstått, eller kan oppstå, problemer med anvendelse av plastprodukter i forhold til branntekniske ytelser angitt i byggereglene [7]. Rapporten gir blant annet en oversikt over ulike plasttyper, med tilhørende branntekniske egenskaper. Plasttypene som omtales er:

- Akrylplast
- Aminoplast
- Epoksyplast
- Fenol-formaldehydplast (PF-plast)
- Plast basert på isocyanater
  - Polyuretan (PUR)
  - Polyisocyanurat (PIR)
- Polyester
- Polykarbonat (PC)
- Polystyren (PS)
  - EPS
- Polyolefinplast
  - Polyetylen (PE)

- Polypropylen (PP)
- Polyvinylkloridplast (PVC)
- Kompositter og laminater
- Skumplast

I tekstboksen under gjengis det rapporten oppsummerer om plastmaterialers brannegenskaper. For mer informasjon om den enkelte plasttype henvises det til rapporten [7].

### ***Brannegenskaper***

Mens glass- og steinull er produkter med svært begrenset brennbarhet, kan skumplast basert på organiske polymerer gi vesentlige bidrag til brannutviklingen. Det er antatt at utslipp av isocyanater ved forbrenning av blant annet PUR utgjør en betydelig helserisiko. Flere studier har vist en økning i frigjøring av giftige gasser fra glassull og steinull sammenlignet med PUR-skum, mens andre studier viser det motsatte. En studie av Stec et al. viste at alle skummaterialene som var inkludert i studien ga lavere nivå av CO ved god ventilasjon sammenlignet med underventilerte betingelser. For PUR og PIR økte også nivået av blåsyre (HCN) med lavere ventilasjon. Giftigheten ved underventilasjon var i følgende rekkefølge: PIR > PUR > PHF > EPS, og ved god ventilasjon: PIR > PUR > EPS > PHF. Bidraget til giftighet ved brann fra glass- og steinull var ubetydelig sammenlignet med de organiske skummaterialene [8].

Skummaterialer oppfører seg annerledes i brann enn polymerene de er laget av. Forbrenning av et fast stoff krever degradering av overflaten til stoffet, og det totale overflatearealet har derfor en stor effekt på antennelighet og forbrenning. Skum har et svært høyt forhold mellom overflate og masse, noe som generelt gir lettere antennelighet og hurtigere forbrenning av materialet ved eksponering for varme eller flamme. På den annen side består massen til skum av mindre enn 5 % polymerer og mer enn 95 % luft eller inerte gasser, avhengig av om celle-strukturen er åpen eller lukket. Skum bidrar derfor lite til varmestråling, men den store overflaten og tilgangen på oksygen vil ofte gi en hurtigere varmeutvikling [9].

Ulike skummaterialer oppfører seg også svært ulikt ved eksponering for flamme. Skum av termoplast (f.eks. EPS) trekker seg hurtig tilbake fra tennkilden som følge av smelting og krymping. Dette kan forhindre antennelse. Noen slike materialer er tilsatt stoffer for å øke evnen til smelting og krymping. Skum av herdeplast (f.eks. fast PUR-skum) trekker seg ikke tilbake fra tennkilden, og antennes sjelden av liten flamme. Avhengig av kjemisk struktur og eventuelle tilsetningsstoffer, produseres et forkullet lag som beskytter det underliggende materialet mot direkte eksponering fra tennkilden. Fleksibelt PUR-skum er en mellomting. Det kan enten trekke seg unna tennkilden, eller danne et forkullet lag, som kan virke begrensende på brannspredning.

Det er forsket mye på tilsetningsstoffer og modifisering av polymerene for å oppnå skum med bedre branntekniske egenskaper.

## **2.2.2 Isolasjonsmaterialer**

Økte krav til termisk isolasjon i bygg tvinger frem behov for å benytte nye isolasjonsmaterialer fremfor tradisjonelle materialer som steinull og glassull, for å unngå at tykkelsen på konstruksjonene og kostnadene blir for store. Det er flere krav som nye isolasjonsmaterialer må tilfredsstillende. De må ha lav konduktivitet for å konkurrere med de materialene som allerede er på markedet, samtidig som de må ha akseptable egenskaper i

brann, og de må også være holdbare over tid. Som nevnt over, kan det være et problem med giftige gasser fra enkelte plastisolasjonsmaterialer når de brenner. Stec et al. testet både plastisolasjonsmaterialer, glassull og steinull, og deres resultater viser at for ulmebrann vil også glass- og steinull avgi giftige gasser [10], selv om de har begrenset brennbarhet.

### 2.2.3 Innovative isolasjonsmaterialer

Sammensatte isolasjonsprodukter blir stadig mer aktuelt for å tilfredsstille krav til lavere konduktivitet.

Vakuumisolasjonspaneler (VIP) er foreløpig ikke mye brukt, og består av en åpen porøs kjerne kledd inn med et tett skall. VIP-kjernen består av utdampet silika som er presset sammen til ønsket fasong, mens skallet består av flere lag metallisert polymerlaminat [11]. Det kan også brukes kjerne av polyuretan (PUR) i VIP, men det gir høyere konduktivitet enn en kjerne av utdampet silika [12]. Brannegenskapene til PUR er beskrevet i rapporten [7] nevnt i kapittel 2.2.1.

Det er ikke funnet litteratur om branntesting av VIP, og det ble heller ikke funnet noe om VIP-skall i rapporten om plastmaterialer [7].

Fiberarmerte polymerkompositter (FRPCs – Fibre reinforced polymer composites) kan bestå av forskjellige typer matriks og fiberarming, og er et materiale som er fleksibelt, kostnadseffektivt og har en lav egenvekt i forhold til styrke. Dette bidrar til å muliggjøre komplekse fasadesystemer med lavt energiforbruk i produksjonsprosessen [13].

Sammensetningen i kompositten avgjør de endelige materialegenskapene, og Nguyen et al. [13] har utført branntesting av glassfiberarmert polymerkompositt basert på tre forskjellige herdere i en «single burning item test» (SBI) i henhold til EN13823:2010. Bare ett av de tre produktene klarte testkravet, som i dette tilfellet var B-s2,d0 i henhold til EN13501-1:2007. Produktet har en komplisert herdeprosess som gjør det vanskelig å skreddersy, og er dermed mindre brukt.

## 2.3 Massivtre

Bruk av større volum av trevirke i bygninger, for eksempel i form av massivtre, betraktes av de fleste som en lønnsom investering for miljøet. Trevirke er også en relativt kortreist ressurs i de nordiske landene, og flere ønsker å utnytte trevirke i bygninger i større grad enn tidligere.

Det har den siste tiden vært en økende interesse for bruk av massivtre i stadig større og høyere bygninger. Bruk av brennbare materialer i bæresystem i for eksempel brannklasse 3 (ref. TEK-10 §11-3) [1], er ikke en preakseptert løsning. Bruk av massivtre i «større bygg» er lite dokumentert sammenlignet med mer kjente løsninger av ubrennbare materialer som for eksempel betong og stål. Massivtre har også mye til felles med limtrekonstruksjoner når det gjelder spørsmålet om dokumentasjon og fravik fra preaksepterte ytelser for blant annet bæresystem.

Aktuelle bruksområder for massivtre og limtre kan være:

1. Bærende konstruksjon (bjelke-/søylekonstruksjon)
2. Skillende konstruksjoner (vegger og dekker)

3. Både bærende og skillende konstruksjon (skivekonstruksjon og/eller kombinasjon av 1 og 2)

Det er utført forsøk ved SP Fire Research [4] som tyder på at temperaturene ved brann i massivtre vil bli høyere enn tidligere antatt. Ett forsøk viser en temperatur på ca. 1 100 °C etter 20 minutter, noe som tilsvarer brann i hydrokarboner i henhold til den såkalte HC-brannkurven. Dette er vesentlig varmere enn det som den standardiserte tid-temperaturkurven for brann i cellulosematerialer gir.

## 2.4 Dobbelfasader

I dobbelfasader er det lagt en glassfasade utenfor en «vanlig» fasade, med et hulrom mellom disse. Hulrommets størrelse kan varieres avhengig av bygg og behov, og det kan romme tekniske installasjoner, solskjerming, og bidra som en del av byggets ventilasjon. Ytterfasaden kan være helt eller delvis åpningsbar. Innerfasaden har vanligvis åpningsbare vinduer mot ytterfasaden, og kan være utført helt eller delvis i glass [14].

Hulrommet mellom fasadene vil ha en isolerende effekt mot indre fasade og lufta mellom indre og ytre fasade vil holde en høyere temperatur enn utelufta. Det gir en høyere temperatur på tilluft fra vinduslufting og glassflater i innvendig fasade, og vil ikke være like kald som ved en enkel glassfasade. Bruk av dobbelfasade vil bidra til en tettere fasade, noe som vil føre til lavere oppvarmingsbehov, især i kjølige klimaer [14], [15]. Hulrommet kan også brukes til evakuering hvis det er bygd tilstrekkelig dypt og med plattformer eller gangveier [16].

### 2.4.1 Branntekniske utfordringer med dobbelfasader

Brann- og røykspredning i hulrommet mellom indre og ytre fasade er en utfordring, og det kan også bidra til å vanskeliggjøre rednings- og slokkearbeid [14], [15].

Hvis det indre glasset i et branntilfelle knuses mens ytre holdes intakt, vil røyk og eventuelle flammer kunne bevege seg ut i hulrommet, og spre seg via hulrommet til andre etasjer. Chow og Hung [17] og C.L. Chow [18] har gjort tester med brann i et rom som hadde en åpning i indre fasade for å simulere et knust indre glass, og hulromsdybde på henholdsvis 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m og 2,0 m. Deres undersøkelser viser at dybden på hulrommet i stort grad påvirker røykspredning i hulrommet og temperaturfordeling i fasadene.

Et mulig tiltak for å forhindre at flammer som trenger ut gjennom et vindu skal treffe fasaden over, er å bruke horisontale utstikk over vinduet, slik at flammene ikke får direkte tilgang til fasaden over. Hvordan horisontale utstikk påvirker flammespredning, og hvilke følger de kan ha for andre deler av dobbelfasaden under en brann er studert av Chow, Li og Huang [19] gjennom CFD-simuleringer og fullskala branntesting. Ved bruk av utstikk innad i dobbelfasaden, må det tas hensyn til hvordan disse påvirker ventilasjonen.

Sprinkleranlegg inne i dobbelfasaden kan brukes for å kjøle ned glass i indre fasade i tilfelle brann [16].

## 2.4.2 Dobbelfasader og solcellepaneler

Solen er en energikilde som ofte trekkes frem i tilknytning til grønne bygg. Dobbelfasaden kan benyttes til montering av solceller som kan plasseres inne i hulrommet, eller bidra som en del av den ytre fasaden. *Building integrated photovoltaics* (BIPV) finnes i mange forskjellige utgaver, for eksempel som film, takstein og paneler, og fungerer både som energikilde og bygningsskall. Temperaturen er et kritisk punkt for funksjonen til solceller, især mono- og polykrystallinske moduler. Ved høy temperatur går ytelsen ned, så det er viktig med ventilasjon bak modulene [20]. Ved å ha solceller i ytre fasade i en dobbelfasade, kan hulrommet brukes til ventilasjon slik at temperaturen til solcellene kan holdes nede og ytelsen oppe.

## 2.5 Tekniske installasjoner

Referanse [2] gir i Tabell 3.1 en liste over alternative energisystemer. Eksempler på disse er solcellepaneler, vindturbiner, hydrogenforbrenningsceller, vannvarmere, pelletssystem og batterisystemer. Ikke alle systemene er like relevante for norske forhold.

### 2.5.1 Solcellepaneler

Solen er en viktig, alternativ energikilde. De fleste tilgjengelige solcellesystemene er pålitelige, krever relativt lite vedlikehold, er billig i drift (sett bort fra installasjonskostnadene), og påvirker miljøet i liten grad [21]. Bruk av solcellepaneler har økt kraftig de siste årene. Fra 2000 til 2010 økte solenergikapasiteten på verdensbasis i gjennomsnitt 40 % årlig [22]. Det er ventet at kapasiteten vil øke i tiden fremover, spesielt i land som Tyskland, Italia, Japan, USA, Kina og India [23].

#### 2.5.1.1 Hendelser med brann i solcellepanel

I DSBs brannstatistikk fra 1990 til 2013 er det kun funnet ett tilfelle hvor solcellepanel er nevnt i forbindelse med brann i Norge. I brannvesenets kommentar fra den aktuelle hendelsen, står det at det hadde oppstått brann i batteri knyttet til solcellepanelet på en hytte. Med andre ord er det ingen registrerte hendelser hvor det står eksplisitt at solcellepanel har vært direkte årsak til brann i nevnte periode. Det kan imidlertid hende at det har vært branner hvor solcellepaneler har vært årsak, men at dette er registrert som «elektrisk årsak», herunder jordfeil, serielysbue, parallelllysbue og komponentsvikt.

En studie fra USA (2012) [5] gir et utvalg hendelser med brann i solcellepaneler, både i paneler for boliger og industribygg. Totalt er det 9 hendelser mellom 2009 og 2012. Listen er ikke utfyllende, men gir eksempler på branner som har oppstått i slike system.

Vi har ikke funnet tilsvarende rapporterte søk i brannstatistikk fra andre land.

#### 2.5.1.2 Branntekniske utfordringer med solcellepaneler

Innføring av alternative energikilder i hus, og da spesielt installasjon av solcellepanel, kan introdusere økt risiko for brann, samt utfordringer for brannvesen i forbindelse med slokningsarbeid.

Flere studier rapporterer om elektrisk feil i solcelleanlegg som i ytterste konsekvens kan føre til brann. I en tysk studie fra 2010 [23], hevdes det at høye DC-spenninger og aldring av solcellesystemene kan føre til lysbuefeil. Om disse ikke detekteres eller oppdages på andre måter, kan de føre til branner. Det skilles mellom parallelllysbarer, som er enkle å detektere på grunn av endringer i strømmen i den elektriske kretsen, og serielysbarer som er vanskeligere å oppdage. Dette gjør at man må finne andre metoder for å detektere serielysbarer enn kun å se på lavfrekvente endringer i strøm og spenning i kretsen, slik det gjøres for å avdekke parallelllysbarer. Det tyske studiet konkluderte med at man må analysere høyfrekvente endringer for å detektere serielysbarer.

I USA ble det i 2011 innført krav i lovverket om *arc-fault circuit interrupters* (AFCI, lysbuevern) i alle nye solcellesystemer [24]. Underwriters Laboratories Inc. (UL) har utviklet en standard for å teste og sertifisere slike systemer [25].

En annen feil ved solcellesystemer som kan føre til brann, er jordfeil [26], [27]. En amerikansk studie fra 2013 rapporterer at solcellesystemer i USA er utstyrt med *ground fault protection devices* (GFPD, jordfeilbrytere/sikring) for å detektere jordfeil og å koble ut kretsen dersom en jordfeil oppstår. I den senere tid er det imidlertid oppstått flere hendelser hvor udetekterte jordfeil har forårsaket branner, og det har blitt stilt spørsmål ved jordfeilbryteres evne til å detektere jordfeil med små strømmer i slike systemer. I studien ble det gjennomført en rekke simuleringer for å undersøke hvordan man kunne øke sensitiviteten til sikringen, samtidig som man unngikk å øke antall feildeteksjoner [27].

Basert på etterforskning av tidligere hendelser med brann i solcellepaneler, foreslår en rapport fra *Solar American Board for Codes and Standards* (Solar ABCs) en rekke midlertidige tiltak for å redusere faren for brann [26]. Tiltakene går på at man må fokusere på gode installasjonsteknikker og hensiktsmessig kabelføring, årlig vedlikehold for å avdekke og utbedre progressive systemskader, overvåke driften av slike systemer for å avdekke behov for ekstra vedlikehold og bruk av detektorer for å overvåke jordfeil. Referansen beskriver også ulike hendelsesforløp som kan føre til brann.

Brann i solcellepanel, eller i bygninger utstyrt med solcellepanel, kan også føre til utfordringer for brannvesen som skal utøve slokkeinnsats. Solcellepanel genererer elektrisitet når de blir utsatt for lys. Dette er som regel sollys, men det kan også være lys fra brann eller andre lyskilder. Problemet er at det ikke er noen enkel måte for brannvesenet å gjøre panelene spenningsløse. Dermed representerer slike panel en fare for elektrisk støt for mannskapet, enten ved direkte kontakt eller ved påføring av vann. Forsøk viste at man kan redusere faren for elektrisk støt ved vannpåføring ved å benytte en spredningsvinkel på vannet på ca. 10°. At panelene er spenningsatte kan også representere en fare for reantennning av brannen. Det er derfor viktig at brannmannskapet anser slike systemer som spenningsatt til enhver tid, og legger opp slokketaktikken deretter. Et annet problem man bør være klar over, er at slike panel kan være tunge og representere en ekstra last på et tak som kanskje er svekket på grunn av brann [21], [28].

En annen utfordring er å håndtere solcellepanel som er skadet av brann. Materialene som inngår i slike paneler kan etter en brann være skadelige dersom de kommer i kontakt med hud eller dersom partikler inhaleres [21].

## **2.5.2 Varmepumper**

### **2.5.2.1 Hendelser med brann i varmpumper**

I DSBs brannstatistikk fra 1990 til 2013 er det funnet 11 hendelser hvor det er antatt at brannen startet i en varmpumpe. Det kan imidlertid være flere hendelser, men at dette er registrert som «elektrisk årsak», herunder jordfeil, serielysbue, parallelysbue og komponentsvikt.

## **2.6 Hydrogenbasert energilagring**

For at et bygg skal kunne basere seg på sol- eller vindenergi, er det en fordel å ha en form for energilagring, slik at man har «egen» energi tilgjengelig også på dager uten sol eller vind, og dermed kan være uavhengig av det øvrige distribusjonsnett. Hydrogenbasert energilagring er et alternativ som har flere fordeler, blant annet at det er karbonfri elektrisitetsproduksjon, og at det ikke er noen selvutlading over tid [29]. Dette bidrar til å holde den grønne profilen og sikre energiselvstendighet, selv i perioder med lite sol eller vind.

Det er gjennomført prosjekt i Frankrike med *The Greenenergy Box<sup>TM</sup>*, som er et system hvor det elektriske overskuddet fra solcellepanelene blir brukt til å generere hydrogen- og oksyngass ved hjelp av elektrolyse. Denne gassen blir lagret, slik at det ved behov for energi utover det byggets solcellepaneler kan forsyne, eller ved strømbrudd, produseres energi av den lagrede gassen i et brenselcellesystem [29].

### **2.6.1 Hendelser med brann i hydrogenbasert energilagring**

Etter en gjennomgang av DSBs brannstatistikk fra 1990 til 2013, er det funnet tilfeller av brann i Norge som skyldes at lekkasjer av hydrogengass er blitt antent. Det er ingen hendelser hvor brannårsak knyttes til hydrogenbasert energilagring.

### **2.6.2 Branntekniske utfordringer med hydrogenbasert energilagring**

Hovedbekymringen ved bruk av hydrogensystemer er lekkasje og påfølgende antenning av hydrogengass. I forbindelse med *The Greenenergy Box<sup>TM</sup>* [29], er det blant annet montert sensorer for å overvåke konsentrasjoner av hydrogen og oksygen i kamrene på konstruksjonen, i tillegg til trykksensorer for å varsle om trykkforandring som kan tyde på lekkasjer. Det er også installert ventilasjon for å unngå brennbare og overoksygenerte atmosfærer i systemet.



## 3 Resultater fra workshopen

15. juni 2015 ble det avholdt en mindre workshop med deltakere fra SINTEF Byggforsk, Norgeshus og SP Fire Research AS.

Hver av deltakerne la frem en presentasjon på sitt spesialfelt, i tillegg ble det gjennomført åpne diskusjoner og drøftinger rundt bordet. Hovedtemaene som ble omhandlet var konstruksjoner, materialbruk, byggenes utforming, og tekniske installasjoner.

### 3.1 Konstruksjoner

SINTEF Byggforsk gikk gjennom definisjoner på fagfeltet, og presenterte hvilke konstruksjonsprinsipper som er mest aktuelle for passivhus og andre grønne byggverk. Hovedprinsippene er enten (1) bærekonstruksjon inne i isolasjonssjiktet eller (2) isolasjonssjiktet utenpå bærekonstruksjonen. Den sistnevnte løsningen vil kunne generere en utfordring når det gjelder innfesting av isolasjonssjiktet eller innfesting av fasaden utenpå isolasjonen. En risiko vil kunne være at fasaden faller ned i løpet av en brann.

### 3.2 Materialbruk

Konklusjonen fra diskusjonene er at isolasjonsprodukter kan være en stor brannteknisk utfordring. Det gjelder først og fremst isolasjon basert på plastmaterialer og trefiberisolasjon. Eksempler på nyere isolasjonsmaterialer, som vi for øvrig ikke har veldig stor erfaring med, er isolasjon basert på nanopartikler, og vakuumisolasjon som for eksempel aerogel.

Massivtrekonstruksjoner er en byggemetode som har fått økende oppmerksomhet den siste tiden. Bruk av massivtre vil kunne føre til økt brannenergi, og et endret brannforløp sammenlignet med løsninger basert på en mindre andel brennbare materialer.

### 3.3 Byggenes utforming

For å minske oppvarmingsbehovet, vil det kunne være en løsning å bygge mer kompakte hus med lavere innvendig takhøyde. Dette vil imidlertid kunne gi kortere tid til overtenning i tilfelle brann. Tykkere vegger, med mer brennbare materialer, vil kunne gi høyere varmeavgivelse og en raskere brannutvikling. Hvis klimaskjerm og isolasjonssjikt plasseres utenfor bærekonstruksjonen (2), vil det også bli et større behov for brannbeskyttelse av bærekonstruksjonen.

### 3.4 Tekniske installasjoner

Med hensyn til ventilasjon, så ble det diskutert problemstillinger knyttet til hvor tette husene er. Brannutviklingen vil kunne påvirkes av byggets tetthet, og at konstruksjonene er tykkere og kanskje tåler en høyere brannpåkjenning før brannen «punkterer» klimaskallet. Hvilken betydning dette vil ha, vil kunne variere, og kan være forskjellig fra ett bygg til et annet.

Mengden tekniske installasjoner, og behovet for vedlikehold, vil være større i et energieffektivt hus. Flere peker på at det kanskje kan stilles krav til vedlikehold, og at tekniske rom kan bygges som egen branncelle.

Utvendig solskjerming er ofte nødvendig for å unngå overoppheting av rom med store glassflater. Disse installasjonene vil kunne dekke en vesentlig del av fasadearealet. Det vil være et behov for å se på hvilke brannegenskaper disse installasjonene har, og hvordan dette kan innvirke på brannutviklingen.

Det samme gjelder også for solcellepaneler. Solcellepanelene kan være montert utenpå den opprinnelige kledningen, eller være integrert i kledningsmaterialet. Uansett hvilket alternativ som velges, så vil panelenes branntekniske egenskaper ha betydning. Hvis for eksempel en fasade har et brannteknisk overflatekrav, bør det også ses på hvilken betydning eventuelle solcellepaneler har. En annen situasjon er hvis det er kort avstand mellom husene (mindre enn 8 m), og solcellepaneler ønskes montert på fasaden.

Plassering av tekniske installasjoner som solceller på fasade eller tak, kan medføre utfordringer. Erfaring tilsier at det er mange hensyn å ta i prosjekteringsfasen i forbindelse med solceller, det gjelder for eksempel panelenes orientering, monteringsmetode, estetikk, omkringliggende bygninger, og ikke minst fare for berøring hvis panelene monteres nær bakken eller nær balkong.

## 4 Diskusjon og anbefalinger

### 4.1 Hvor godt stemmer hypotesene?

Gjennom litteraturstudiet og workshopen har vi prøvd å finne svar på hvor godt hypotesene våre stemmer med virkeligheten, og nedenfor er en kort oppsummering av vurderingene våre.

**Hypotese A:**

«Grønne» og energibesparende byggverk genererer «nye» utfordringer med hensyn til brannsikkerhet.

Vår vurdering er at funnene i rapporten gir tydelige indikasjoner på at «grønne» og energibesparende byggverk genererer «nye» utfordringer i forhold til brann.

**Hypotese B:**

Tekniske installasjoner kan utgjøre en risiko ved brann.

For enkelte tekniske installasjoner, som for eksempel solcellepaneler, er det ikke funnet særlig økt risiko for at det skal oppstå brann. Imidlertid kan solcellepaneler representere utfordringer under en brann, som for eksempel ved redning og slokking i form av blant annet kortslutninger, jordfeil, lysbue og eksponering for skadelige materialer.

Øvrige tekniske installasjoner som varmpumper er ikke funnet å utgjøre noen spesiell risiko ved brann. Det er for øvrig funnet lite litteratur fra forskning på varmpumper og brann. Hendelsesstatistikk tilsier at brann kan ha oppstått i varmpumper, men sier ikke noe spesifikt om type pumpe eller tilsvarende detaljer.

Når det gjelder hydrogenbasert energilagring (eller annen energilagring), vil dette potensielt kunne utgjøre en økt risiko ved brann. For øvrig er det også her forholdsvis lite litteratur som er direkte relevant for vårt prosjekt.

**Hypotese C:**

Materialbruk og løsninger for «grønne» og energibesparende byggverk vil kunne innebære en økning i brannenergi og endring i brannutvikling sammenlignet med tradisjonelle byggverk.

Funn i litteraturstudiet viser at enkelte typer materialer og løsninger vil kunne innebære en økning i brannenergi og endring i brannutvikling [4], [7]. Dette gjelder først og fremst bruk av plastmaterialer som termisk isolasjon, og bruk av massivtre.

Bruk av større mengder treverk i bygninger (som for eksempel massivtre) vil kunne gi økt brannenergi, og endringer i brannforløpet. Prosjektet har ikke funnet grunnlag for kvantifisering av denne endringen, det må i tilfelle belyses nærmere på et senere tidspunkt.

Det samme gjelder også for plastmaterialer. Der avhenger endringen i stor grad av typen plastprodukt som brukes. Porøse og lette plastmaterialer, som for eksempel skum, vil kunne gi lettere antenning og hurtigere forbrenning sammenlignet med mer kompakte plastmaterialer.

## 4.2      **Anbefalinger til videre arbeid**

Prosjektet har kartlagt temaer innen energieffektivisering av bygg som kan ha betydning for brannsikkerheten, og det skal vurderes hvilke av disse som bør videreføres i nye forskningsprosjekter. Nedenfor er det listet opp potensielle tema for videre arbeid i ikke-prioritert rekkefølge, inkludert en kort kommentar om hvorfor vi mener at temaet er av videre interesse:

- **Massivtre:** Bruk av massivtre gir økt brannenergi og endret brannutvikling sammenlignet med andre konstruksjonsmaterialer som betong og stål. Det finnes lite pre-aksepterte løsninger og dokumentasjon for anvendelse av massivtre. Det knytter seg stor usikkerhet til dokumentasjon av fullstendig brannforløp med brennbare konstruksjoner, og at det ikke finnes tilstrekkelig underlag for dette ved bruk av massivtre.
- **Solcellepaneler:** Det er sannsynlig at vi kommer til å oppleve en økning i bruk av solcellepaneler framover. Det er funnet en økt risiko for brann samt utfordringer i forbindelse med slokkearbeid.
- **Dobbelfasader :** Dette er særlig aktuelt ved rehabilitering av bygg, og har store fordeler i kaldt klima. Denne type løsninger påvirker i stor grad slokking og redningsarbeid i tillegg til brannutvikling og røykspredning.
- **VIP-paneler:** Slike paneler representerer en ny teknologi der det finnes lite dokumentasjon og erfaring.
- **Energilagring:** Litteraturstudien har sett på hydrogenbasert energilagring. Det kan være aktuelt å se denne typen energilagring i sammenheng med solcellepaneler eller andre energikilder, der det kan være aktuelt å anvende energien på et senere tidspunkt. Slike energilagringssystemer vil kunne utgjøre en risiko ved brann.

På bakgrunn av funn i rapporten og oppdragsgivers innspill anbefales det at videre forskning innenfor energibesparende bygninger og brannsikkerhet omfatter temaene massivtre og solcellepaneler.

## Referanser

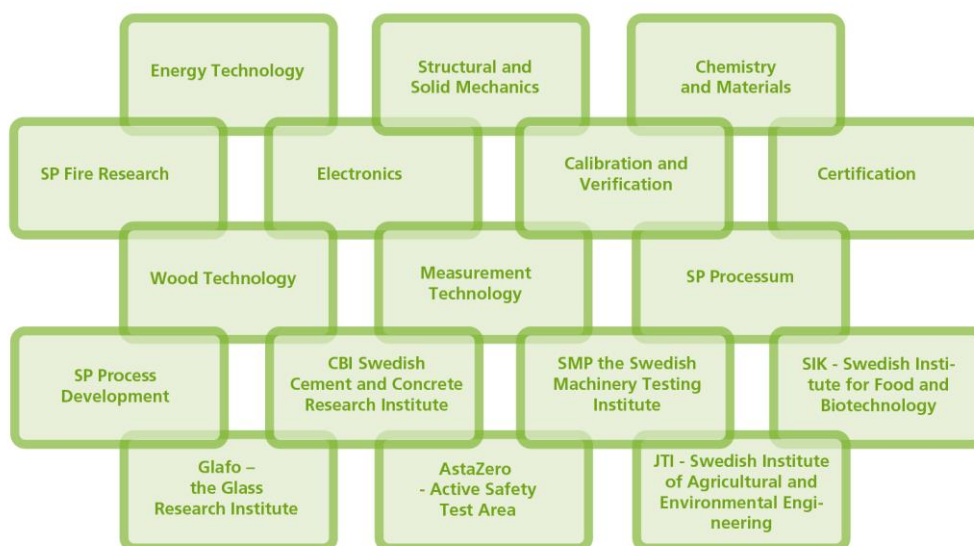
- [1] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 26. mars 2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK10)*. 2010.
- [2] Standard Norge, “NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger.” Standard Norge, 2013.
- [3] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Klima- og miljødepartementet, *Forskrift 22. januar 1997 nr. 33 om krav til byggverk og produkter til byggverk (Forskrift om krav til byggverk, TEK97)*. 1997.
- [4] K. Hox, “SPFR A15101 Branntest av massivtre,” SP Fire Research AS, A15 A15101, 2015.
- [5] B. Meacham, B. Poole, J. Echeverria, and R. Cheng, *Fire Safety Challenges of Green Buildings*. Worcester, Massachusetts, USA: Springer, 2012.
- [6] “Plasternas historia,” *SPIF*. [Online]. Available: <http://www.plastindustri.org/plasternas-historia/>.
- [7] A. Steen-Hansen, N. K. Reitan, and E. Andersson, “Plast i byggevarer og brannsikkerhet - Forprosjekt,” SINTEF NBL as, Trondheim, SINTEF-rapport NBL A12138, Feb. 2013.
- [8] A. A. Stec, “The Effect of Temperature and Ventilation Condition on the Toxic Product Yields from Burning Polymers,” presented at the Fire and Materials, 2008, pp. 49–60.
- [9] J. Troitzsch, *Flammability Handbook*, 3rd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Verlag, 2004.
- [10] A. A. Stec and T. R. Hull, “Assessment of the fire toxicity of building insulation materials,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 498–506, 2011.
- [11] B. P. Jelle, “Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, pp. 2549–2563, 2011.
- [12] M. Alam, H. Singh, and M. C. Limbachiya, “Vacuum insulation panels (vips) for building construction industry - a review of the contemporary developments and future directions,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 11, pp. 3592–3602, 2011.
- [13] Q. Nguyen, P. Mendis, T. Ngo, P. Tran, and C. Nguyen, “Innovative materials for next generation façade systems,” presented at the From Materials to Structures: Advancement Through Innovation - Proceedings of the 22nd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, ACMSM 2012, 2013, pp. 729–734.
- [14] T. H. Dokka and K. Hermstad, *ENERGIEFFEKTIVE BOLIGER FOR FREMTIDEN - En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger*. SINTEF Byggforsk, 2006.
- [15] E. W. Ruyter, “DOBBELFASADER,” NTNU, Diplomoppgave, 2003.
- [16] Ø. Aschehoug and D. Bell, “BP SOLAR SKIN - a façade concept for a sustainable future,” SINTEF, Trondheim, STF22 A03510.
- [17] W. K. Chow and W. Y. Hung, “Effect of cavity depth on smoke spreading of double-skin façade,” *Build. Environ.*, vol. 41, no. 7, pp. 970–979, 2006.
- [18] C. L. Chow, “Full-scale burning tests on double-skin façade fires,” *Fire Mater.*, vol. 37, no. 1, pp. 17–34, 2013.
- [19] N. C. L. Chow, S. S. Li, and D. X. Huang, “Apron design for protecting double-skin facade fires,” *Fire Mater.*, vol. 39, no. 3, pp. 189–206, 2015.
- [20] B. Petter Jelle, C. Breivik, and H. Drolsum Røkenes, “Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities,”

*Photovolt. Sol. Energy Mater. Technol. Cancun 2010*, vol. 100, no. 0, pp. 69–96, May 2012.

- [21] C. C. Grant, “Fire Fighter Safety and Emergency Response for Solar Power Systems,” The Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA, USA, 2010.
- [22] “Energy Technology Perspectives - Scenarios & Strategies to 2050,” International Energy Agency, 2010.
- [23] C. Strobl and P. Meckler, “Arc faults in photovoltaic systems,” in *2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, 2010.
- [24] K. M. Armijo, J. Johnson, R. K. Harrison, K. E. Thomas, M. Hibbs, and A. Fresquez, “Quantifying photovoltaic fire danger reduction with arc-fault circuit interrupters,” presented at the 29th EU PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, 2014.
- [25] T. Zgonena, L. Ji, and D. Dini, “Photovoltaic DC Arc-Fault Circuit Protection and UL Subject 1699B,” Underwriters Laboratories Inc (UL), Feb-2011.
- [26] B. Brooks, “The Ground-Fault Protection Blind Spot: A Safety Concern for Larger Photovoltaic Systems in the United States,” Solar ABCs White Paper, 2012.
- [27] J. D. Flicker and J. Johnson, “Photovoltaic Ground Fault and Blind Spot Electrical Simulations,” Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA, SAND2013-3459, Jun. 2013.
- [28] R. Backstrom and D. A. Dini, “Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project,” Underwriters Laboratories Inc., Northbrook, IL, USA, Nov. 2011.
- [29] F. Verbecke and B. Vesly, “Safety strategy for the first deployment of a hydrogen-based green public building in France,” *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 38, no. 19, pp. 8053–8060, Jun. 2013.

## SP Technical Research Institute of Sweden

Our work is concentrated on innovation and the development of value-adding technology. Using Sweden's most extensive and advanced resources for technical evaluation, measurement technology, research and development, we make an important contribution to the competitiveness and sustainable development of industry. Research is carried out in close conjunction with universities and institutes of technology, to the benefit of a customer base of about 10000 organisations, ranging from start-up companies developing new technologies or new ideas to international groups.



### SP Fire Research AS

Postboks 4767 Sluppen, 7465 Trondheim

Telefon: 464 18 000

E-post: [post@spfr.no](mailto:post@spfr.no), Internett: [www.spfr.no](http://www.spfr.no)

[www.spfr.no](http://www.spfr.no)

SPFR-rapport A15 20129:1

ISBN

For mer informasjon om publikasjoner utgitt av SP: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)