

# Solcellsfasad och brandsäkerhet:

En jämförande studie av nationella och internationella regelverk, risker och åtgärder

---

Jonathan Jonsson

BRANDTEKNIK | LTH | LUNDS UNIVERSITET





**EXAMENSARBETE**  
**Brandteknik**

**Solcellsfasad och brandsäkerhet: En jämförande studie av nationella och internationella regelverk, risker och åtgärder**

**Jonathan Jonsson**

**Lund 2023**

**Title:** Solcellsfasader och brandsäkerhet: En jämförande studie av nationella och internationella regelverk, risker och åtgärder

**Title:** Photovoltaic façades and fire safety: A comparative study of national and international regulations, risks and mitigation strategies

**Författare/Author:** Jonathan Jonsson

**Report 5702**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--5702--SE**

**Antal sidor/Number of pages:** 70

**Illustrationer/Illustrations:** 8

### **Sökord/Keywords**

Integrated Photovoltaics, Fire, Photovoltaics, solcell, integrerade solceller, solcellsfasad, BIPV, Building façade, Integrated PV, integrerad solcellsfasad, solceller byggregler, normative framework, standard, building code, fire risks.

### **Abstract**

This student thesis explores the risks associated with integrated photovoltaic (PV) façades and the challenges associated with implementing them in construction projects. Underlining the significance of curbing greenhouse gas emissions and the potential for PV facades to transform the construction sector, concerns regarding fire safety have surfaced as a primary obstacle. The thesis aims to answer three main questions: how Swedish regulations for PV facades compare with international ones, what fire safety issues exist with PV facades, and what fire risks and measures can be implemented to mitigate these risks. Employing a combination of literature review and expert interviews, a mixed-methods approach is adopted. The outcome reveals that while Swedish regulations are open to interpretation, international regulations have more recommendations for building fireproof PV facades. The thesis also highlights the major fire engineering problem with PV facades, which is the integrated fire risk, and lists possible measures to reduce this risk. Overall, this thesis provides valuable insights into the challenges of implementing PV facades in construction projects and offers recommendations to mitigate fire safety risks.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2023  
Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2023.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering  
Faculty of Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
Telephone: +46 46 222 73 60

## Förord

Det är med stor glädje och stolthet jag presenterar denna rapport som utgör den slutliga delen av min utbildning som både brandingenjör och civilingenjör i riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har varit en viktig del av min akademiska resa och har innefattat 30 högskolepoäng och gjordes inom avdelningen för Brandteknik.

Jag vill rikta ett varmt tack till min huvudhandledare, Nils Johansson, för hans outhärliga stöd och ledning under hela arbetets gång. Hans feedback och insikter har varit ovärderlig för att jag ska kunna skapa en högkvalitativ och insiktsfull rapport.

Likaså vill jag tacka min externa handledare på WSP, Sebastian Levin, för hans värdefulla bidrag och stöd längs vägen. Hans expertis och erfarenhet har varit en viktig faktor i att jag har kunnat sammanställa en rapport som är både akademiskt stark och praktiskt användbar.

Jag vill också rikta mitt tack till alla respondenter som deltog i intervjuerna och bidrog till kunskap och åsikter. Det har varit en glädje att arbeta med er och jag är tacksam för allt ni ställde upp till intervju.

## Sammanfattning

Energiproduktion och dess miljöpåverkan är en allt viktigare fråga, och det är klart att dagens energisystem är ohållbart. Gröna byggnader som är självförsörjande på energi är en lösning, och byggsektorn måste minska växthusgasutsläppen. Solceller är en kostnadseffektiv och decentraliserad energikälla, och solcellsfasader har potential att revolutionera byggbranschen. Dessa fasader kan anpassas till olika byggnadsdesigner och former, men nya utmaningar uppstår när det gäller brandskydd. Solcellstekniken har utvecklats snabbt, och marknaden för solcellsfasader förväntas öka markant. Ökad medvetenhet om miljöfrågor och statliga bidrag har bidragit till snabb tillväxt av solcellsanläggningar, men det finns utmaningar inom forskning och utveckling, särskilt när det gäller säkerhet. Det finns en brist på omfattande forskning om riskerna med integrerade solceller i fasader.

Rapportens syfte är att öka kunskapen om risker kopplade till solcellsfasader och solcellsfasadens problematik genom intervjuer och litteraturstudier. Målet är att sammanställa nationella och internationella regler och rekommendationer för att jämföra och specificera potentiella förbättringar av Sveriges regelverk samt att fastställa den brandtekniska problematiken med solcellsfasader. Rapporten besvarar tre huvudsakliga problemfrågeställningar: hur svenska regler för solcellsfasad är utformade jämfört med internationella, vilken brandteknisk problematik som finns med solcellsfasad, och vilka brandrisker och åtgärder som kan implementeras för att mildra dessa risker.

För att besvara rapportens problemfrågeställningar genomfördes studien i flera faser med olika metoder. En litteraturstudie utfördes för att undersöka tidigare forskning på område. Därefter valdes lämpliga respondenter med relevant expertis för att genomföra en intervjustudie. Resultatet från både intervju- och litteraturstudien analyserades sedan för att besvara rapportens tre problemfrågeställningar.

Svenska regler är öppna vilket leder till mycket tolkning, omfattande arbete och höga kostnader för byggherren. Sverige har inte detaljkrav på solcellsfasader men det har inte heller de internationella länderna som undersökts. Däremot har andra länder mer rekommendationer om hur man ska bygga brandsäkra solcellsfasader vilket underlättar projekteringen. Denna rapport tar upp en sammanställning och en förteckning över alla dessa rekommendationer.

Den stora brandtekniska problematiken för solcellsfasader är att det integreras en brandrisk i fasaden. Sedan finns det även en rad problem när det kommer till bland annat regelverk och projektering. Detta inkluderar bland annat att Sverige har brist på specifika krav på solcellsfasader, inga homogena rekommendationer från räddningstjänster, solcellsfasader testas ej enligt SP FIRE 105 vilket är en testmetod för fasader enligt BBR.

Solcellsfasader innebär brandrisker. Fasaderna kan antända på grund av antingen interna eller externa brandorsaker. Interna brandorsaker inkluderar vanligtvis "hot spot", ljusbågar och kortslutningar på grund av dåliga anslutningar eller anslutningar som degraderat över tid. Vidare kan brandrisken manifesteras sig i form av spridning, elektriska stötar, brandgasutveckling, giftiga gaser och nedfall av material. Rapporten listar möjliga åtgärder som kan implementeras för att minska brandrisken med solcellsfasader. Dessa åtgärder är bland annat obrännbart material, regelbundet underhåll, kvalitetssäkrad installation.

## Summary

Energy and its environmental impact are an increasingly important issue, and it is clear that the current energy system is unsustainable. Green buildings that are self-sufficient in energy are one solution, and the construction sector needs to reduce greenhouse gas emissions. Photovoltaics are a cost-effective and decentralized energy source, and photovoltaic façades have the potential to revolutionize the construction industry. These facades can be adapted to different building designs and shapes, but new challenges arise in terms of fire protection. Photovoltaic technology has developed rapidly, and the market for photovoltaic façades is expected to grow significantly. Increased environmental awareness and government subsidies have contributed to the rapid growth of PV installations, but there are challenges in research and development, especially in terms of safety. There is a lack of comprehensive research on the risks of integrated PV in facades.

The purpose of this report is to increase knowledge of the risks associated with photovoltaic façades and photovoltaic façade issues through interviews and literature studies. The goal is to compile national and international rules and recommendations to compare and specify potential improvements to Sweden's regulations and to determine the fire engineering problems with photovoltaic facades. The report answers three main research questions: how Swedish regulations for photovoltaic façades compare with international ones, what fire safety issues exist with photovoltaic façades, and what fire risks and measures can be implemented to mitigate these risks.

To answer the report's problem questions, the study was carried out in several phases using different methods. A literature study was carried out to examine previous research in the area. Next, suitable respondents with relevant expertise were selected to conduct an interview study. The results from both the interview and literature study were then analysed to answer the report's three research questions.

Swedish rules are very open, which leads to a lot of interpretation, extensive work, and high costs for the developer. Sweden does not have detailed requirements for solar cell facades, but neither do the international countries studied. On the other hand, the international countries have more recommendations on how to construct fireproof photovoltaic facades, which facilitates planning. This report has compiled and listed all these recommendations.

The major fire engineering problem for photovoltaic façades is that a fire risk is integrated into the façade. There are also a number of problems when it comes to regulations and design. This includes that Sweden has a lack of specific requirements for solar cell facades, no homogeneous recommendations from rescue services and solar cell facades are not tested according to SP FIRE 105, which is the applicable test method for facades according to the Swedish building.

Photovoltaic facades involve fire risks. The facades can catch fire due to either internal or external fire causes. Internal fire causes usually include hot spots, arcing and short circuits due to poor connections. Furthermore, the fire risk can manifest itself in the form of propagation, electric shock, smoke generation, toxic gases, and material fallout. The report lists possible measures that can be implemented to reduce the fire risk of photovoltaic façades. These measures include non-combustible materials, regular maintenance, and better installation.

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och mål.....	3
1.3	Avgränsningar och begränsningar.....	3
2	Teori.....	5
2.1	Solcell.....	5
2.1.1	Solcellssystem.....	5
2.1.2	Typer av solceller.....	6
2.1.3	Övriga komponenter av solcellsmodulen.....	6
2.1.4	Byggnadsinstallation av solcellssystem.....	7
2.2	Regelhierarki.....	7
3	Metod.....	10
3.1	Litteraturstudie.....	10
3.2	Intervjustudie.....	12
4	Brandrisker och åtgärder.....	15
4.1	Brandrisker med solcellsfasader.....	15
4.1.1	Orsak till antändning.....	15
4.1.2	Konsekvens av antändning.....	17
4.2	Åtgärder.....	18
5	Regelverk och rekommendationer.....	21
5.1	Nationella regelverk och rekommendationer.....	21
5.1.1	PBF och PBL.....	21
5.1.2	BBR.....	21
5.1.3	Installation.....	24
5.1.4	Räddningstjänstens rekommendationer.....	24
5.2	Internationella regelverk, rekommendationer och standarder.....	25
5.2.1	Standarder.....	25
5.2.2	Olika länders regelverk och rekommendationer.....	26
5.2.3	CFPA-E Guidelines.....	31
5.3	Sammanställning av rekommendationer.....	31
5.3.1	Kontroll och installation.....	31
5.3.2	Märkning och information om solcellssystem.....	32
5.3.3	Utbilda räddningstjänst.....	32
5.3.4	Strömbrytare.....	32
5.3.5	Kabeldragning.....	32
5.3.6	Installation vid brandvägg.....	32



5.3.7	Tester .....	32
5.3.8	Möjlighet för utrymning .....	33
5.3.9	Brandfarliga rum .....	33
5.3.10	Rekommendation av solcellsfasaden som byggnadsprodukt .....	33
6	Problematik med solcellsfasader .....	33
7	Analys och diskussion .....	<b>Fel! Bokmärket är inte definierat.</b>
7.1	Jämförelse mellan nationella och internationella regler och krav .....	35
7.2	Svar på problemfrågeställningen .....	37
7.3	Reflektion kring metod och resultat .....	38
8	Slutsats.....	41
9	Förslag på fortsatta studier .....	43
10	Referenser.....	45
	<b>Bilaga A.....</b>	<b>51</b>
	<b>Bilaga B.....</b>	<b>54</b>
	<b>Bilaga B1.....</b>	<b>54</b>
	<b>Bilaga B2.....</b>	<b>56</b>
	<b>Bilaga B3.....</b>	<b>58</b>
	<b>Bilaga B4.....</b>	<b>60</b>

# 1 Inledning

Energi och dess påverkan på miljön är ett ämne som har blivit alltmer omdiskuterat under de senaste åren. Med en ökad medvetenhet om behovet av att minska vår energiförbrukning och utsläpp av växthusgaser är det tydligt att det nuvarande energisystemet är ohållbart och att det krävs nya lösningar. Att bygga gröna byggnader som är självförsörjande på energi är en av dessa lösningar. Med hänsyn till att byggsektorn utgör en betydande andel av den totala energianvändningen (Hipel, 2015) och därmed också av utsläppen av växthusgaser är det av högsta vikt att minska utsläpp av växthusgaser som sker vid produktion av el till byggnader genom ohållbara energikällor. Detta kan uppnås genom att tillämpa avancerad och ren teknik som är energieffektiv och miljövänlig, vilket är nödvändigt för att uppfylla de globala åtagandena om minskad klimatpåverkan. Genom att installera solceller kan byggnader producera deras egen energi och minska eller till och med eliminera sitt beroende av ohållbara energikällor. Solceller är allmänt erkända som en av de mest kostnadseffektiva tillämpningarna för förnybar energi när det gäller decentraliserad energiproduktion i byggnader (Lamberto Mazziotti, 2016).

En innovativ teknik som har utvecklats är solcellsfasader, vilket har potentialen att revolutionera byggbranschen. Solcellsfasader är en form av solcellsteknik som kan integreras i fasadmaterialet på byggnader, vilket gör att byggnaden kan producera energi samtidigt som den fungerar som en fasad. Denna teknik kan användas på allt från höghus till bostadshus och ger arkitekter och byggföretag möjlighet att skapa vackra och moderna byggnader som är energieffektiva och miljövänliga. Solcellsfasader är också flexibla och kan anpassas till olika byggnadsdesigner och former (Rebecca Yang, 2022). Ny innovativ teknik som solcellsfasader innebär också nya utmaningar när det kommer till brandskydd. En uttryckt brist på information om hur man projekterar brandsäkra solcellsfasader från yrkesverksamma brandprojektörer har varit grund till följande rapport. Följande kapitel går igenom rapportens bakgrund men även rapportens syfte och mål.

## 1.1 Bakgrund

Solcellsteknologin har utvecklats i snabb takt under de senaste åren och har blivit alltmer populär runt om i världen. Enligt Precedence Research (2022) förväntas den globala marknaden för solcellsfasader att öka markant de kommande åren. I Sverige har användningen av solceller ökat drastiskt de senaste åren och bara under 2020 ökade mängden årlig installerad effekt med 42 % till 400 MW (Johan Lindahl, 2020). Både ökad medvetenhet om miljöfrågor och statliga bidrag har bidragit till en snabb tillväxt av antalet solcellsanläggningar i Sverige. Detta har gjort att solcellsteknologin har blivit alltmer tillgänglig och prisvärd för vanliga hushåll och företag i Sverige. Men en snabb tillväxt av solcellsanläggningar har också skapat utmaningar inom forskning och utveckling, särskilt när det gäller säkerhet i byggnader med solcellsfasader. Som ett resultat av den snabba expansionen de senaste åren, har forskningen inom säkerhet för solcellsfasader troligen inte kunnat hålla jämna steg med utvecklingen. Detta har skapat ett vakuum där det finns en brist på omfattande forskning om de potentiella riskerna med integrerade solceller i fasader. Det huvudsakliga syftet med energikonverteringssystem som till exempel solceller och vindkraftverk är att producera el. Design och installation av solcellssystem görs därför i huvudsak för att öka effektiviteten och producera så mycket el som möjligt. Detta kan leda till att fokus blir mest på effektivitet och mindre fokus läggs på risker med solcellssystem (Lamberto Mazziotti, 2016). På grund av ovanstående faktorer är det inte överraskande att det har skett en ökning av incidenter orsakade av solcellsfasader.

Enligt en studie från Tyskland ökade antalet bränder kopplade till solcellspaneler med ungefär 50 gånger mellan 2005 och 2012. Mellan år 2011 till 2013 undersökte Tyskland brandincidenter bland 1,3 miljoner solcellssystem och resultatet visade 430 brandincidenter där hälften av fallen orsakades av bränder på grund av själva solcellssystemet, medan resterande incidenter orsakades av yttre bränder.

Två tredjedelar av de brandincidenter som manifesterades till följd av det underliggande solcellssystemet manifesterades på grund av dysfunktioner relaterade till installation och planering. Den återstående tredjedelen av sådana incidenter härleddes i stället från defekter i enskilda komponenter. (Monireh Aram, 2021). Liknande resultat har också rapporterats i Italien, där National Fire Brigade rapporterade att av deras 560 000 solcellsinstallationer, har det uppkommit 1600 brandrelaterade incidenter (Lamberto Mazziotti, 2016). En studie från 2013 visade att byggnadsintegrerade solceller har 20 gånger större brandrisk än applicerade (Laukamp, 2013). Dessa resultat visar tydligt på behovet av ökad forskning och utveckling av säkerhetsstandarder för solcellsfasader. Bränder i solcellssystem anses vara en ovanlig händelse och statistiken för dessa händelser är därför begränsad. I USA klassificerar National Fire Data Center bränder i solcellssystem som "övrigt", vilket gör att det är svårt att få en exakt uppfattning om hur vanligt förekommande bränder är (Petra Andersson, 2019). Trots bristen på statistik är det uppenbart att forskning om säkra solcellsfasader är högst aktuell och nödvändig att genomföra, särskilt med tanke på de rapporterade incidenterna i Tyskland och Italien. På grund av bristande forskning inom området solcellsfasad har följande rapport som syfte att undersöka vad det finns för problematik med solcellsfasader.

Det är av högsta vikt att säkerställa att användningen av solcellsfasader är säkra gällande brand för byggnadsinnehavarna samt personer i byggnaden, inte hindrar brandbekämpning och inte ökar risken för brandspridning inom byggnaden och till angränsande fastigheter. Solcellskomponenter har en betydande inverkan på hur branden sprids utanför eller genom byggnaden, påverkar ventilationen av brandgaser och andra förbränningsprodukter, göra släckningsarbetet svårare och medföra en ytterligare risk för elektriska stötar för brandmän och räddningspersonal på grund av strömförande komponenter, vilket kan förvärra den befintliga brandrisken (El-Sherif, 2017). Solcellsfasader, som innebär att en elektrisk komponent används som fasadmateriell och utsätts för extrema klimatförhållanden i form av vind och väder, introducerar nya risker för byggnader. När det gäller brandrisker med solcellsfasader är det viktigt att notera att dessa fasader har en hög energitillförsel, vilket kan öka brandrisken. I händelse av brand kan solcellsfasadens brännbara komponenter fungera som bränsle och påskynda spridningen av branden. Dessutom kan solcellsfasader, beroende på deras design och placering på byggnaden, påverka ventilationsförhållandena, vilket kan leda till en ökad spridning av brandgaser och giftiga gaser (Rebecca Yang, 2022). Förutom dessa brandrisker kan solcellsfasader även skapa en fara för brandmän och räddningspersonal. Strömförande komponenter i solcellsfasaderna kan förhindra eller försvåra släckningsarbetet och öka risken för elektriska stötar<sup>1</sup>. Därför är det viktigt att säkerställa att brandmän och räddningspersonal har tillräcklig utbildning och utrustning för att arbeta säkert runt solcellsfasader samt anpassa anläggningen för säker hantering av berörd personal. För att minimera brandriskerna med solcellsfasader kan åtgärder såsom en korrekt installation, undvika brännbart material nära kopplingsboxar eller växlingsriktare eller också installation av sprinklersystem<sup>2</sup>.

För att minimera risken för bränder i byggnader har olika länder och standardorgan givit ut riktlinjer för hantering av brandskyddsåtgärder. Syftet med dessa riktlinjer är att minimera förluster av både människoliv och egendom. Beroende på byggnadens funktion fastställer olika länder och standarder motsvarande konstruktionsstrategier och bedömningsmetoder. Trots omfattande skador på byggnader orsakade av bränder har utvecklingen av riktlinjer och standarder inom detta område gjort endast små framsteg (Gernay T. , 2019).

---

<sup>1</sup> Se bilaga B3 (intervju med Alexander Elias)

<sup>2</sup> Se bilaga B1 (intervju med Sebastian Levin)

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att genom intervju- och litteraturstudie öka den bristande kunskapen om integrerade solcellsfasader kopplat till bränder och åtgärder för att undvika eller begränsa konsekvensen av brand. Rapporten syftar därmed att öka kunskapen om eventuella risker kopplat till solcellsfasader och solcellsfasadens generella problematik. Vidare syftar rapporten till att samla kunskap om hur svenska regelverk och rekommendationer är utformade gentemot internationella.

Målet med rapporten är att sammanställa både nationella och internationella regler och rekommendationer för att kunna jämföra och därefter specificera potentiella förbättringar av Sveriges regelverk. Vidare är målet att fastställa den brandtekniska problematiken med solcellsfasader. Nedan presenteras de tre huvudsakliga problemfrågeställningarna som används som verktyg för att uppnå målet med rapporten:

- När svenska regler för solcellsfasader upp till samma brandsäkerhets standard som internationella?
- Vad finns det för problematik med solcellsfasader utifrån ett brandperspektiv?
- Vad finns det för brandrisker med solcellsfasader och vilka åtgärder kan implementeras för att mildra eventuella brandrisker?

## 1.3 Avgränsningar och begränsningar

Genom att svara på de frågor som nämns ovan ansågs syftet och målet för rapporten i stor utsträckning ha uppnåtts. För att uppnå önskat resultat inom den bestämda tidsramen var det nödvändigt att begränsa omfattningen av rapporten genom att göra vissa avgränsningar.

Rapportens fokus ligger på att undersöka solceller som är integrerade i fasaden och inte integrerade i taket. Fokuset ligger även på integrerade solceller och ej byggnadsapplicerade. Dock, eftersom regler, rekommendationer, forskning och annan litteratur ofta lägger fokus på både applicerade och integrerade fasader och tak så kommer dessa att vara med i viss mån då det är svårt att helt avgränsa sig från dem. Orsaker till antändning av solcellspaneler på grund av elektriska fel begränsades i den omfattning att bara de vanligaste felen togs upp. Vidare begränsades rapporten att bara undersöka vissa länders regler och rekommendationer. Rapporten var också tvungen att begränsas i omfattning genom att ej gå in på exakta detaljer i lagstiftning från olika länder utan i stället användes information som var lättillgänglig och lättbegriplig från respektive land.



## 2 Teori

I kommande avsnitt kommer teorin som utgör grunden för rapporten att presenteras. Syftet är att läsaren ska få förståelse för solcellsfasadens struktur och funktion. Vidare ges läsaren grundläggande förståelse i Sveriges grundläggande regelhierarki som behövs för att förstå rapportens del om regler och rekommendationer. Dom grundläggande kraven för solcellsfasader från plan och byggförordningen presenteras även i detta kapitel.

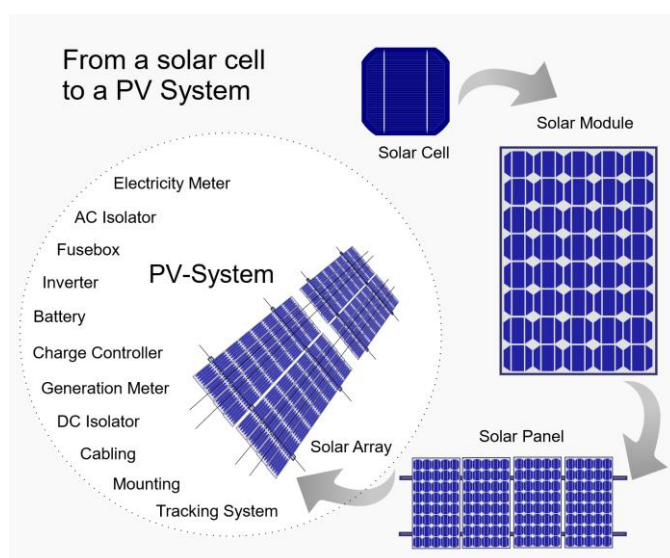
### 2.1 Solcell

Solcellen är en apparat som använder den fotovoltaiska effekten för att konvertera solljus till elektrisk energi. Solceller fungerar genom att sammanfoga en p-typ och en n-typ halvledare för att bilda en p-n-övergång. När solljus träffar solcellen, överförs energin från fotonerna till atomer i det halvledande materialet, vilket gör att elektronerna hoppar till ett högre energitillstånd, kallat ledningsbandet, och skapar ett elektron-hål-par. Det elektriska fältet som uppstår på grund av p-n-övergången orsakar elektronerna och hålen att röra sig i motsatt riktning, vilket genererar en elektrisk ström i solcellen som kan användas som en energikälla. Edmond Becquerel upptäckte den fotovoltaiska effekten år 1839, och det är den grundläggande processen som gör solpaneler användbara. (University of Calgary, 2023).

Solceller producerar vanligtvis en effekt på 1–2 watt och är vanligtvis små i storlek (Office of Energy efficiency & Renewable energy, 2023). Standardstorleken för en solcell är 156 x 156 mm (Matasci, 2022). De är tillverkade av olika halvledarmaterial och kan vara mindre än fyra hårstråns tjocklek. För att skydda cellerna utomhus under flera år är de ofta inbäddade mellan skyddande material, som kan vara en kombination av glas och/eller plast (Office of Energy efficiency & Renewable energy, 2023).

#### 2.1.1 Solcellssystem

För att öka den totala effekten kombineras solceller i serie eller parallellkopplade kedjor och bildar solcellsmoduler. Dessa moduler kan sedan kombineras vidare för att skapa solcellspaneler som genererar avsevärt högre effekt. Slutligen kan flera solcellspaneler samordnas till ett solcellssystem (PV-system). Denna progression från enskilda solceller till storskaliga PV-system illustreras i Figur 1.



Figur 1: Bilden visar den stegvisa processen från solcell till solcellssystem (Rfassbind, 2014).<sup>3</sup>

<sup>3</sup> License: Public domain enligt upphovsmannens deklARATION: "I, the copyright holder of this work, release this work into the public domain. This applies worldwide. In some countries this may not be legally possible; if so: I

### 2.1.2 Typer av solceller

Det finns flera olika typer av solceller som bygger på olika tekniker. Dessa kan kategoriseras i tre generationer. Den första generationen består av kristallina kiselceller. Den andra generationen består av tunnfilmssolceller och den tredje generationen är framtidens solcellsinnovationer och bygger på tunnfilmsteknik och nanoteknik (Nohrstedt, 2018).

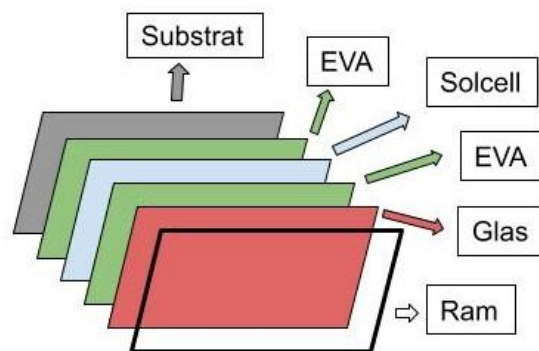
Den första generationen och den vanligaste solcellen är kristallina kiselceller som representerar ungefär 95 % av alla solceller som säljs (International Energy Agency, 2023). Solceller av denna sort härleder sitt namn från kiselatomernas arrangemang i kristallstrukturer, som kan förekomma i två varierande typer: monokristallina och polykristallina (Petra Andersson, 2019). För närvarande erbjuder kiselbaserade solceller en blandning av lång livslängd, låga kostnader och hög effektivitet. Man räknar med att solcellsmodulerna kommer att fortsätta att fungera i ett kvarts sekel eller mer och behålla över 80 procent av sin ursprungliga produktion (Office of Energy efficiency & Renewable energy, 2023).

Tunnfilmssolceller är den andra generationens solcell och är en typ av solcell som innebär att ett eller flera tunna lager av solcellsmaterial deponeras på ett bärande material som glas, plast eller metall. Kadmiumtellurid (CdTe) och koppar-indium-gallium-selen (CIGS) är de två viktigaste typerna av halvledare för solceller i tunnfilm som finns på marknaden idag. CdTe-celler är det näst vanligaste solcellsmaterialet efter kisel, och även om de är ett kostnadseffektivt alternativ är deras verkningsgrad inte lika hög som kisel. Å andra sidan har CIGS-celler höga verkningsgrader i laboratoriet, men komplexiteten i att kombinera fyra element gör övergången från labb till tillverkning mer utmanande. Både CdTe och CIGS kräver mer skydd än kisel för att möjliggöra långvarig drift utomhus (Office of Energy efficiency & Renewable energy, 2023). Tunnfilmssolceller har lägre materialkostnader än solceller av kristallint kisel och påverkas mindre negativt av värme (Petra Andersson, 2019).

Forskning pågår för att utveckla förbättrade typer av solceller, så kallade tredje generationens solceller. Några av dessa är perovskitsolceller, organiskt baserade solceller och "quantum dot" solceller. Forskningen syftar till att hitta den mest miljövänliga och kostnadseffektiva solcellen (Spooner, 2023).

### 2.1.3 Övriga komponenter av solcellsmodulen

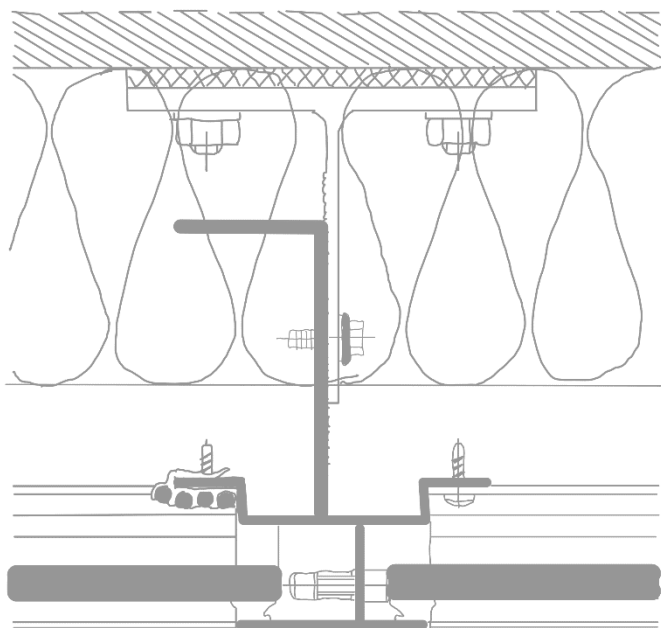
För att skydda solcellen från yttre påverkan som till exempel, fukt och ultraviolett ljus så är den förseglad med ett slags förseglingskydd. Detta förseglingskydd är oftast gjort av etylenvinylacetat (EVA). Detta material är brännbart och släpper ut gas med kolväten vid brand. På den bakre delen av en solcellsmodul sitter ett substrat som illustreras i figur 2. Detta substrat är till för att ge ytterligare skydd mot saker som fukt och damm. Denna del är vanligtvis gjord av polyvinylklorid (PVC). Framsidan av solcellsmodulen är oftast gjort av glas och skyddar mot mekanisk verkan och fungerar som elektrisk isolering. För att slutligen innesluta in hela solcellsmodulen så finns det en ram som gör detta. Den kan bestå av antingen aluminium eller plast (M. Waqar Akram, 2022). Uppbyggnaden av solcellsmodulen illustreras i figur 2.



Figur 2: Bild över solmodulens uppbyggnad

### 2.1.4 Byggnadsinstallation av solcellssystem

Det finns två distinkta typer av installationer av solceller som används idag, nämligen byggnadsapplicerade solceller (BAPV) och byggnadsintegrerade solceller (BIPV). BAPV-system innebär att solcellerna monteras på antingen taket eller fasaden av en byggnad, medan BIPV-system innebär att solcellerna integreras i byggnadens struktur, antingen som tak- eller fasadmateriäl (Petra Andersson, 2019). För att solcellsinstallationen ska klassas som byggnadsintegrerad solcell krävs att den uppfyller en konstruktionsfunktion, t.ex. primärt väderskydd, brandskydd, bullerskydd (Amanda Thellsén, 2016). En schematisk ritning över hur en integrerad solcell i fönster ser ut visas i figur 3.



Figur 3: Schematisk ritning över tvärsnitt av en integrerad solcell i fönster.

## 2.2 Regelhierarki

Inom svensk lagstiftning finns en hierarkisk ordning som fastställer vilka regler som har företräde över andra. Hierarkin går från grundläggande lagar till mer detaljerade föreskrifter och rekommendationer. De olika nivåerna i regelhierarkin kan beskrivas som följande (Boverket, 2022):

Lagar är de högsta reglerna och antas av riksdagen eller Europaparlamentet och rådet. De är bindande för alla medborgare och myndigheter och kan endast ändras genom en ny lag.



Förordningar är beslut som antas av regeringen eller Europeiska unionens institutioner för att genomföra lagar på ett mer detaljerat sätt. Förordningar är också bindande och har samma status som lagar.

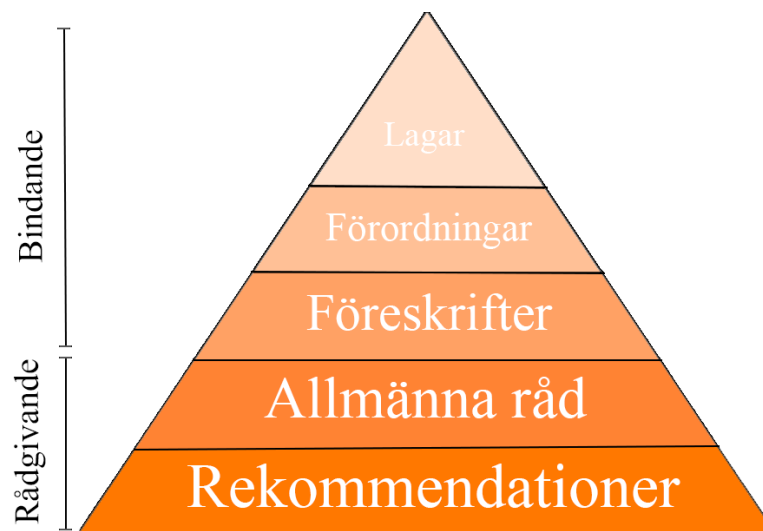
Föreskrifter är beslut som antas av myndigheter för att ge riktlinjer om hur en viss lag eller förordning ska tillämpas. De är bindande och måste följas.

Allmänna råd är rekommendationer om hur en lag eller föreskrift kan tillämpas. De är inte bindande men kan användas för att uppfylla det som står i regler. Om allmänna råd inte används ska man kunna bevisa att reglerna uppfylls på annat sätt.

Rekommendationer är råd och anvisningar som ges av organisationer eller personer.

Rekommendationer är oftast utvecklade från vetenskap eller personer med expertis inom området. De har ingen rättslig effekt men kan ge bra riktlinjer och vägledning (Folkhälsomyndigheten, 2022).

Figur 4 visar en illustrativ sammanfattande bild på Sveriges regelhierarki.



Figur 4: Illustrativ bild av Sverige regelhierarki.

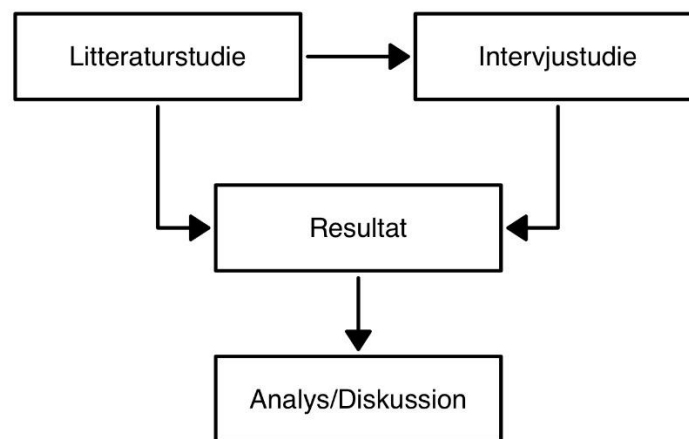
Utöver ovanstående finns det också standarder. Standarder är dokument som innehåller tekniska specifikationer eller andra kriterier som används för att säkerställa enhetlighet, kvalitet och säkerhet inom olika branscher och områden. Standarder kan vara frivilliga eller obligatoriska och fastställs ofta av standardiseringsorganisationer eller myndigheter. Dessa organisationer fastställer standarder genom en process som involverar experter från olika områden och intressenter, och de kan användas för att säkerställa att produkter, tjänster, processer och system uppfyller vissa krav och prestandastandarder. Standarder kan vara tekniska (t.ex. dimensioner, material, prestandakrav), administrativa (t.ex. procedurer, dokumentation, testning) eller juridiska (t.ex. regler, krav på säkerhet). De kan också gälla för olika områden, såsom miljö, hälsa och säkerhet, kvalitetsledning, informations- och kommunikationsteknik, och många andra områden (Svenska Institutet för Standarder, 2023).

För att minska risken för bränder i byggnader fastställs regler och standarder för hantering av brandskyddsåtgärder för att garantera människors och egendoms säkerhet. Dessa regler och standarder varierar beroende på byggnadens syfte och anger lämpliga konstruktionsstrategier och bedömningsmetoder (Kodur V, 2020).



### 3 Metod

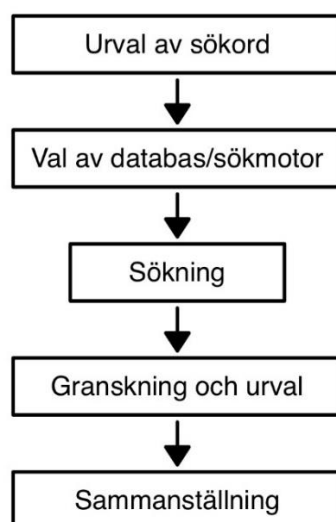
För att besvara rapportens problemfrågeställningar genomfördes arbetet i flera faser med olika metoder. Inledningsvis utfördes en litteraturstudie där tidigare forskning och expertkunskap inom området granskades genom att söka i både nationella och internationella källor. Därefter valdes lämpliga respondenter med relevant expertis inom ämnet för att genomföra en intervjustudie. I rapportens sista del analyseras resultatet från både intervju- och litteraturstudien för att besvara rapportens tre problemfrågeställningar. Figur 5 illustrerar rapportens metodgång.



Figur 5: Illustration av rapportens metodgång.

#### 3.1 Litteraturstudie

Syften till litteraturstudien var att undersöka tidigare forskning kring ämnet och få grundläggande kunskaper om området. Vidare är målet att samla in lämplig litteratur som ska användas till underlag för att besvara rapportens tre problemfrågeställningar. Litteraturstudien samlade in information och kunskap om brandrisker och problematik med solcellsfasader, nationella och internationella regelverk, åtgärdsförslag och generell information om solcellsfasader för att få en grundläggande förståelse. Figur 6 illustrerar arbetsgången för litteraturstudien och följande stycken går in mer på detalj om respektive del.



Figur 6: Illustration av arbetsgången för litteraturstudien.

Litteraturstudien började med att utvärdera vilka sökord som ska användas vid sökning. Sökorden togs fram genom brainstorming som grundades i rapportens tre problemfrågeställningar och avgränsningar. Följande är en lista på de sökord som användes vid sökning av litteratur: Integrated Photovoltaics AND Fire, Photovoltaics, solcell\*, integrerade solceller, solcellsfasad, BIPV, Building facade, Integrated PV, integrerad solcellsfasad, solceller byggregler. "AND" används för att tala om för databasen att den ska hitta litteratur som innehåller båda sökorden innan och efter "AND". När sökorden "Photovoltaics, Buildind facade, BIPV, Integrated PV" gav över 100 träffar kombinerades de med följande sökord: Normative framework, Standard, Building code, Fire risks.

För att erhålla tillträde till Lunds universitets omfattande bibliotek med artiklar, rapporter, avhandlingar och böcker, användes en databas vid namn LUBSearch. Ytterligare sökningar gjordes med RISE sökmotor för att hitta artiklar publicerade av RISE. Valet av RISE sökmotor baserades på en artikel som identifierades som användbar i LUBSearch och som hänvisade till flera relevanta artiklar från RISE. Eftersom tillgången till litteratur från både RISE och LUBSearch var begränsad, användes Google Scholar och Google för att hitta relevant litteratur om nationella och internationella rekommendationer och regler. Den första sökningen efter litteratur genomfördes den 14 februari 2023. Förutom den litteratur som erhöles från de olika sökmotorerna och databasen, inkluderades även ytterligare litteratur som rekommenderades och hänvisades till i källhänvisningarna i den tidigare identifierade litteraturen från sökmotorerna. Den senare sökningen genomfördes den 6 mars 2023.

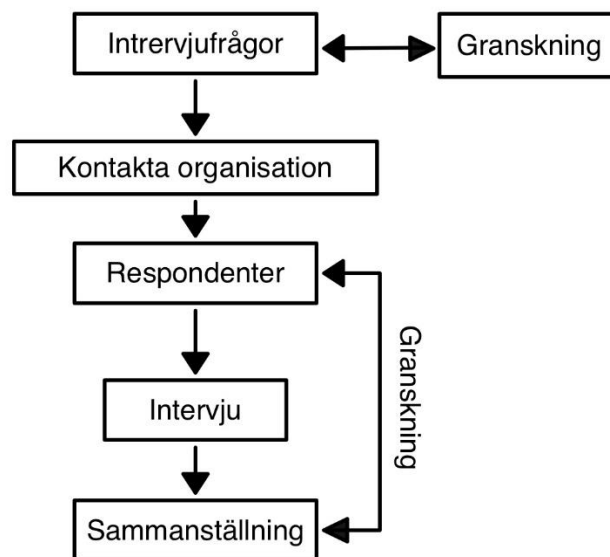
Urvalet av litteratur till rapporten utfördes genom att läsa titlar, sammanfattningar och innehållsförteckningar för att bedöma relevansen för ämnet. Eftersom utvecklingen inom solcellsfasader sker snabbt och forskningen kontinuerligt uppdateras, valdes litteratur som identifierades genom sökmotorerna och databasen ut, med en begränsning att utesluta material som var mer än 8 år gammalt. Viktigt att notera är att äldre litteratur användes i få fall då litteratur för internationella regler inte har uppdaterats på lång tid. Detta medför att viss litteratur är äldre än 8 år. Beslutet att begränsa urvalet av litteratur till material som var högst 8 år gammalt gjordes med hänsyn till att säkerställa att den valda litteraturen var så aktuell som möjligt. Samtidigt valdes denna tidsram för att se till att det fanns tillräckligt med litteratur tillgänglig för att utföra en analys av litteraturen. Urvalet gjordes också genom att granska trovärdigheten av litteraturen. Trovärdigheten granskades genom att ha granskningsfrågor i åtanke från på boken "Att genomföra examensarbete" (Martin Höst, 2006). Dessa frågor är följande:

- "Är materialet granskat och i så fall hur och av vem?"
- "Vem står som garant för trovärdigheten?"
- "Är undersökningsmetodiken trovärdig?"
- "Är resultaten framtagna i ett sammanhang som är relevant för mina frågeställningar?"
- "Har resultaten blivit bekräftade eller lett till erkännande och blivit refererade i andra trovärdiga sammanhang?"

Resultaten från litteraturstudien utgjorde inte bara ett underlag för att besvara de tre problemfrågeställningarna i rapporten, utan användes också som bas för att utforma intervjufrågor i den efterföljande intervjustudien.

### 3.2 Intervjustudie

Solcellsfasader representerar en förhållandevis ny teknik, och det prognostiseras en betydande ökning på den globala marknaden för solcellsfasader i framtiden (Precedence Research, 2022). Detta medför att det finns ett stort intresse för solcellsfasader men solcellsfasader är en ny teknik och är därför begränsad i hur mycket information det finns om solcellsfasader. För att få tillgång till mer information om solcellsfasader valdes intervjustudie som en metod. Intervjustudie valdes också som metod för att inte bara få en teoretisk syn från litteraturen utan även praktisk syn på förhållandet till solcellsfasader. Syftet med intervjustudien var att få information från olika respondenter i olika verksamheter för att besvara problemfrågeställningarna. Resultatet från intervjustudien ska alltså komplettera resultatet från litteraturstudien. Figur 7 illustrerar arbetsgången för intervjustudien och följande stycken går in mer på detalj om respektive del.



Figur 7: Illustration av arbetsgången för intervjustudien.

I denna intervjustudie inleddes processen genom att utforma intervjufrågor baserade på litteraturstudien samt inom ramen för problemformuleringarna och avgränsningarna. Frågorna rörde sig kring risker och problematik associerade med solcellsfasader, samt respondenternas åsikter gällande svenska standarder och regelverk i förhållande till internationella riktlinjer. Syftet var att undersöka olika aktörers perspektiv på hur Sveriges regelverk och standarder bör utformas. Intervjun inkluderade även frågor avsedda att besvara vilken problematik som finns kring solcellsfasader samt lämpliga åtgärdsförslag. Dessutom ställdes mer generella frågor angående solcellsfasader för att bedöma respondenternas kunskapsnivå och därmed utvärdera tillförlitligheten i deras svar. Efter att den preliminära frågeställningen formulerats, skickades den för granskning till båda handledarna. Deras feedback beaktades, och den slutgiltiga frågeställningen för intervjun fastställdes. Denna fullständiga frågeställning finns i bilaga A.

Efter att frågeställningen var klar skickades en förfrågan om intervju till olika organisationer. Syftet var att inhämta information och perspektiv från diverse sektorer inom branschen för att uppnå en omfattande kunskapsgrund. Valprocessen genomfördes genom att ett meddelande sändes till organisationer där en förfrågan riktades om de hade någon med den expertis som efterfrågades. På detta sätt kunde organisationerna själva utse den person de ansåg vara mest insatt inom ämnet, vilket ansågs möta kriterierna.

Förfrågan skickades ut till olika konsultbolag, räddningstjänster, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), Boverket och Research Institute of Sweden (RISE). Eftersom solcellfasader är en ny teknik är det inte alla som har kunskap inom området och därför var det inte heller alla som kunde delta på intervju. De respondenter och organisationer som deltog var:

- Sebastian Levin, WSP
- Malin Unger, RISE
- Peter Kovacs, RISE
- Alexander Elias, Brandskyddslaget
- Magnus Nyhage, Räddningstjänsten Södra Älvsborg

Respondenterna fick ta del av frågeställningen innan intervjun för att de skulle vara förberedd på intervjun och dess frågor. Det fanns en nödvändighet av viss ordning där specifika frågesvar efterfrågades. Detta för att rama in respondenternas svar så att de låg inom målen för rapporten och ordningen av frågor var inledningsvis bestående av lättare och mer överskådliga frågor, för att gradvis fördjupa sig i mer komplexa och djupgående ämnen. Det fanns också en önskan att erbjuda respondenterna flexibilitet för att maximera intervjuernas resultat. Därför genomfördes intervjuerna genom att bibehålla dem som semi-strukturerade, med öppna frågor som följde en ordnad samt konsekvent sekvens i alla intervjuer. Intervjuerna genomfördes online genom både plattformen Zoom och Microsoft Teams. Intervjuerna spelades in i syfte att underlätta sammanfattandet av intervjun. Efter att intervjun hade sammanfattades skickades sammanfattningen ut till den intervjuade respondenten för att bekräfta sammanfattningen med respondentens åsikter och synpunkter.

I sista delen av rapporten genomfördes en analys och diskussion av rapportens resultat av litteratur- och intervjustudie med mål att besvara rapportens tre frågeställningar.



## 4 Brandrisker och åtgärder

I detta kapitel presenteras resultat från litteraturstudien och intervjustudien angående brandrisker och åtgärder. Kapitlet börjar med att ta upp brandrisker med solcellsfasader genom både orsak till antändning och konsekvens av antändning. Sedan presenteras åtgärder som kan implementeras för att minska brandrisker med solcellsfasader.

### 4.1 Brandrisker med solcellsfasader

På grund av att de flesta solcellsföretag ej publicerar rapporter av brandtillfällen är det nästan omöjligt att kvantifiera orsakerna till brand för solcellsfasader (Smith, 2015). Det finns dock några studier som undersöker hur bränder med solcellsfasader uppkommer. En rapport publicerad av BRE (Building Research Establishment, 2017) i Storbritannien undersökte 58 bränder som inträffade mellan 2010 och 2016 där solpaneler var inblandade. Av dessa bränder orsakades 42 av solcellsinstallationer. Bland dessa bränder, resulterade 17 i stora skador på fastigheter, medan 16 var begränsade bränder som kunde kontrolleras och 9 var små bränder som endast orsakade brandgaser och ingen större skada. De resterande 10 bränderna skedde ej på grund av solcellsinstallationer, däremot påverkade installationerna bränderna negativt, medan orsaken till 6 bränder var okänd. Viktigt att tänka på är att antalet anläggningar har troligen ökat betydligt sedan 2010–2016 och därmed är det absoluta talen säkerligen inaktuella.

Rapporten identifierade tre huvudkategorier av fel som kunde ha orsakat bränderna. Det första felet var fel i systemdesignen, det andra var fel i produktdesignen eller kvaliteten på vissa komponenter. Vissa av dessa komponenter hade anpassats för DC genom att modifiera en befintlig AC-brytardesign. Det tredje felet var fel vid installationen som ledde till att de installerade isolatorerna fylldes med vatten.

Utifrån aktuella akademiska och industriella publikationer identifieras brandrisker med solcellsfasader i detta avsnitt. Riskerna är kategoriserade efter följande ordning: orsak, vad som orsakade antändningen; och konsekvens, vilka konsekvenser det blir av att det brinner i en solcellsfasad.

#### 4.1.1 Orsak till antändning

Lamberto Mazziotti (2016) kategoriserar brandorsaker för solcellsfasad som antingen ”victim fire scenario” eller ”original fire scenario”. Med ”victim fire scenario” menar han att solcellsfasaden är offer för branden och branden initieras ej i solcellsfasaden till skillnad från ”original fire scenario” där branden initieras i solcellsfasaden. Denna grund av kategorisering används nedan för anledningar till antändning av solcellsfasaden. För ”victim fire scenario” används benämningen extern orsak och för ”original fire scenario” används intern orsak.

Tabell 1: Tabell över externa och interna orsaker till antändning

Extern orsak	Intern orsak
Brand i annat utrymme	Hot spot
Högt värmefflöde	Ljusbågar
Övertändning	Kortslutning

Tabell 1 redogör för en sammanställning av både externa och interna faktorer som kan orsaka antändning av en solcellsfasad. I de kommande avsnitten, 4.1.1.1 och 4.1.1.2, kommer varje orsak att beskrivas i detalj för att ge en mer omfattande förståelse.

En normal fasad som är lika brännbar som solceller kommer ha samma externa orsaker som en solcellsfasad. Men med en solcellsfasad så adderas risken på grund av att det finns en adderad risk i



och med att själva solcellsfasaden kan antänd. Detta gör det alltså svårt att hävda att risken inte är högre med solcellsfasad.

#### 4.1.1.1 Antändning på grund av extern brand

Solcellspaneler innehåller brännbara material i inkapslingsmaterialet (encapsulant) och "back sheet" vilket gör solcellspanelen antändningsbar (M. Waqar Akram, 2022). De huvudsakliga materialen som används för "encapsulants" är polyethylene-co-vinyl acetate (EVA) och Polyvinyl butyral (PVB) och båda är brännbara (Rebecca Yang, 2022).

Solcellsfasaden kan antändas på grund av att en brand startar i ett annat utrymme i en byggnad och sprider sig till solcellsfasaden. Om värmeflödet från en brand som sker inne i byggnaden sprider sig till solcellsfasaden och är över solcellsfasadens kritiska värmeflöde så kan solcellsfasaden antändas. Enligt en studie (Yang H, 2015) visade det sig att värmeflöden större än 26 kW/m<sup>2</sup> kan antända solcellsmodulen.

Vid en brand i ett rum kan det uppstå en fas då den värme som strålar från branden, de varma gaserna samt de heta väggarna kan starta en kedjereaktion som leder till att allt material i rummet börjar brinna samtidigt. Denna snabba och kontinuerliga ökning av branden kallas övertändning. Solcellsfasader tenderar att antändas om en övertändning sker i ett närliggande rum (Rebecca Yang, 2022).

#### 4.1.1.2 Antändning på grund av intern orsak

M. Waqar Akram (2022) har gjort en djupgående studie där han går in på djupet med de olika orsaker till fel i solcellssystem. Rapporten tar upp 17 olika orsaker till fel i solcellssystem. Enligt rapporten är "hot spot", ljusbågar och kortslutningar på grund av felaktiga anslutningar de främsta orsakerna till intern antändning av solcellsfasader. Med intern orsak menas att branden startar med en antändning i själva solcellsfasaden.

Fenomenet "hot spot" har observerats som orsak till antändning i solcellsfasader och kan uppstå på grund av flera faktorer som partiell skuggning, material- och tillverkningsfel, samt försämring av solcellsfasaden över tid (Pandian A, 2016). "Hot spot" är att det sker en lokal uppvärmning på en särskild punkt på solcellsmodulen som ökar mycket i temperatur och eventuellt antänder det brännbara materialet i solcellsmodulen (Lamberto Mazziotti, 2016). "Hot spot" sker när solcellen agerar som last i stället för producent. Skuggning, defekta celler, felmatchade celler och sprickor i celler är saker som kan orsaka "hot spot" (M. Waqar Akram, 2022).

Kortslutningar kan uppstå på grund av dåliga anslutningar. En kortslutning leder till en plötslig och kraftig ökning av elektrisk ström på grund av låg resistans (Wikipedia, 2023). Kortslutning leder till att en del av solcellen ökar i temperatur och kan därmed antändas (Rebecca Yang, 2022).

Partiell skuggning uppstår när endast en del av solpanelen utsätts för solljus medan de andra delarna skuggas av träd, byggnader eller andra objekt. När en del av en solcellspanel är skuggad får cellerna i det området inte tillräckligt med solljus för att generera elektricitet, vilket gör att de fungerar med omvänd spänning. Detta innebär att cellerna, i stället för att generera elektricitet avger energi i form av värme. Detta skapar en lokal varm fläck på solpanelen som kan antända solcellsmodulen vid för höga temperaturer (Dhimish M, 2018).

En annan vanlig orsak till antändning är ljusbågar, som uppstår när en elektrisk ström passerar genom en spalt i luften, vilket leder till att luften joniseras. Högspänningsbågar är otroligt heta och kan snabbt antända omgivande material. Detta kan orsakas av defekter eller felaktig installation. Felaktig installation eller yttre påverkan kan leda till högre resistens vilket leder till värme. Detta kan ge

upphov till tillräckligt mycket värmeenergi för att skapa en ljusbåge, vilket kan leda till en brand (Rebecca Yang, 2022).

#### 4.1.2 Konsekvens av antändning

Avsnittet behandlar konsekvenserna av brand i solcellsanläggningar avseende:

- Spridning av brand
- Elchock
- Brandgasbildning och giftiga gaser
- Nedfall av material

##### 4.1.2.1 Spridning av brand

Lamberto Mazziotti (2016) pekar på en potentiell fara vid en intern brand i solcellsmodulen som kan ha långtgående konsekvenser för hela byggnaden. Risken är hög att branden sprider sig från solcellsmodulen till hela solcellsfasaden, vilket i sin tur kan accelerera spridningen av brand och brandgaser från fasaden och utgöra en fara för övriga delar av byggnaden. Detta scenario kan allvarligt äventyra byggnadens totala brandskydd och säkerhet. Alexander Elias påpekar också att dålig projektering kan leda till en risk för brandspridning i fasaden, vilket kan påverka utrymning och orsaka en omfattande fasadbrand<sup>4</sup>.

Enligt avsnitt 4.1.1.1, "Antändning av extern brand", kan solcellsfasaden antändas om branden startar inifrån byggnaden och sprider sig ut till solcellsfasaden. Branden kan sedan via solcellsfasaden spridas vidare till fler våningar och andra rum på samma våning. Det är också möjligt att nedfallande brinnande material från solcellsfasaden kan antända objekt nedanför den. Dessa faktorer kan påverka både evakuering och bekämpning av branden och kan även sprida sig till närliggande byggnader om tillräckligt mycket värmestrålning avges.

En undersökning genomfördes av Sepanski (2018) med syfte att jämföra det potentiella värmeutsläppet från 38 fotovoltaiska paneler med uppvärmning av olja. Panelerna bestod av ungefär 60 kg polymermaterial, och resultaten visade att polymererna genererade en värmeenergi på 46 MJ/kg, medan olja producerade 43 MJ/kg.

##### 4.1.2.2 Elchock

PV system kan generera ström mellan 600 – 1500 volt. Även vid låga nivåer utgör elchock från solcellsfasaden en risk för bland annat räddningstjänsten när de ska släcka bränder. När räddningstjänsten släcker bränder med vatten, som leder ström, riskerar de att få elchock. Solcellsfasader kan fortsätta att producera el även om en del av solcellsfasaden brinner, så länge den får solljus på sig (Rebecca Yang, 2022). Risk för elchock har även identifierats av Alexander Elias och Magnus Nyhage som en fara när man har solcellsfasader, både för de som utrymmer och räddningstjänsten<sup>56</sup>.

---

<sup>4</sup> Se bilaga B3 (intervju med Alexander Elias)

<sup>5</sup> Se bilaga B3 (intervju med Alexander Elias)

<sup>6</sup> Se bilaga B4 (intervju med Magnus Nyhage)

#### 4.1.2.3 Brandgasbildning och giftiga gaser

Brandgaser från en brand kan vara extremt farligt för människor eftersom det kan innehålla giftiga gaser och partiklar som kan skada hälsan. Brandgaserna kan irritera ögon, näsa och hals, och kan också leda till andningsproblem och lungskador. Dessutom kan brandgaserna begränsa sikten och göra det svårt att orientera sig, vilket kan försvåra evakueringen.

Studier har visat att solcellsmodulen producerar mycket brandgaser om den utsätts för höga värmeflöden (Chow CL, 2016). Det finns även studier som visar att om det uppstår ett elfel i solcellsmodulen och det blir någon form av antändning så kommer solcellsmodulen att producera brandgaser även om det ej finns några tecken på flamma (Monireh Aram, 2021).

Brand och brandgaser kan sprida sig in i byggnaden från solcellsfasaden vilket kan orsaka farliga scenarion för personer som befinner sig i byggnaden. Om solcellsfasaden går över flera rum så kan brand av solcellsfasaden sprida brandgaser in till flera olika rum, våningar och kan till och med göra så att evakueringsgångar och trappor blir blockerade med brandgaser (Rebecca Yang, 2022).

Tyvärr så finns det inte någon testmetod som bedömer hur mycket giftiga gaser som genereras från brand av solcellsmoduler (Rebecca Yang, 2022). Det har dock skett några undersökningar av hur mycket giftiga gaser som genereras vid brand av solcellsmodulen. Mängden toxiska gaser som produceras av solcellsmoduler är väldigt olika beroende på viken typ av solcell man använder och materialet som används som förseglingskydd och substrat (Monireh Aram, 2021). Vid brandtest av polyethylene trephthalate (PET) laminerade solcellspaneler observerades det produktion av toxiska gaser. Dessa gaser var bland annat vätefluorid, vätecyanid och hög koncentration av svaveldioxid. Enligt studien är PET ett material som används i de flesta solcellspaneler på marknaden (Baisheng Liao, 2020).

#### 4.1.2.4 Nedfall av material

När solcellsfasaden brinner kommer panelernas struktur att brytas ner och orsaka nedfallande, brinnande delar av solcellsfasaden om solcellsfasaden inte är klassad. Nedfallande material från en brinnande solcellsfasad är en fara för de som evakuerar byggnaden och räddningstjänsten (Rebecca Yang, 2022). Risk för nedfall av material identifierades även av Magnus Nyhage som en risk med integrerade solcellsfasader<sup>7</sup>.

## 4.2 Åtgärder

M. Waqar Akram (2022) har i samarbete med Guiqiang Li, Yi Jin och Xian Chen genomfört en djupgående studie om identifiering och begränsning av fel i solcellsmoduler. I det här avsnittet presenteras deras förslag till åtgärder för att åtgärda dessa fel.

Författarna föreslår att solcellspaneler ska följa standarderna IEC 61730 och ANSI/UL 1703, som innehåller krav på brännbarhet. Dessa standarder bör följas vid tillverkningen av solcellspaneler. De rekommenderar också att man testar för hotspot, solcellsmodulens förmåga att motstå brand och temperatur och att man utformar solcellsmoduler på ett sätt som minskar brandspridningen.

Förseglingsmaterialet bör inte bidra med ytterligare brännbart material, och material med de bästa brandreducerande egenskaperna bör användas i solcellsmodulens lager. Monteringsystem för moduler och ramar bör vara obrännbara.

---

<sup>7</sup> Se bilaga B4 (intervju med Magnus Nyhage)

Förekomsten av hotspot kan minskas genom regelbunden rengöring och underhåll av solcellsmodulen. För att minimera risken för kabelskador bör brandbeständiga kablar användas, eller så bör kablarna placeras i brandsäkra kanaler. Det kan också vara fördelaktigt att dra positiva och negativa kablar i separata ledningar för att minska risken för parallella ljusbågar. Vassa kanter bör undvikas vid kabelförläggning.

Korrekt jordning av solcellspanelen är viktigt för att undvika hotspots och ljusbågar. Strömbrytare bör installeras nära solcellsfasaden för att möjliggöra snabb avstängning av solcellspaneler för räddningstjänsten.

M. Waqar Akram (2022) rekommenderar att räddningstjänsten använder mörka skydd för att täcka solcellspaneler under en brand. Det måste dock utvärderas om detta tillvägagångssätt är praktiskt genomförbart.

Räddningstjänstens personal bör utbildas i att hålla ett säkert avstånd baserat på vattenflödes hastighet, munstycke, vattentryck etc. för att undvika elektriska stötar.

Vidare har de intervjuade respondenterna åtgärdsförslag. Sebastian Levin föreslår att det bör etableras en brandcellsgräns innanför solcellsanläggningen för att förhindra att brandspridning sker genom väggkonstruktionen och direkt in i våningsplanen. Sebastian Levin ser också en möjlig åtgärd i form av en stopp- eller barriäråtgärd som kan dela upp solcellsanläggningen så att branden inte sprids över flera våningsplan. För att mildra den ökade risken med solcellsfasader ser Sebastian Levin installation av sprinklersystem som en möjlig åtgärd. Han menar ej att sprinklersystem ska installeras i var och varannan byggnad utan i stället att det kan vara ett verktyg inom ramen för analytisk dimensionering för att reducera risk för brandspridning mellan brandceller. Andra mindre åtgärder som Sebastian Levin nämner är kontroller vid installation, se till att montörer väljer rätt material, såsom kontakter och kabelanslutningar, och förlägger kablagen på ett sätt så att det ej skadas. Undvika brännbart material nära kopplingsboxar eller växelriktare<sup>8</sup>. Alexander Elias uttryckte att det är viktigt att inte bara fokusera på solcellsfasaden utan även dess tillhörande komponenter. Till exempel har växelriktare hög brandfrekvens och det bör ses över hur dessa placeras, i vilka utrymmen de sitter i och vilka material de är placerade mot.<sup>9</sup> Peter Kovacs anser att solcellsfasader bör besiktas och att det ska finnas brandskyddsbeskrivningar av solcellsfasader som åtgärdsförslag. Peter tycker också att det ej ska få finnas polymerbaksidor på solcellsmodulerna<sup>10</sup>. Magnus Nyhage tycker det är viktigt att tydligt markera att byggnaden har en solcellsfasad så att insatser, speciellt på natten, blir säkrare genom att räddningstjänsten har koll på att fasaden har likström i sig. Vidare anser Magnus att en åtgärd för att mildra risker med solcellsfasader är för dom att genomgå tester i enlighet med relevanta standarder, exempelvis SP FIRE 105.<sup>11</sup>

---

<sup>8</sup> Se bilaga B1 (intervju med Sebastian Levin)

<sup>9</sup> Se bilaga B3 (intervju med Alexander Elias)

<sup>10</sup> Se bilaga B2 (intervju med Malin Unger och Peter Kovacs)

<sup>11</sup> Se bilaga B4 (intervju med Magnus Nyhage)



## 5 Resultat av litteratur- och intervjustudien

Kapitel 5 inleds med en genomgång av resultaten från litteratur- och intervjustudierna i avsnitt 5.1. Därefter följer en analys av dessa resultat i avsnitten 5.2 och 5.3.

### 5.1 Regelverk och rekommendationer

Följande kapitel går igenom resultatet av litteratur- och intervjustudien avseende regelverk och rekommendationer. Först presenteras nationella regelverk och rekommendationer, sedan internationella för att slutligen presentera en sammanställning av alla rekommendationer såväl nationella som internationella.

#### 5.1.1 Nationella regelverk och rekommendationer

Detta avsnitt går igenom nationella regelverk och rekommendationer som är applicerbara på solcellsfasader.

##### 5.1.1.1 PBF och PBL

Plan- och byggförordningen (PBF) är en samling bestämmelser som fastställs av regeringen och innehåller krav och riktlinjer för hur byggnader ska projekteras och byggas för att minimera risker för skador (Bygglovskonsulter, 2023). Plan- och bygglagen (PBL) innehåller regler om planläggning av mark och vatten samt byggande. Lagen och dess föreskrifter fastställer minimikrav på byggnader och tomter, som också gäller för vårdens byggnader och miljöer (Boverket, 2023).

En solcellsfasad måste som grund uppfylla de krav som står i Plan- och byggförordningen (PBF) 3 kap. 8 § (Plan- och byggförordning, 2011). Dessa krav är följande:

#### ***Egenskapskrav avseende säkerhet i händelse av brand***

*8 § För att uppfylla det krav på säkerhet i händelse av brand som anges i 8 kap. 4 § första stycket 2 plan- och bygglagen (2010:900) ska ett byggnadsverk vara projekterat och utfört på ett sätt som innebär att*

- 1. byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid,*
- 2. utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas,*
- 3. spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas,*
- 4. personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt, och*
- 5. hänsyn har tagits till räddningsmanskapets säkerhet vid brand.*

##### 5.1.1.2 BBR

Boverkets byggregler (BBR) omfattar föreskrifter och allmänna råd om somliga krav i plan- och bygglagen och plan- och byggförordningen. BBR omfattar tekniska egenskapskrav, utformningskrav och tomtkrav i PBL och PBF. BBR ansvarar för samhällets minimikrav på det som byggs. Byggherren ansvarar för att arbetet utförs i enlighet med PBL, PBF och BBR, och byggnadsnämnden prövar om kraven är uppfyllda (Boverket, 2021). Det råder oklarhet kring klassificeringen av solcellsfasader som en integrerad del av byggnaders klimatskal. Det är ännu inte fastställt om solcellsfasader kan anses vara en del av fasaden eller inte. Oavsett klassificering måste emellertid solcellsfasader uppfylla de krav som fastställs i Plan- och byggförordningen (PBF) 3 kap. 8 § (Boverket, 2020).

Om solcellsfasaden klassas som fasadbeklädnad ska solcellsfasaden uppfylla kraven enligt BBR 5:551 för Br1 byggnader och BBR 5:552 för Br2 och Br3 byggnader enligt nedan (Boverket, 2020):

#### ***5:551 Ytterväggar i byggnad klass Br1***

*Ytterväggar i byggnader i klass Br1 ska utformas så att*

1. den avskiljande funktionen upprätthålls mellan brandceller,
2. brandspridning inuti väggen begränsas,
3. risken för brandspridning längs med fasadytan begränsas,
4. risken för personskador till följd av nedfallande delar av ytterväggen begränsas.

#### Allmänt råd

Ytterväggskonstruktioner som vid provning enligt **SS-EN 13501-2** med brandpåverkan enligt kapitel 4.2 (standardbrandkurvan) uppfyller tillämpliga delar av kraven i avsnitt 5:531 på avskiljande funktion uppfyller föreskriftens krav i punkt 1. Ytterväggar som enbart innehåller material av lägst **klass A2-s1,d0** eller som avskiljs på ett sådant sätt att en brand inuti väggen hindras från att sprida sig förbi avskiljande konstruktion, uppfyller föreskriftens krav i punkt 2 på skydd mot brandspridning inuti väggen. Ytterväggar uppfyller föreskriftens krav i punkt 3 om de utförs i lägst **klass A2-s1,d0**. Som alternativ kan kraven uppfyllas med en fasadbeklädnad i lägst klass **D-s2,d2** och om något av följande villkor är uppfyllda

- byggnaden har högst två våningsplan,
- beklädnaden, oavsett byggnadens höjd, täcker endast byggnadens bottenvåning,
- byggnaden har högst åtta våningsplan och förses med automatiskt släcksystem samt att fasadytan i bottenvåningen utförs i material i lägst **A2-s1,d0**,
- byggnaden har högst åtta våningsplan och brännbart material av lägst klass **D-s2,d2** endast täcker en begränsad del av fasadytan.

Ytterväggar bör utformas så att kravet i punkt 4 uppfylls så att risken för nedfallande byggnadsdelar, såsom glassplitter, mindre putsbitar och liknande begränsas.

Ytterväggskonstruktion som klarar provning enligt **SP FIRE 105** med förutsättningarna nedan uppfyller punkt 2, 3 och 4 av föreskriften. För ytterväggar till byggnader med högst åtta våningsplan om det vid provningen visas att

- a) inga stora delar av fasaden faller ned, t.ex. stora putsstycken, plåtar eller glasskivor, vilka kan orsaka fara för utrymmande människor eller räddningspersonal,
- b) brandspridningen i ytskiktet samt inuti väggen begränsas till underkanten av fönster två våningar ovanför brandrummet, och
- c) inga yttre flammor uppträder som kan antända takfoten belägen ovanför fönstret två våningar ovanför brandrummet. Som likvärdigt kriterium gäller att gastemperaturen strax under takfoten inte överstiger 500 °C under en sammanhängande tidsperiod längre än 2 minuter eller 450 °C längre än 10 minuter.

För ytterväggar i byggnader med fler än åtta våningsplan gäller vid provningen förutom kriterierna a–c att ytterväggen inte ökar risken för brandspridning till annan brandcell i någon våning ovanför brandrummet. Som likvärdigt kriterium vid provning enligt **SP FIRE 105** gäller att det totala värmeflödet in mot fasaden i centrum av fönstret i våningen ovanför brandrummet inte överstiger 80 kW/m<sup>2</sup>. (BFS 2014:3).

#### **5:552 Ytterväggar i byggnader i klass Br2 och Br3**

*Ytterväggar, i byggnader i klass Br2 och Br3, ska utformas så att brandspridning längs fasadytan begränsas. (BFS 2011:26).*

Allmänt råd

*Fasadbeklädnader bör uppfylla kraven för **klass D-s2,d2**. (BFS 2011:26)*

Utifrån de allmänna råden kan man sammanfatta att kraven för Br1 byggnader enligt BBR 5:551 kan uppfyllas om solcellsfasaden antingen klassificeras som ett obrännbart material (klass A2-s1, d0) eller godkänns efter test av SP-Fire 105. Klassningen ”obrännbart material” A2-s1, d0 är gjort utifrån Boverkets brandklassningssystem som redovisas i tabell 2 och tabell 3. För Br2 och Br3 byggnader är kravet att fasadbeklädnaden bör lägst vara av klass D-s2, d2 (Boverket, 2019). Ett problem som har identifierats utifrån litteratur är att integrerade solcellsprodukter på marknaden är inte testade i enighet med SP FIRE-105 eller annat test som bevisar produktens obrännbarhet (Spånberg, 2020).

Tabell 2: Tabell över boverkets brandklasser

Huvudklass	Brandegenskap i ett rumsbrandtest (room corner)	Exempel byggprodukt på	Motsvarande äldre svensk benämning
A1	Ingen övertändning med 300 kW tändkälla	Sten, betong, viss mineralull	Obrännbart
A2	Ingen övertändning med 300 kW tändkälla	Mineralull, obehandlad gipsskiva med tunt ytskikt	Obrännbart
B	Ingen övertändning med 300 kW tändkälla	Målad gipsskiva	Klass I
C	Ingen övertändning med 100 kW tändkälla	Gipsskiva med normal paperstapet	Klass II
D	Övertändning efter 2 minuter med 100 kW tändkälla	Obehandlad träpanel	Klass III
E	Övertändning inom 2 minuter med 100 kW tändkälla	Vissa typer av cellplast	Svårantändligt
F	-	-	-



Tabell 3: Brandklasser enligt BBR 5:231

Brandklass	Beskrivning
s1	Byggnadsdelen får avge mycket begränsad mängd med brandgaser.
s2	Byggnadsdelen får avge begränsad mängd med brandgaser.
s3	Inget krav på begränsad produktion av brandgaser.
d0	Brinnande droppar eller partiklar får inte avges från byggnadsdelen.
d1	Brinnande droppar eller partiklar får avges i begränsad mängd.
d2	Inget krav på begränsning av brinnande droppar och partiklar.

Boverket har publicerat information på sin hemsida som behandlar hur kravet enligt punkt 5 i PBF 3 kapitel 8 § kan uppfyllas för att säkerställa räddningstjänstens säkerhet vid en räddningsinsats. En av de identifierade riskerna är att solcellsfasader kan orsaka skador på människor genom att bitar kan falla ner från fasaden. En annan risk är att solcellsfasaden kan fortsätta att producera el, även om den brinner, vilket kan utgöra en fara för elchock vid släckningsarbete. För att minimera dessa risker föreslår Boverket att en lämplig åtgärd kan vara att installera system som möjliggör för att bryta strömmen till solcellsfasaden (Boverket, 2020).

#### 5.1.1.3 Installation

Solcellsinstallationer måste följa behörighetskrav som ställs på personer som utför starkströmsinstallationer. Enbart en elinstallatör eller en yrkesman som övervakas av en elinstallatör, och som har givits tillstånd av Elsäkerhetsverket, får utföra installationsarbetet. Elinstallationsförordningen (1990:806) innehåller allmänna råd samt föreskrifter som justerar behörigheten för elinstallatörer, inklusive utbildningskrav och praktisk erfarenhet till att genomföra installationsarbete på fastighet med elektricitet.

Allmän behörighet krävs vanligtvis för att genomföra solcellsinstallationer. Även om det krävs exempelvis en auktoriserad installatör noteras brister i fyra av fem solcellsanläggningar vid besiktningar, till exempel oskyddade kablar eller felaktigt placerade (Spånberg, 2020).

#### 5.1.1.4 Räddningstjänstens rekommendationer

Flera svenska räddningstjänster noterade snabbt att solcellsanläggningar kunde innebära en arbetsmiljörisk vid insatser, på samma sätt som andra typer av starkströmsanläggningar. Som en följd av detta integrerade räddningstjänster runt om i Sverige projektering av solcellsanläggningar i sina riktlinjer och rekommendationer för byggprojekt i kommunen (Daniel Rådemar, 2021). Ludwig Spånberg (2020) har sammanställt dessa rekommendationer från varje räddningstjänsterna efter antal rekommendationer i en tabell som visas nedan:

Tabell 4: Sammanställning av räddningstjänstens rekommendationer (Spånberg, 2020).

Rekommendation/riktlinje	Antal räddningstjänster (tot. 21 st)
Placering av växelriktare	20
Säkerhetsbrytare/brandmannabrytare för likström	21
Indikation vid placering av manöverdon	8
Optimerare	20
Likströmskablar ska förläggas synligt	13
Montering på obrännbart material	7
Åtgärder för ras vid brand	9
Möjlighet för håltagning ska beaktas	20
Ej installation i nära anslutning till förvaring av brandfarliga/explosiva varor	5
Byggnaden ska skyltas tydligt	21
Kontaktuppgifter till anläggningskunnig	17
Krav på tekniskt informationsunderlag vid större anläggningar	19
Insatsplan vid större anläggningar	13

Viktigt att notera är att dessa rekommendationer är gjorda utifrån ett perspektiv att solcellsininstallationen är placerad på byggnadens tak. Dock är de lämpliga rekommendationerna applicerbara även på fasad (Stockholms brandförsvaret, 2019). Det är också viktigt att nämna att denna tabell sammanställdes av Ludwig 2020 och rekommendationerna från räddningstjänsten kan vara annorlunda nu efter 3 år 2023.

### 5.1.2 Internationella regelverk, rekommendationer och standarder

Det finns internationella standarder som till exempel IEC 61730, IEC 61215 och UL1703 som försöker standardisera kraven på solcellsfasader internationellt. Det finns också en europeisk standard, EN 50583, som försöker standardisera kraven på solcellsfasader inom EU. Eftersom dessa bara är standarder har de inte någon direkt regelmässiga krav om de ej har hänvisats till i reglerna. Reglerna som finns för byggnadsintegrerade solcellsfasader är därför baserat på nationella eller regionala regler för varje land (Pierluigi Bonomo, 2018). Det följande avsnittet avser att identifiera relevanta standarder och länder vars regler och riktlinjer är av intresse för att undersöka regler avseende solcellsfasader.

Valet av vilka länder vars standarder och regler som undersöks i rapporten baseras på tre primära faktorer. För det första, mängden solenergi som produceras i landet, vilket erhålls från data i rapporten "Snapshot of Global PV Markets" (International Energy Agency, 2022). För det andra, bedöms landet ha tillräckligt med information och forskning inom området. Eftersom solcellsfasader är en relativt ny teknik finns det inte många länder som har publicerat forskning, regler och rekommendationer för denna teknik. Därför är den tredje faktorn om landet har publicerat information om solcellsfasader och har tillräckligt med forskning och reglering inom området.

#### 5.1.2.1 Standarder

Integrerade solcellssystem måste följa två uppsättningar standarder och regler. Den första uppsättningen gäller byggspecifikationer, som vanligtvis regleras av lokala byggnadsregler och globala (ISO) standarder. Den andra uppsättningen gäller elektriska specifikationer, som omfattar globala (IEC)

standarder och obligatoriska lokala bestämmelser. Solcellsprodukter måste godkännas av testcenter och laboratorier i enlighet med befintliga internationella standarder. Eftersom solcellsprodukter som är anpassade för integrering i byggnader fortfarande är en relativt liten marknad finns det för närvarande inga enhetliga standarder för testning av dem (Fedorova, 2020).

En rad olika BIPV-relaterade standarder har utvecklats för att hantera de unika utmaningarna och kraven för att integrera solcellsteknik i byggnadsstrukturer. Dessa standarder omfattar följande (Yoon Ko, 2023):

- EN 50583 (European Standard)
- IEC 63092 (International Electrotechnical Commission)
- ANSI/UL 1703 (American National Standards Institute/Underwriters Laboratories)
- ISO/TS 18178 (International Organization for Standardization/Technical Specifications)
- IEC/UL 61730
- EN/IEC 61215
- IEC TR 63226

Både EN 50583 och IEC 63092 är standarder som är uppdelade i två delar. Den första delen täcker solcellen som modul medan den andra delen täcker solcellen som system. UL 1703 beskriver krav för solceller som är monterade på byggnader, integrerade i byggnader eller fristående. ISO/TS 18178 specificerar materialkrav på laminerat solcellsglas. EN/IEC 61215 och IEC/UL 61730 behandlar elektriska krav. IEC TR 63226 är till för att reducera brandrisk. Den ger generella rekommendationer för saker som riskvärdering, hur solcellssystemet ska designas för att motverka brand, rekommendationer för riskvärdering och hur solcellssystemet kan designas för att underlätta räddningstjänstens arbete.

RMIT Solar Energy Application Lab har gjort en global databas över integrerade solcellsprodukter med 218 solcellsprodukter från 34 tillverkare. Det visade sig att 81% av tillverkarna använder sig av standarden IEC61730, 15% av UL 1703 och 4 % av EN13501-1 (som används som referens i EN 50583) när de utförde tester på solcellsprodukterna (Rebecca Yang, 2022). IEC61730 har en rad olika krav på brandtester som måste genomföras för solcellssystemet för att säkerställa säker användning. Testen inkluderar saker som test mot vanliga orsaker till brand, hot-spot, höga temperaturer och även tester som hur antändningsbart solcellssystemet är och brandresistans (Yoon Ko, 2023).

Standarden SS-EN 50583 anger krav på solcellsfasader och är en svensk version baserad på den europeiska standarden EN 50583. EN 50583 är en europeisk standard som kom ut 2016 som klassificerar BIPV i specifika kategorier och definierar väsentliga krav för att BIPV-produkter ska uppfylla byggspecifikationerna. EN 50583 koncentrerar sig på elektriska och konstruktionsrelaterade förutsättningar och omfattar byggprodukter som innehåller eller inte innehåller glastrutor, märkning, systemdokumentation, driftsättningstester och inspektionsmandat (Fedorova, 2020). Bland de konstruktionsrelaterade förutsättningarna ställer EN 50583 krav på att säkerhet i händelse av brand för solcellsmodulen (SEK Svensk Elstandard, 2016). PVsites har gjort en djupgående studie där de jämför befintliga standarder med standarden EN 50583. Resultaten från studien visade att EN 50583 utgör en bra kompromiss för certifiering av BIPV-produkter (PVsites, 2016).

Standardiseringen av BIPV har gjort stora framsteg med införandet av standarden EN 50583 2016, Det krävs dock ytterligare arbete för att utveckla harmoniserade standarder och testförfaranden för BIPV-produkter, eftersom den information som tillhandahålls av tillverkarna ofta är otillräcklig för en sömlös integrering i byggnadssektorn (Fedorova, 2020).

#### 5.1.2.2 Olika länders regelverk och rekommendationer

Detta kapitel går igenom de olika länderna som har undersökts i litteraturstudien och vad de har för regelverk, rekommendationer.

#### 5.1.2.2.1 Tyskland

De följande grundläggande reglerna för brandskydd i Tyskland är (BSW-solar, BFSB, Berufsfeuerwehr München, DGS, ZVEH, 2012):

- Förhindra att brand uppstår
- Förhindra brandspridning både i byggnad och till andra närliggande byggnader
- Möjliggöra räddning av människor och djur vid brand
- Möjliggöra släckningsarbete

Den huvudsakliga lagen som kan appliceras för solcellspaneler i Tyskland är §14 i ”Model Building Regulation” (MBO) och lyder (Klaus Prume, 2018):

*Structural installations shall be arranged, erected, modified and maintained so as to prevent the emergence of a fire and the spread of fire and smoke and to enable in the event of a fire the rescue of human beings and animals as well as effective fire extinguishing operations.*

Resultatet från en studie från 2022 visade att Tyskland är det land i Europa som producerar mest watt genom solenergi och ligger på femte plats i världen (International Energy Agency, 2022). Erfarenheterna av solcellsinstallationer i Tyskland har varit omfattande och Tysklands forskning av riktlinjer och rekommendationer för att garantera en trygg installation och pålitlig drift har varit mer omfattande än Sveriges.

Prume och Viehweb (Klaus Prume, 2018) har gjort en djupgående rapport där de analyserar rekommendationer, regler och standarder för solceller i Tyskland. Rapporten är baserad på 3 års studier med samarbeten mellan solpanelsexperten, yrkesföreningar, industrier, räddningstjänster, installationsföretag och försäkringsföretag. Utifrån denna studie har de listat upp en rad rekommendationer som de anser är lämpliga för att minska risker med solcellspaneler. Dessa är följande:

- Genom tredjeparts, regelbundet testa solpanelssystemet både vid initiering och sedan med jämna mellanrum.
- Utbildning för installatörer

Räddningstjänst:

- Vid entré för byggnaden ska det sättas upp varningsskyltar för att visa att byggnaden har solpaneler enligt regeln VDE-AR2100-712. Detta för att räddningstjänsten ska vara medvetna om att byggnaden har solpaneler och att dessa är elektriskt aktiva.
- Enligt regeln VDE-AR2100-712 måste det finnas en allmän karta vid elsystemet så att räddningstjänst snabbt kan se vart alla komponenter för solcellssystemet är i byggnaden.
- Räddningstjänsten bör vara informerad om att om de använder minst 5 m full jet eller 1 m sprayjet så är det ingen fara för elchock. De ska också informeras om att använda vatten som släckningsmedel istället för skum då skum leder ström bättre.

Kablar/Ström:

- Det rekommenderas att det ska finnas en strömbrytare för solcellspanelen men det finns inga krav på detta.
- DC kablar som är över 1 meter ska i så stor utsträckning som möjligt ledas utanför byggnaden eller genom brandskyddad ledningar.
- Elkablar ska ej ledas över brandväggar utan brandisolering.

#### 5.1.2.2.2 Australien

I Australien finns regler för byggnader i deras National Construction Code (NCC). Denna kan jämföras med Svenska Plan och bygglagen. National Construction Code regleras av Australian Building Codes Board (ABCB) i uppdrag av den Australienska regeringen vilken kan likna Sveriges Boverket (Australian Building Codes Board, 2023).

I Australien får tillämpningen av BIPV inte inverka negativt på kraven på brand- och livssäkerhet för boende, brandmän och byggnader. Detta är lagstadgat i den Australienska byggnadsordningen (NCC).

NCC klassar byggnader i tre olika kategorier beroende på deras brandbeständighet från A-C. A är konstruktionen med bäst brandbeständighet medan C har sämst och B är ett mellanting.

För att uppnå kraven som står i NCC måste dels deras "Governing requirements of the NCC" uppfyllas och "Performance Requirements". "Governing requirements of the NCC" säger i enkel form att man ska följa det som står i NCC. "Performance Requirements" är olika krav som måste uppfyllas för att en byggnad ska vara i enighet med NCC (National Construction Code, 2019). Dessa kan jämföras som kraven i boverkets byggregler.

"Performance Requirements" kan antingen uppnås genom "Performance Solution", "Deemed-To-Satisfy Solution" eller en combination av båda. "Deemed-To-Satisfy Solution" är allmänna råd från ABCB om hur deras "Performance Requirements" kan uppnås. "Performance Solution" är alternativa lösningar till "Deemed-To-Satisfy Solution" som kan jämföras som Sveriges analytiska dimensionering (National Construction Code, 2019).

Precis som i boverkets byggregler finns det inte specifika allmänna råd för solcellsfasader i NCC. Eftersom solcellsfasader är en del av fasaden måste de följa reglerna som gäller för fasad. De allmänna råd i NCC som är applicerbara för solcellsfasad är: C1.9(a)(i), C1.14(a), C2.6, C2.12 och C2.4 med specifikation C.1.1. Dessutom verifikationsmetod CV3 i NCC (YANG, HUI, JOHANSSON, LE, & ZANG, 2021).

Eftersom det ej finns specifika allmänna råd för hur solcellsfasader ska projekteras så behöver analytisk dimensioneras göras. De görs genom att uppfylla "Performance Requirements" CP2 och CP4 (YANG, HUI, JOHANSSON, LE, & ZANG, 2021). CP2 handlar om att minska spridningen av brand och CP4 handlar om att göra säker evakuering möjlig (National Construction Code, 2019).

En analytisk dimensionering måste kunna uppfylla kraven för både CP2 och CP4. Enligt A2.2 kan man använda en eller flera av följande metoder för att säkerställa att kraven är uppfyllda: att visa bevis på att både CP2 och CP4 uppfylls, använda en verifieringsmetod, genomgå en expertbedömning eller jämföra med de allmänna råden (National Construction Code, 2019)

I rapporten (YANG, HUI, JOHANSSON, LE, & ZANG, 2021) hänvisas till att standarderna AS/NZS 5033:2014 och AS 5033:2014 bör beaktas när man använder integrerade solceller. Enligt dessa standarder bör installation och design uppfylla AS/NZS 5033:2014, medan märkning och skyltning av solcellssystemet bör uppfylla AS 5033:2014.

Enligt rapporten (YANG, HUI, JOHANSSON, LE, & ZANG, 2021) bör byggnadsintegrerade solceller genomgå tester för att ta fram data som inkluderar brandmotstånd, reaktion på brand (inklusive antändningstemperatur, kritiskt värmefflöde, antändningstid och brandgasgenerering), flamspridning och flambeteende. Denna data kan sedan användas av en brandingenjör för analytisk dimensionering för att uppfylla CP2 och CP4.

#### 5.1.2.2.3 Schweiz

Solcellspanelers reglering i Schweiz faller under domänen av "Swiss Association of Cantonal Fire Insurance Underwriters (VKF)", som ansvarar för att fastställa och administrera riktlinjer för brandsäkerhet. VKF:s regelverk omfattar omfattande normer och direktiv för brandskydd, tillsammans med förklaringar och vägledande dokument. Dessa dokument, som fungerar som generella rekommendationer parallella med VKF:s specifika föreskrifter, kallas memorandum. Detta tillvägagångssätt liknar de svenska allmänna råden och bidrar till att tolka och följa VKF:s regelverk (Pierluigi Bonomo, Fire safety of BIPV facades, 2018).

VKF har följande grundläggande mål för att uppnå brandsäkra byggnader (Pierluigi Bonomo, 2018):

- Skydda både människor och djurs säkerhet
- Minska potentiella risker för bränder, explosioner, brandspridning, överhettning och brandgasbildning
- Begränsa brandspridning till närliggande byggnader
- Garantera att räddningspersonalen kan agera utan hinder och i en säker miljö.

Ett särskilt memorandum från VKF (2017) innehåller övergripande riktlinjer för solcellsinstallationer och framhäver följande säkerhetsmål:

- Eftersom solcellsinstallationer medför en ökad brandrisk bör brandskyddsmålen även tillämpas på dessa installationer.
- De befintliga brandskyddsnormerna bör i huvudsak efterföljas.
- Solsystem får inte påverka brandskyddsanordningar negativt, såsom brandväggar.
- BIPV måste följa reglerna som står i 14–15 i VKF om krav på byggnadsmaterial.

De tidigare nämnda punkterna understryker vikten av att solcellsfasader följer de riktlinjer och krav som gäller för fasader och dess konstruktionsmaterial enligt VKF 13–15 (VKF, 2016) samt 14–15 (VKF, 2016)

Memorandumet i VKF (2017) presenterar följande åtgärdsförslag för att minska brandrisken:

- När solcellsfasaden är större än  $1200 \text{ m}^2$ , ska det underliggande materialet vara RF1, vilket motsvarar obrännbart material och Euroklass A1.
- Solcellsfasaden måste vara separerad från brandfarliga rum. Exakt vad som räknas som brandfarligt rum uttrycker ej VKF.
- Det får ej ske spridning över brandvägg genom solcellsfasaden.

VKF-memorandumet etablerar riktlinjer för de villkor under vilka räddningstjänsten kan hantera en brandsituation. Memorandumet fastställer att räddningstjänsten ska kunna rädda liv, säkra området och släcka branden utan solcellsfasaden hindrar räddningsarbetet. Följaktligen är det av avgörande vikt att solcellsfasaden inte ökar brandrisken (VKF, 2017).

Som allmänt råd för att underlätta en framgångsrik insats från räddningstjänsten bör solcellsfasaden vara tydligt skyltad och märkt. Detta inkluderar att ha markeringar som indikerar närvaron av en solcellsfasad på byggnaden, en översiktskarta över solcellssystemet och markeringar i enlighet med SN 411000 (NIBT), 7.12.5.1 (VKF, 2017).

Utöver ovanstående memorandum så har inte Schweiz några särskilda krav på specifikt solcellsfasader. Kraven som finns på solcellsfasader är därför de krav som finns för övriga byggnadsfasader i 13–15 (VKF, 2016) och 13-15 (VKF, 2016). De krav, föreskrifter och provningsmetoder som faktiskt gäller för solcellsfasader i Schweiz är sådana som även gäller för traditionella fasader. Pierluigi skriver i rapporten (Pierluigi Bonomo, 2018) att detta kan leda till problematik då solcellsfasader skiljer sig mot traditionella fasader.



#### 5.1.2.2.4 Italien

Italiens nationella brandförsvaret har gett ut vägledning om hur man ska minska brandrisken med solcellssystem. Deras vägledning innehåller tekniska krav för solcellssystem för att förhindra bränder. Dessa krav omfattar användning av obrännbara material för solcellssystemets bärande konstruktioner, installation av systemet på ett sätt som förhindrar att branden sprider sig till byggnaden, säkerställande av att modulerna och de elektriska ledningarna inte blockerar utrymningsvägarna och installation av systemets likströmsdel, inklusive växelriktaren, utanför områden som klassificeras som farliga. Dessutom bör systemet ha en nödkontrollanordning som kopplar bort elsystemet i händelse av en nödsituation, och det bör kontrolleras att de bärande konstruktionerna uppfyller de nationella brandsäkerhetsnormerna (Ing. Mauro Malizia, 2012).

#### 5.1.2.2.5 Dubai

Dubai Electricity & Water Authority (2015) har gjort en rapport vid namn "PV ON BUILDINGS AND FIRE SAFETY: RECOMMENDATION FOR DRRG SOLAR PV SYSTEMS" som innehåller rekommendationer om hur brandrisker med solcellssystem kan minskas. De har tagit inspiration från andra länder som har mycket erfarenhet med solcellssystem, Tyskland och Italien för att strukturera deras regler och rekommendationer. Dubai har följande mål:

- Solcellssystem och deras komponenter ska inte vara en brandorsak.
- Om en brand börjar på grund av solcellssystemet ska det ej spridas in i byggnaden.
- Oavsett vad som orsakar branden ska solcellssystemet ej påverka byggnadens brandskydd.

I Dubais regelverk, "UAE Fire & Life Safety Code of Practice", kategoriseras byggnader baserat på höjd och brandrisk. Byggnader delas in i tre byggnadsklasser: låg, medel och hög. Vidare klassificeras byggnader utifrån tre olika nivåer av brandrisk: låg, normal och hög. Klassificeringen baseras på olika egenskaper hos byggnaden, exempelvis material och dess brandegenskaper (Dubai Electricity & Water Authority, 2015).

Utifrån klassificeringen för brandrisk dimensioneras brandskyddet för respektive byggnad. Byggnader som klassificeras som normal brandrisk har vanligtvis material där förbränningen sker i medelhög hastighet, såsom mattor, böcker, datorer, plast, sjukhusutrustning, trä och liknande. Byggnader som klassas som hög brandrisk inkluderar sådana där brandfarliga vätskor och gaser lagras, såsom batteriförvaring och förvaring av kemikalier (Dubai Electricity & Water Authority, 2015).

Dubai rekommenderar att solcellsmoduler bör testas enligt standarden IEC 61730-2 med brandtest MST 23 som utifrån brandtestet, klassificerar solcellsmodulens brandmotstånd. Klassificering av brandmotstånd går från A till C där A är högst och C lägst. Klass A eller B måste en integrerad solcellsmodul uppnå men detta är beroende på byggnadens byggnadsklass och brandrisk (Dubai Electricity & Water Authority, 2015).

Dubai har fastställt ytterligare rekommendationer som ska efterföljas vid installation av solcellssystem (Dubai Electricity & Water Authority, 2015):

- Komponenter och utrustning som installeras invändigt eller utvändigt får inte på något sätt hindra de befintliga nödutgångarna. Detta är viktigt för att garantera att nödutgångarna är lätta att nå och använda i händelse av en nödsituation.
- För byggnader med normal eller hög brandrisk ska det finnas ett manuellt nödsystem för att koppla bort solcellssystemet från byggnadens interna elanläggning. Detta kommer att underlätta för räddningstjänsten att släcka eventuell brand och minska risken för skador.
- En karta över placeringen av solcellssystemet och dess komponenter ska placeras i närheten av den huvudsakliga energimätaren. Detta kommer att underlätta för elinstallatörer och

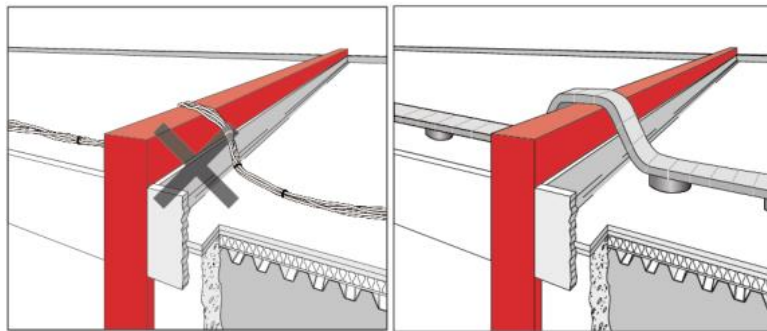
underhållspersonal att hitta och identifiera alla solcellskomponenter i systemet men även för räddningstjänsten.

- Byggnaden bör markeras med varningssymbol som talar om att det finns ett solcellssystem i byggnaden. Detta är viktigt för att informera besökare och räddningspersonal om att det finns en annan kraftkälla i byggnaden, vilket kan vara viktigt vid en eventuell nödsituation.

#### 5.1.2.3 CFPA-E Guidelines

Confederation of Fire Protection Associations Europe (CFPA-E) är en europeisk organisation som samordnar och främjar samarbetet mellan nationella organisationer som arbetar med brandskydd. Organisationen består av en rad olika medlemsorganisationer från olika europeiska länder, inklusive branschorganisationer, myndigheter och andra organisationer med intresse för brandskydd. För att uppnå en liknande tolkning av riktlinjer har CFPA-E (Confederation of Fire Protection Associations in Europe) gjort en guide som innehåller bästa praxis utvecklat från länderna i CFPA-E (CFPA EUROPE, 2023). Guiden rekommenderar för brandsäkerhet av solceller och de som är applicerbara för solcellsfasad är följande:

- Brännbara komponenter från solcellssystemet t.ex. kablar får ej passera över brandväggar. Om de passerar över brandväggar måste kablarna placeras i brandsäkra kabelkanaler, se figur 8.



Figur 8: Brandsäkra komponenter över brandvägg (CFPA-E, 2018).

- Solcellsfasader måste uppfylla samma lokala byggnadsbestämmelser som resterande del av fasaden, när det gäller begränsning av brandspridning längs fasaden.
- CFPA-E rekommenderar regelbundna kontroller för att säkerställa problemfri drift av solcellsfasaden.
- För att säkerställa säkerheten för räddningstjänsten rekommenderas det att det finnas möjlighet att enkelt bryta strömmen från solcellsfasaden. Det är också lämpligt att tydligt skylta att byggnaden har en solcellsfasad och att ge räddningstjänsten information om var strömbrytaren är belägen.

### 5.1.3 Sammanställning av rekommendationer

Utifrån informationen som presenteras i avsnitt 5.2 gör en sammanställning i detta avsnitt.

#### 5.1.3.1 Kontroll och installation

Enligt tyska rekommendationer bör solcellssystem regelbundet testas genom en tredjepartsbedömning, både vid installation och med jämna mellanrum. CFPA-E Guidelines stöder också denna rekommendation. Dessutom rekommenderar Tyskland att installatörer av solcellssystem bör ha rätt utbildning. Även om det krävs godkännande från Elsäkerhetsverket för att bli en elinstallatör i Sverige,



har fyra av fem installationer av solcellssystem brister. Därför kan det vara nödvändigt att översyn av processen vid tillståndsgivning genomförs och följa Tysklands rekommendationer om utbildning och tester av installationer. I Australien rekommenderas att installation av solcellssystem sker i enlighet med AS/NZS 5033:2014.

#### *5.1.3.2 Märkning och information om solcellssystem*

Enligt tyska rekommendationer bör varningsskyltar sättas upp vid byggnadsentrén för att indikera att byggnaden har en solcellsfasad. Dessutom rekommenderar Tyskland att en allmän karta över elsystemet ska finnas tillgänglig för att visa placeringen av alla solcellssystemkomponenter i byggnaden. Australien har också liknande rekommendationer med krav på märkning och skyltning enligt standarden AS 5033:2014. Schweiz rekommenderar också tydlig märkning och skyltning av solcellsfasaden för att underlätta för räddningstjänsten och kräver att en orienteringskarta över solcellssystemet finns tillgänglig. Dubai rekommenderar även en orienteringskarta över solcellssystemets komponenter och tydlig märkning av solcellssystemet. Dessutom rekommenderar CFPA-E Guidelines märkning och skyltning av solcellssystemet. I Sverige rekommenderar 19 av 21 räddningstjänster krav på tekniskt informationsunderlag vid större solcellsanläggningar, och samtliga 21 undersökta räddningstjänster rekommenderar tydlig skyltning av byggnader med solcellssystem.

#### *5.1.3.3 Utbilda räddningstjänst*

Enligt tyska rekommendationer bör räddningstjänsten utbildas för att vara medveten om vilken typ av släckningsmedel och stråle som rekommenderas för att minska risken för elchock vid släckningsarbete i byggnader med solcellssystem. Dessutom rekommenderar 13 av 21 undersökta räddningstjänster i Sverige att det bör finnas en insatsplan vid större solcellsanläggningar för att minska risken för skador och förlust av egendom vid brand eller andra olyckor.

#### *5.1.3.4 Strömbrytare*

Tyskland rekommenderar att det ska finnas strömbrytare till solcellssystemet för att säkerställa en säker och effektiv hantering av elsystemet. Italien rekommenderar också att det ska finnas en slags nödkontrollanordning som kopplar bort elsystemet i händelse av en nödsituation. På samma sätt ställer Dubai rekommendationer på att byggnadens solcellssystem ska kunna kopplas bort från byggnadens interna elanläggning. Precis som Tyskland, Italien och Dubai, rekommenderar även CFPA-E Guidelines att det ska finnas en strömbrytare till solcellsanläggningen. Dessutom rekommenderar samtliga 21 räddningstjänster i Sverige att det bör finnas en strömbrytare tillgänglig för att säkerställa en säker hantering av solcellssystemet.

#### *5.1.3.5 Kabeldragning*

Tyskland rekommenderar att kablar över 1 meter ska i så stor utsträckning som möjligt ledas antingen utanför byggnaden eller i barnskyddande ledningar.

#### *5.1.3.6 Installation vid brandvägg*

Enligt tyska rekommendationer bör kablar inte ledas över brandvägg utan att brandisolerats för att minimera riskerna för brand. CFPA-E Guidelines stöder också denna rekommendation, men med tillägget att inga brännbara komponenter från en solcellsfasad får passera över brandväggar. Schweiz rekommenderar också att spridning över brandvägg inte får ske genom solcellsfasaden för att säkerställa en hög brandsäkerhet.

#### *5.1.3.7 Tester*

Enligt australiska rekommendationer bör byggnadsintegrerade solceller genomgå applicerbara tester för att samla in data som kan användas vid projektering genom analytisk dimensionering av byggnadsintegrerade solceller. Detta liknar Sveriges rekommendationer, där solceller bör testas för att fastställa brandklassificering. Dubai rekommenderar att solcellsmoduler ska testas enligt standarden IEC 61730-2 med MST 23-brandtest. Likt Sverige bör solcellsmodulen klassificeras enligt testresultaten, och bedömas om den är lämplig att användas i respektive byggnadsklass.

#### 5.1.3.8 *Möjlighet för utrymning*

Både Italien och Dubai inkluderar i sina rekommendationer att solcellsfasaden inte bör blockera eller hindra utrymningsvägar på något sätt för att säkerställa en hög nivå av brandsäkerhet och nödsituationer.

#### 5.1.3.9 *Brandfarliga rum*

Schweiz skriver i deras rekommendationer att solcellsfasader bör placeras åtskilt från utrymmen där risken för brand är hög. Det innebär att solcellsfasaden bör undvikas i närheten av områden där brand lätt kan uppstå eller sprida sig. Detta kan till exempel vara rum där brandfarliga varor lagras till exempel vätskor eller gaser. Att installation inte ska ske nära förvaring av brandfarliga varor rekommenderas av 5 av 21 räddningstjänster i Sverige.

#### 5.1.3.10 *Rekommendation av solcellsfasaden som byggnadsprodukt*

Sverige har, som tidigare nämnts, olika allmänna råd för solcellsfasader som byggnadsprodukt beroende på om de ska användas för Br1, Br2 eller Br3 byggnader. Schweiz har däremot endast som rekommendation att solcellsfasader som byggnadsprodukt bör klara av höga temperaturer under en längre tid om de befinner sig i en miljö högre än 85 °C. Italien har, likt Sverige, rekommendationer om att solcellsfasaden bör vara av obrännbart material. Dock har Sverige detta för Br1 byggnader medan Italien har detta som generell rekommendation för alla typer av byggnader. I Schweiz rekommenderar de i stället att om solcellsfasaden är större än 1200 m<sup>2</sup> ska det underliggande materialet av solcellsfasaden vara av obrännbart material.

## 5.2 *Problematik med solcellsfasader*

Detta kapitel går igenom den problematik som har identifierats genom rapportens intervju- och litteraturstudie. Kapitlet går över både brandteknisk problematik, problematik när det kommer till hur solcellsfasader bör regleras och övriga problem med solcellsfasader som har identifierats genom arbetets gång.

Solcellsfasader är en ny unik risk där man integrerar en brandrisk i fasaden. Finns hög risk att branden sprider sig över brandcellsgränser om inte projekteringen sker på rätt sätt anser Sebastian Levin<sup>12</sup>. Risken för brand är 20 gånger större än för traditionella applicerade solceller och detta motiveras till att vara på grund av att man integrerar en brandrisk i fasaden. Vidare motiveras det vara på grund av att integrerade solceller är en ny teknik och att den måste både uppfylla funktion som byggnadsmaterial och brandsäkerhet (Mikalsen, 2019). Det ska även sägas att det är svårt att kvantifiera orsakerna till brand för solcellsfasader på grund av att solcells företag ej publicerar rapporter av brandtillfällen (Smith, 2015).

Peter Kovacs tycker att brandbesiktning av solcellsfasader är problematiskt. Detta eftersom det är oklart om det ska ske innan eller efter att anläggningen har applicerats och om det sker efter hur det ska genomföras. Det kan bli svårt att genomföra en brandbesiktning efteråt eftersom möjligheterna att inspektera solcellsanläggningen efter att den har installerats är begränsad. Han berättar också om att brandbesiktningen i vissa fall helt försummas<sup>13</sup>. Malin Unger påpekar även att en vanlig orsak till bränder i solcellsanläggningar är installationsfel. Denna observation bekräftas även i litteraturen. Problematiken är att bristen på möjlighet att inspektera installationen kan förvärra problemet<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> Se bilaga B1 (intervju med Sebastian Levin)

<sup>13</sup> Se bilaga B2 (intervju med Peter Kovacs)

<sup>14</sup> Se bilaga B2 (intervju med Malin Unger)

En annan aspekt som Malin Unger tar upp är den oförmåga att byta ut solcellsfasadprodukter, vilket kan skapa problem om det uppstår en defekt. Tyvärr är det svårt att hitta ersättningsprodukter, vilket kan leda till att byggherren står kvar med en obrukbar fasad<sup>15</sup>.

Sebastian Levin och Malin Unger nämnde problem med att det finns brist på vedertagna lösningar när det gäller solcellsfasader. Detta diskuterades bero på att solcellsfasader är en ny teknik och att forskning och därmed vedertagna lösningar inte hunnit komma i kapp. Dagens byggregler är väldigt öppna, funktionsriktade och det finns ej specifika krav för just solcellsfasader. Detta gör att brandsäkerheten i olika byggnadsprojekt troligtvis varierar menar Sebastian Levin. Vidare säger Malin Unger att de öppna kraven leder till att det krävs lång erfarenhet om man enbart ska förhålla sig till BBR för att göra bra projektering på grund av att det blir mycket tolkningsfrågor. Det gör också att det blir problematiskt för oerfarna projektörer. De befintliga kraven på ytterväggar tar ej hänsyn till den unika risken från solcellsfasader. På grund av att det inte finns tillräckligt med lagstöd och referensobjekt så blir det höga krav och stort ansvar för projektören vilket leder till höga kostnader för byggaren vilket är problematiskt<sup>16</sup>. Alexander Elias berättade att han också tycker att dagens byggregler är väldigt öppna och det blir mycket tolkningsutrymme som ställer höga krav på projektören. Han påpekade också att kraven inte alltid är anpassade för solcellsfasader utan mer för allmänna fasader. Han rekommenderade att de fyra punkterna i BBR 5:551 är vettigt, men att det bör finnas tillägg för att bättre hantera risken med solcellsfasader och installationen som helhet<sup>17</sup>. Magnus Nyhage diskuterade ett problem med att det kan finnas ett scenario som uppstår när det finns en tolkning av byggreglerna att de integrerade solcellerna inte betraktas som en del av fasaden och därmed inte behöver uppfylla de befintliga fasadkraven. Men om de befintliga fasadkraven också tillämpas på integrerade solcellsfasader, så kan de befintliga byggreglerna anses vara tillräckliga<sup>18</sup>.

Alexander Elias diskuterade liknande problematik som Sebastian Levin. Alexander säger att fasadsystem är komplicerade och att det är svårt att hantera dem både för konsulter och entreprenader. Han menar att integrerade solcellsfasader är särskilt svåra att hantera eftersom de lägger till ett elsystem på en redan komplex miljö. Detta kräver mycket projektering och omsorg för att fungera bra och kan i grunden försvaga fasaden och skapa en tändkälla. Ett annat problem som Alexander berättade om är att räddningstjänsten ser problem med kombinationen utrymning med stegbil genom fönster och integrerade solcellsfasad. Där man normalt sätt gärna vill lägga korgen intill fasaden<sup>19</sup>. Malin Unger framhäver även denna aspekt och att höga byggnader ofta kräver utrymning genom fönster vid en nödsituation. Solcellsfasader kan då fungera som ett hinder för en smidig och säker utrymning. Detta utgör en viktig fråga att ta hänsyn till vid utformning och installation av solcellsfasader på höga byggnader<sup>20</sup>.

Ett problem som Spånberg (2020) identifierat är att räddningstjänsterna ger ut sina egna rekommendationer. Detta gör att rekommendationerna varierar beroende på vilken kommun i Sverige man befinner sig i. Spånberg menar att det hade varit att föredra om rekommendationerna sammanställdes och gjorde homogena genom hela Sverige genom MSB för att få en klar bild genom hela Sverige om vad som rekommenderas om solcellsinstallationer.

BBR vill att solcellsfasader ska testas enligt SP FIRE 105 och som nämns i Bilaga B1 så kommer troligtvis inte tillverkaren att göra detta vilket ytterligare är ett problem.<sup>21</sup> Spånberg (2020) bekräftar

---

<sup>15</sup> Se bilaga B2 (intervju med Malin Unger)

<sup>16</sup> Se bilaga B1 (intervju med Sebastian Levin)

<sup>17</sup> Se bilaga B3 (intervju med Alexander Elias)

<sup>18</sup> Se bilaga B4 (intervju med Magnus Nyhage)

<sup>19</sup> Se bilaga B3 (intervju med Alexander Elias)

<sup>20</sup> Se bilaga B2 (intervju med Malin Unger)

<sup>21</sup> Se bilaga B1 (intervju med Sebastian Levin)

att dagens tillverkare inte testar solceller enligt SP FIRE 105 och även han menar att detta är problematiskt och det behövs alternativa lösningar.

Yoon Ko (2023) har tillsammans med Monireh Aram, Xin Zhang och Dahai Qi gjort en rapport där de gör en systematisk kritisk granskning av olika standarder som är applicerbara för integrerade solceller. Ett problem som identifierades i rapporten är att de tester som används för solcellssystem är samma som de som används för vanliga byggnadsprodukter. Detta är problematiskt eftersom solcellssystem har unika brandrisker som skiljer sig från vanliga byggnadsprodukter, vilket gör att lämpligheten av dessa tester för solcellssystem är tvivelaktig. Exempel på dessa unika brandrisker inkluderar att solcellssystemet är elektriskt aktivt även under en brand, att solcellssystemet innehåller material som kan producera giftiga gaser och att branden kan starta från själva solcellssystemet. Ett annat problem som identifierats i rapporten är att standarderna ej tar tillräckligt hänsyn till solcellsmodulernas förmåga att producera giftiga gaser. Yoon Ko tycker också att det inte finns någon standard som tar tillräckligt mycket hänsyn till de tekniska åtgärder som krävs för minskning av brandrisk för integrerade solcellsfasader som till exempel förbättrade brandskyddssystem och brandbekämpningstaktik.

Ytterligare problematik när det gäller standarder och solcellsfasader är att det inte finns någon internationell harmoniserad standard. Utvecklingen av EN 50583 är en stor utveckling mot en harmoniserad standardisering men det krävs dock ytterligare arbete för att få internationell harmonisering (Fedorova, 2020).

### 5.3 Jämförelse mellan nationella och internationella regler och krav

Kraven som gäller för solcellsfasader i Sverige följer de generella krav som ställs på fasader. Det finns inga specifika krav som enbart gäller för solcellsfasader, och de krav som ställs för dessa faller under kategorin fasadbeklädnad och utformning av yttervägg. Kraven som ställs på solcellsfasader är specificerade i Boverkets byggregler (BBR) 5:551 samt i plan- och byggförordningen (PBF) 3 kapitel 8 §. För att uppfylla dessa krav kan solcellsfasader klassificeras som ett obrännbart material eller testas enligt SP-Fire 105 för att uppfylla Br1-kraven för byggnader samt klass D-s2,20 för Br2 och Br3-kraven. Dock noterade Spånberg (2020) att det inte utförs några publika tester för att klassificera solcellsfasader på detta sätt, vilket innebär att BBR 5:551 krav måste uppfyllas på andra sätt.

Tyskland har etablerat grundläggande riktlinjer för brandskydd, som är jämförbara med de som finns i Sveriges plan- och byggförordning (PBF) 3 kapitel 8 §. Vidare har Tyskland också antagit lag §14 i MBO som ska tillämpas på solcellsfasader. Denna lag kan jämföras med Sveriges Boverkets byggregler (BBR) 5:551. I denna lag lägger Tyskland större vikt vid att främja effektivt släcknings- och räddningsarbete vid eventuella bränder på solcellsfasader.

Australien och Sverige följer liknande riktlinjer när det gäller regelverket för solcellsfasader. Precis som i Sverige, saknar Australien specifika regler för solcellsfasader och därmed följer reglerna för dessa fasader generella riktlinjer för fasader. För att uppfylla dessa regler kan antingen allmänna råd eller analytisk dimensionering tillämpas, på samma sätt som i Sverige.

Schweiz och Sverige har liknande grundläggande mål för att uppnå brandsäkerhet i byggnader, vilket påminner om kraven som fastställs i Sveriges plan- och byggförordning (PBF) 3 kapitel 8 §. Precis som i Sverige, finns det inga specifika krav på solcellsfasader i Schweiz, utan kraven på dessa fasader hänvisar till de som gäller för övriga byggnadsfasader. Trots detta har Schweiz allmänna råd som är specifika för solcellsinstallationer, vilka liknar de som finns i Sveriges Boverkets byggregler (BBR) 5:551. Schweiz kräver att solcellsfasaden ska skyltas och märkas, ett krav som inte finns i Sverige.

Dubai och Italien har inga specifika regleringar för solcellsfasader identifierats. Italien har dock publicerat rekommendationer genom deras brandförsvaret och Dubais myndighet för elektricitet och vatten har också utgivit rekommendationer. Det är dock oklart om dessa rekommendationer påverkar kraven och regleringarna, eftersom detta inte specificeras i informationskällorna.



## 6 Diskussion

### 6.1 Svar på problemfrågeställningen

- När svenska regler för solcellsfasad upp till samma brandsäkra standard som internationella?

Baserat på resultaten av den genomförda intervjustudien framgår det att de svenska reglerna som rör solcellsfasader varierar i sin förmåga att uppnå samma nivå av brandsäkerhet som internationella standarder. I vissa fall når dessa regler upp till de internationella medan det i andra fall visar sig att de inte når upp till samma standarder. Denna differentiering kan härledas till det faktum att det i Sverige saknas en specifik reglering som direkt adresserar utformningen och projekteringen av solcellsfasader, förutom de allmänna regler som appliceras på byggnaders fasader generellt. Ansvaret att bedöma den ökade brandsäkerhetsrisken i samband med solcellsfasader åvilar brandprojektören, som utifrån sin bedömning måste avgöra hur projekteringen bör utformas för att minimera riskerna. Det noteras emellertid att denna bedömning inte stöds av tydliga och specifika riktlinjer som vägledning, vilket resulterar i en viss grad av subjektivitet i projekteringsprocessen. Denna brist på preciserade riktlinjer möjliggör variation i hur brandsäkerheten hanteras för solcellsfasader. På grund av att det inte finns tillräckligt med lagstöd och referensobjekt så blir det högra krav och stort ansvar för projektören och det kan leda till onödigt höga kostnader för byggherren. Å andra sidan har det också observerats fall där brandsäkerheten inte har hanterats tillräckligt ingående. Denna variation kan härledas till bristen på tydliga direktiv för brandprojektörer att följa, vilket i sin tur medför en ojämnhet i projekteringsprocessen och dess utfall.

När det gäller just regler så går det att argumentera både för och emot att svenska regler når upp till samma brandsäkra standard. Som identifierats så har inte solcellsfasader specifika regler även för internationella regelverk. Däremot så har andra länder gett ut mer riktlinjer och rekommendationer än Sverige vilket identifierats och listas i rapportens resultat av litteraturstudien. Sverige skulle också kunna dra nytta av en sammanställning av rekommendationer och åtgärder för att mildra brandrisken med solcellsfasader.

- Vad finns det för problematik med solcellsfasader utifrån ett brandriskperspektiv?

Solcellsfasader står inför en rad komplexa problematik. En av de mest betydande utmaningarna är den ökade brandrisken som solcellsfasader medför. Det integreras en brandrisk i själva fasaden i form av solcellssystemet. Denna brandrisk kan leda till att eld sprider sig över brandcellsgränser om inte noggrann projektering implementeras. Jämfört med traditionella solceller är risken för brand ungefär 20 gånger högre för solcellsfasader, och detta beror på den integrerade brandrisken i själva fasaden.

Att genomföra brandbesiktningar för solcellsfasader visar sig vara en problematisk uppgift. Oklarhet råder om dessa besiktningar ska utföras före eller efter installationen av solcellsanläggningen, och inspektionen efter installation är begränsad och kan till och med försummas. Denna bristande inspektion kan i sin tur försvåra upptäckten av felaktiga installationer och brister i brandsäkerheten. Ett annat område av oro är svårigheten att ersätta eller byta ut produkter för solcellsfasader om defekter uppstår. Denna brist på ersättningsprodukter kan resultera i obrukbara fasader om problem uppstår.

Det finns en brist på vedertagna lösningar och tydliga byggregler för solcellsfasader. Dagens byggregler är generella och funktionsbaserade, vilket skapar tolkningsutrymme och gör det svårt att tillämpa dem på solcellsfasader. Det saknas specifika krav för denna nya teknik, vilket leder till variationer i brandsäkerheten och höga krav på projektörer.

Integrerade solcellsfasader innebär också en komplexitet i fasadsystemen och skapar problem vid installationen. Integrerade solcellsfasader lägger till ytterligare komplexitet genom införandet av ett elsystem i fasaden. Felaktig projektering och installation kan försvaga fasaden och skapa brandrisker.

Vidare blir utmaningen med utrymning och räddningstjänst uppenbar i höga byggnader. Integrerade solcellsfasader kan hindra utrymning genom fönster och försvåra räddningstjänstens arbete.

Bristen på enhetliga rekommendationer och standarder är också en betydande oro. Rekommendationerna för solcellsinstallationer varierar mellan olika kommuner och det finns inga enhetliga standarder som tar hänsyn till de unika brandriskerna och tekniska åtgärderna för att minska dessa risker.

Befintliga tester och standarder är inte lämpliga för solcellsfasader och deras unika brandrisker. Tester som används för solcellssystem liknar de som används för vanliga byggnadsprodukter och tar inte tillräckligt hänsyn till de specifika riskerna som solcellsfasader innebär. Till exempel är solcellssystemet elektriskt aktivt även under en brand, och det innehåller material som kan producera giftiga gaser. Standarderna tar inte tillräcklig hänsyn till dessa unika aspekter. Dessutom är det ett känt problem att det saknas en internationellt harmoniserad standard för solcellsfasader. Även om framsteg har gjorts genom utvecklingen av standarden EN 50583, finns det fortfarande arbete som behöver göras för att nå en enhetlig internationell standard.

- Vad finns det för brandrisker med solcellsfasader och vilka åtgärder kan implementeras för att mildra eventuella brandrisker?

Solcellsfasader innebär vissa brandrisker, som specificeras i avsnitt 5.1. Fasaderna kan antända på grund av antingen interna eller externa brandorsaker. Interna brandorsaker inkluderar vanligtvis "hot spot", ljusbågar och kortslutningar på grund av dåliga anslutningar. Vidare kan brandrisken manifesteras sig i form av spridning, elektriska stötar, brandgasutveckling, giftiga gaser och nedfall av material. För att minska risken för brand kan åtgärder implementeras enligt kapitel 4.2, och det är värt att notera att rekommendationerna i avsnitt 5.3 också kan användas för att minska brandrisken.

## 6.2 Reflektion kring metod och resultat

Insamlingen av information om rekommendationer och regler för solcellsfasader var problematisk, eftersom det finns få specifika regler och rekommendationer för solcellsinstallationer som är integrerade i byggnadsfasader. De flesta rekommendationer och krav gäller främst för byggnadsapplicerade solcellsinstallationer, och i synnerhet för installationer på tak i stället för fasader, eftersom takinstallationer är vanligare. Många regler och rekommendationer som undersökts utrycker sig inte om de bara gäller för BIPV eller BAPV och inte heller om det bara är för fasad eller tak. Därför var det svårt att urskilja vilken information som gällde för just integrerade solcellsfasader.

Litteraturstudiens utförande gick bra, där användningen av ett omfattande antal sökord frambringade många relevanta träffar inom det angivna ämnesområdet. Med hänsyn till den begränsade tillgängligheten av litteratur som fokuserar på det specifika ämnet i fråga, ansågs strategin att bredda sökningarna genom att använda flera olika databaser som bra. Detta diversifierade tillvägagångssätt bidrog till att öka mängden insamlad litteratur, vilket i sin tur har berikat den tillgängliga informationsbasen. Google kan argumenteras som en dåligt val att använda som databas eftersom det är svårt att återskapa sökningen på grund av att Google-sökningar är dynamiska och baseras på enskild användarinformation (Google, 2023). Eftersom tillgänglig litteratur angående solcellsfasader är begränsad, beslutades att utnyttja Google som en databaskälla för att utvidga informationsbasen.

Efter att ha genomfört intervjuerna och analyserat svaren har det identifierats vissa begränsningar med metoden. En av de största begränsningarna var antalet deltagare i intervjustudien. Det hade önskats att inkludera fler personer från olika branscher, särskilt från räddningstjänsten, för att få en bredare aspekt på ämnet. Tyvärr var detta inte möjligt på grund av tidsbrist. En större och mer varierad grupp av



deltagare skulle ha kunnat ge mer omfattande och varierade perspektiv på ämnet. Därför är det viktigt att understryka att resultaten av denna intervjustudie endast representerar de personer som intervjuats, och att det kan finnas andra perspektiv på ämnet som inte kunde inkluderas på grund av tidsbristen. Det ska även påpekas att eftersom detta var en kvalitativ studie baserad på intervjuer, är det möjligt att deltagarnas svar kan ha påverkats av intervjuprocessen. Intervjuerna skedde på distans och detta gav flera fördelar. Det gav flexibilitet genom att det är lättare att få in det i schemat när det kan göras på distans. Det möjliggjorde också att det gick att intervju personer från hela Sverige utan reseproblem. Tid sparas också genom att inte behöva resa. Det negativa med distans kan vara att tekniken strular, dock var detta ej fallet i den här studien. Det kan också bli mindre personligt och svårare att bygga relation eftersom man ej får den personliga interaktionen.

Enkät var ett alternativ som övervägdes för datainsamling. Med enkäter kan man samla in åsikter och uppfattningar från en större grupp. En fördel med intervju är att man kan göra förtydliganden av frågor under intervjuens gång och se till att respondenten inte ger för korta svar eller förstår frågorna fel. Men en nackdel är att det tar längre tid att genomföra intervjuer än att skicka ut enkäter (Martin Höst, 2006). Enkäter ger möjligheten att nå ut till fler personer under kort tid, men då solcellsfasader är ett relativt nytt område är det inte så många som har kunskap inom området. Därför valdes intervjustudie i stället för enkät där man kunde gå mer på djupet med frågorna som ställdes till respondenterna och troligtvis gav de mer information än om de hade svarat på en enkät.

Ett område som hade förbättringspotential är frågorna som användes i intervjuerna. Det kunde ha ställts fler frågor som var specifikt inriktade på rapportens problemfrågeställningar. Vissa av frågorna var även ganska generaliserade och inte inriktade på just problemfrågeställningen vilket gjorde att de inte bidrog till rapportens resultat. Intervjuerna gav dock viktig information som bidrog till en ökad förståelse för ämnet, trots att frågorna inte var helt optimerade.

I den genomförda intervjustudien valdes det att inkludera en serie mer generella frågor avseende solcellsfasader. Syftet med detta tillvägagångssätt var att objektivt bedöma respondenternas nivå av insikt och förståelse inom området. De erhållna svaren på dessa grundläggande frågor möjliggjorde sedan en koppling till respondenternas individuella kompetensnivå inom solcellsfasader. Därigenom kunde vi bedöma tillförlitligheten av deras svar och därmed deras förmåga att bidra konstruktivt till diskussionen. Denna inledande analys av respondenternas svar och deras bakgrundsbeskrivningar tillät oss att differentiera senare frågor. Svaren som erhöles visade på en varierad spännvidd av expertis, vilket resulterade i olika djupgående och omfattande svar på de efterföljande frågorna. Det blev uppenbart att vissa deltagare hade en mer omfattande förståelse av olika aspekter av solcellsfasader och kunde erbjuda mer nyanserade insikter än andra, vilket i sin tur riktade den fortsatta analysen.

Flera åtgärder vidtagits för att upprätthålla reliabiliteten i studien. I litteraturstudien har kriterier för urval av källor och sökord använts för att säkerställa att relevant och aktuell information inkluderas. Genom att använda flera olika källor och sökmotorer, inklusive LUBSearch, RISE sökmotor och Google Scholar, har mångfalden i informationen ökat och risken för ensidighet minimerats. För intervjustudien har ansträngningar gjorts för att säkerställa konsekvens och pålitlighet i datainsamlingen. En semi-strukturerad intervjuform användes, med öppna frågor som följer en definierad sekvens. Detta bidrar till att minimera variationer i frågeformuleringar och därmed ökar reliabiliteten i de insamlade svaren.

Validiteten i denna rapport har säkerställts genom flera metodologiska beslut och åtgärder. Litteraturstudien grundades på en noggrant utvald lista över sökord och inkluderade en varierad uppsättning källor för att fånga olika perspektiv och rekommendationer. För att öka validiteten i intervjustudien har frågorna utformats för att täcka olika aspekter av ämnet och relatera till både litteraturstudien och problemformuleringen. Respondenternas bredd i expertis och bakgrund har också bidragit till validiteten genom att fånga olika perspektiv och erfarenheter. Dessutom har resultaten från intervjustudien använts för att komplettera och bekräfta resultat från litteraturstudien, vilket ytterligare



stärker validiteten genom att olika källor av information validerar varandra. Intervjuerna spelades in och sammanfattningarna skickades till respondenterna för verifiering, vilket ytterligare säkerställer validiteten. För att ytterligare öka den externa validiteten hade det varit önskat att ha med fler respondenter för att komplettera med synvinklar och kunskapsnivåer inom ämnet.

## 7 Slutsats

Resultatet av litteratur- och intervjustudien indikerar att solcellsfasader kan vara föremål för antändning, vilket kan uppstå av olika orsaker både internt och externt, och att detta kan leda till oönskade konsekvenser. Det finns enstaka studie som visar hur hög brandrisken är för integrerade solcellsfasader jämfört med applicerade. För att kvantifiera den förhöjda brandrisken som integrerade solcellsfasader medför behövs det mer studier med ytterligare data som förstärker påståendet från den enskilda studien att brandrisken är 20 gånger större före integrerade jämfört med applicerade solcellsfasader. Det behövs även ytterligare data och analyser för att fastställa frekvensen av olika orsaker till brand och bedöma konsekvenserna av dem.

I takt med att utvecklingen av solcellsfasader har skett snabbare än regelverken har det resulterat i att regelverken inte har tagit hänsyn till de unika brandriskerna som solcellsfasader medför. Därför kan det finnas byggnadsprojekt som saknar tillräckligt robusta brandskydd för att hantera den brandrisk som uppstår vid integrering av solceller i fasaden. Detta kan leda till omfattande projektering och höga kostnader för byggherren.

Då det finns bristande regelverk kring hanteringen av solcellsfasader har räddningstjänster gett ut egna rekommendationer som varierar mellan olika räddningstjänster. För att underlätta projektering och införande av solcellsfasader vore det önskvärt att dessa rekommendationer harmoniseras genom MSB.

Denna rapport sammanställer rekommendationer och åtgärder som kan användas för att skapa innovativa projekteringar och säkerställa att brandskyddet för en byggnad med solcellsfasad uppfyller en stabil säkerhetsnivå. Genom att vidta lämpliga åtgärder kan man minska risken för att solcellsfasader orsakar oönskade konsekvenser.



## 8 Förslag på fortsatta studier

Användandet av den innovativa tekniken med solceller integrerad i fasaden förväntas att öka i framtiden. Emellertid har denna rapport identifierat viss problematik och risker som är förknippade med solcellsfasader. För att möta dessa utmaningar och minska kunskapsluckorna som råder inom området krävs ytterligare forskning och studier. Nedan presenteras en lista på ytterligare forskning och studier som har identifierats som kunskapsluckor genom arbetets gång.

- För närvarande är det brist på lämpliga testmetoder för solcellsmoduler. Det finns ett behov av att undersöka om de befintliga testmetoderna på något sätt kan anpassas för att kunna ta hänsyn till solcellsfasadens unika risker.
- Det är väsentligt att vidare studera hur rekommendationer och åtgärder för att minska brandrisken med solcellsfasader kan appliceras i verkligheten, samt att utvärdera vilka åtgärder som är de mest effektiva.
- Genom tester undersöka produktion av giftiga gaser från solcellssystem, brandspridning, hur nedfall sker och skyddsavstånd för räddningspersonal.
- Undersöka hur solcellsfasader faktiskt projekteras i verkliga projekt för att både se nivån av brandsäkerhet och samla innovativa idéer för att brandsäkra solcellsfasader.
- Genomföra uppdaterad undersökning av rekommendationer från svenska räddningstjänster.



## 9 Referenser

- Amanda Thellsén, K. T. (2016). *Solcellspaneler på fasad, en utredning av lagkrav och infästningssystem*. Uppsala Universitet.
- Australian Building Codes Board. (den 23 03 2023). *Australian Building Codes Board*. Hämtat från <https://www.abcb.gov.au/>
- Babrauskas, V. (2001). *How do electrical wiring faults lead to structure*. London: pp. 39-51 in Proc. Fire and Materials 2001 Conf., Interscience Communications Ltd.
- Baisheng Liao, L. Y. (2020). *Experimental study on burning and toxicity hazards of a PET laminated photovoltaic panel*. Hämtat från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024819306245?via%3Dihub>
- Boverket. (2019). *Brandklasser för golv, väggar tak, rörisolering och kablar*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandklasserd-for-ytskikt/> den 09 03 2023
- Boverket. (2020). *Solpaneler*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/solpaneler/> den 09 03 2023
- Boverket. (den 13 10 2021). *Boverket*. Hämtat från Om Boverkets byggregler, BBR: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/om-bbr/#:~:text=Boverkets%20byggregler%2C%20BBR%2C%20inneh%C3%A5ller%20f%C3%B6reskrifter,plan%2D%20och%20byggf%C3%B6rordningen%2C%20PBF.>
- Boverket. (den 14 11 2022). *Regelhierarki – från lag till allmänt råd*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/regelhierarki/>
- Boverket. (den 15 02 2023). *Plan- och bygglagen*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/arbetsatt/vardens-miljoer/lagar-mal-och-riktlinjer/lagar-och-regler/plan--och-bygglagen/#:~:text=I%20plan%2D%20och%20bygglagen%20finns,f%C3%B6r%20v%C3%A5rdens%20byggnader%20o>
- BSW-solar, BFSB, Berufsfeuerwehr München, DGS, ZVEH. (2012). *Brandschutzgerechte Planung, Errichtung und Instandhaltung von PV-Anlagen*.
- Building Research Establishment. (2017). *Fire and Solar PV Systems - Investigations and Evidence*. Hämtat från [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/630639/fire-solar-pv-systems-investigations-evidence.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/630639/fire-solar-pv-systems-investigations-evidence.pdf)
- Bygglövs konsulter. (den 11 04 2023). *Vad är Plan- och byggförordningen?* Hämtat från Bygglövs konsulter: <https://www.bygglövs-konsulter.com/post/vad-ar-plan-och-byggforordningen#:~:text=Statliga%20myndigheter%20och%20byggnadsn%C3%A4mnder%20ska,om%20man%20bygger%20utan%20bygglöv.>
- CFPA EUROPE. (den 10 03 2023). *Guidelines*. Hämtat från <https://cfpa-e.eu/category-guidelines/fire-prevention-and-protection/>
- CFPA-E. (2018). *Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention*. CFPA-E Guideline No 37:2018 F.

- Chow CL, H. S. (2016). *A study on fire behaviour of combustible components of two commonly used photovoltaic panels*. Hämtat från <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fam.2366>
- Daniel Rådemar, S. L. (2021). *RISKER KOPPLADE TILL NY TEKNIK I BYGGNADER - KUNSKAPSUNDERLAG*. wsp.
- Dhimish M, H. V. (2018). *Novel hot spot mitigation technique to enhance photovoltaic solar panels output power performance*. *Sol Energy Mater Sol Cell* 2018;179:72–9. Hämtat från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024818300709?via%3Dihub>
- DIBt. (2012). *Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen*.
- Dubai Electricity & Water Authority. (2015). *PV ON BUILDINGS AND FIRE SAFETY: RECOMMENDATION FOR DRRG SOLAR PV SYSTEMS*. GOVERNMENT OF DUBAI.
- El-Sherif, N. (2017). *Ground-Fault protection: all you need to know*. *IEEE Trans Ind Appl.* 54:6047-56.
- Fedorova, A. (2020). *Building-Integrated Photovoltaics from Products to System Integration - A Critical Review*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Folkhälsomyndigheten. (den 05 04 2022). *Om lagar, förordningar och föreskrifter*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/foreskrifter-och-allmannarad/om-lagar-forordningar-och-foreskrifter/>
- Gernay, T. (2019). *Fire resistance and burnout resistance of reinforced concrete columns*. *Fire Saf J.* 2019;104:67–78.
- Gernay, T. (2019). *Fire resistance and burnout resistance of reinforced concrete columns*. *Fire Saf J.* 104:67-78.
- Google. (den 31 08 2023). *Google*. Hämtat från Så fungerar Google Search: <https://www.google.com/intl/sv/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>
- Hipel, K. W. (2015). *Technology and Policy Options for a Low-Emission Energy System in Canada*. Disaster Prevention Research Institute Annuals.
- Ing. Mauro Malizia. (2012). *IMPIANTI FOTOVOLTAICI DISPOSIZIONI DI PREVENZIONE INCENDI*.
- International Energy Agency. (2022). *Snapshot of Global PV Markets*. IEA. Hämtat från [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2022-vF.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/04/IEA_PVPS_Snapshot_2022-vF.pdf)
- International Energy Agency. (den 11 juli 2023). *Iea*. Hämtat från Solar PV: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>
- Johan Lindahl, A. O. (2020). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden*. Swedish Energy Agency.
- Klaus Prume, J. V. (2018). *Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization*.
- Kodur V, K. P. (2020). *Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety*. *PSU research review*, 4(1), 1-23. Hämtat från [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Fire%20hazard%20in%20buildings%3A%20review%2C%20assessment%20and%20strategies%20for%20improving%20fire%20safety&author=V.%20Kodur&publication\\_year=2020%20Vol%204%20No%201%20pp.%201-23](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Fire%20hazard%20in%20buildings%3A%20review%2C%20assessment%20and%20strategies%20for%20improving%20fire%20safety&author=V.%20Kodur&publication_year=2020%20Vol%204%20No%201%20pp.%201-23)

- Lamberto Mazziotti, P. C. (2016). *Fire risk related to the use of PV systems in building facades*. MATEC Web Conf. 46, 1–9. Hämtat från [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/09/mateconf\\_05001/mateconf\\_05001.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/09/mateconf_05001/mateconf_05001.html)
- Laukamp, H. (2013). *PV fire hazard-analysis and assessment of fire incidents*. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.
- M. Waqar Akram, G. L. (2022). *Failures of Photovoltaic modules and thier Detection: A Review*. ELSEVIER.
- Martin Höst, B. R. (2006). *Att genomföra examensarbete*. Studentlitteratur.
- Matasci, S. (den 1 juni 2022). *Energysage*. Hämtat från Solar panel size and weight explained: how big are solar panels?: <https://news.energysage.com/average-solar-panel-size-weight/#:~:text=PV%20solar%20cells%20come%20in,to%2098%20cells%20or%20more>).
- Meena R, K. S. (2020). *Comparative investigation and analysis of delaminated and discolored encapsulant degradation in crystalline silicon photovoltaic modules*. . Sol Energy 2020;203:114–22. Hämtat från <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X20304163>
- Michael Woodhouse, R. J.-A. (2016). *The Role of Advancements in Solar Photovoltaic Efficiency, Reliability and Costs*. National Renewable Energy Laboratory, U.S Department of Energy.
- Mikalsen, R. F. (2019). *Energieffektive bygg og brannsikkerhet*. RISE.
- Monireh Aram, X. Z. (2021). *A state-of-the-art review of fire safety of photovoltaic systems in buildings*. Jornual of Cleaner Production 308 (2021) 127239.
- National Construction Code. (2019). *Part A2 Compliance with the NCC*. Hämtat från National Construction Code: <https://ncc.abcb.gov.au/editions/2019-a1/ncc-2019-volume-one-amendment-1/section-governing-requirements/part-a2-compliance>
- National Construction Code. (2019). *Part C1 Fire resistance and stability*.
- National Construction Code. (2019). *Section C Fire Resistance*. Hämtat från <https://ncc.abcb.gov.au/editions/2019-a1/ncc-2019-volume-one-amendment-1/section-c-fire-resistance/section-c-fire>
- Nohrstedt, L. (2018). Guide för dig som vill skaffa solceller. *NyTeknik*, 10.
- Office of Energy efficiency & Renewable energy. (den 25 02 2023). *Solar Photovoltaic Cell Basics*. Hämtat från Energy.gov: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>
- Office of Energy efficiency & Renewable energy. (den 25 02 2023). *Solar Photovoltaic Technology Basics*. Hämtat från Energy.gov: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>
- Pandian A, B. K. (2016). *Fire hazards and overheating caused by shading faults on photo voltaic solar panel*. Fire Technol. 2016;52:349–64. Hämtat från <https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-015-0509-7>
- Petra Andersson, A. B. (2019). *Innovativa elsystem i byggnader – konsekvenser för brandsäkerhet*. RISE.
- Pierluigi Bonomo, E. S. (2018). *Fire safety of BIPC facades - GUIDLINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE EXISTING NORMATIVE FRAMEWORK*. SUPSI- Swiss BIPV Competence Centre. Hämtat från



- [https://repository.supsi.ch/12676/1/Active\\_Interfaces\\_HSLU\\_SUPSI\\_Fire\\_Safety%20%281%29.pdf](https://repository.supsi.ch/12676/1/Active_Interfaces_HSLU_SUPSI_Fire_Safety%20%281%29.pdf)
- Pierluigi Bonomo, E. S. (2018). *Fire safety of BIPV facades*. SUPSI- Swiss BIPV Competence Centre.
- Plan- och byggförordning. (den 31 03 2011). *Sveriges Riksdag*. Hämtat från Plan- och byggförordning (2011:338): [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-byggforordning-2011338\\_sfs-2011-338/#K3](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338/#K3)
- Precedence Research. (2022). *Building Integrated Photovoltaics Market (By Technology: Crystalline silicon, Thin film, Others; By Application: Rooftop, Glass, Facades, Walls, Others; By end-user: Industrial, Commercial, Residential) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Tr.*
- PVsites. (2016). *Standardization needs for BIPV*.
- Rebecca Yang, Y. Z. (2022). *Fire safety requirements for building integrated photovoltaics (BIPV): A cross-country comparison*.
- Rfassbind. (den 26 08 2014). *Wikipedia*. Hämtat från From a solar cell to a PV system: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:From\\_a\\_solar\\_cell\\_to\\_a\\_PV\\_system.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:From_a_solar_cell_to_a_PV_system.svg)
- SEK Svensk Elstandard. (den 11 Maj 2016). Svensk Standard SS-EN 50583-1.
- Sepanski A, F. R. (2018). *Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety*.
- Smith, S. (2015). *The Recognition of Fires Originating from Photovoltaic (PV) Solar Systems*.
- Spånberg, L. (2020). *Brandsäkerhet i solcellsinstallationer - En genomgång av applicerbara regelverk och den problematik med brandsäkerhet som råder gällande solcellsinstallationer*. Luleå tekniska universitet.
- Spooner, E. (den 25 02 2023). *Organic Photovoltaics vs 3rd-Generation Solar Cell Technologies*. Hämtat från Ossila: <https://www.ossila.com/pages/organic-photovoltaics-vs-3rd-gen-solar-tech>
- Stockholms brandförvar. (2019). *Solcellsanläggningar och batterilagersystem*. Stockholms brandförvar. Hämtat från [https://www.storstockholm.brand.se/globalassets/dokument/vagledningsdokument-och-foreskrifter/2022/v12019-12\\_vagledning-solcellsanlaggningar-och-batterilagersystem\\_221206.pdf](https://www.storstockholm.brand.se/globalassets/dokument/vagledningsdokument-och-foreskrifter/2022/v12019-12_vagledning-solcellsanlaggningar-och-batterilagersystem_221206.pdf)
- Svenska Institutet för Standarder. (den 09 04 2023). Hämtat från Vad är en standard?: <https://www.sis.se/standarder/vad-ar-en-standard/>
- University of Calgary. (den 25 02 2023). *Photovoltaic effect*. Hämtat från Energy Education: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic\\_effect](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect)
- VKF. (2016). *13-15 Baustoffe und Bauteile*. VKF. Hämtat från <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-71.pdf/content>
- VKF. (2016). *14-15 Verwendung von Baustoffen*. VKF. Hämtat från <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-77.pdf/content>

- VKF. (2017). *Impianti solari*. Hämtat från <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-3728.pdf/content>
- Wikipedia. (den 15 08 2023). *Wikipedia*. Hämtat från Short circuit: [https://en.wikipedia.org/wiki/Short\\_circuit](https://en.wikipedia.org/wiki/Short_circuit)
- Yang H, Z. X. (2015). *Experimental Studies on the Flammability and Fire Hazards of Photovoltaic Modules*. Basel. Hämtat från <https://www.mdpi.com/1996-1944/8/7/4210>
- YANG, R. J., HUI, M., JOHANSSON, M., LE, Q., & ZANG, Y. (2021). *Fire Safety Requirements of Applying BIPV in Australia*. Melbourne: Solar Energy Application Lab, School of Property, Construction and Project Management, RMIT University.
- Yoon Ko, M. A. (2023). *Fire safety of building integrated photovoltaic systems: Critical review for codes and standards*. Indoor and Built Environment.



# Bilaga A

## Intervjufrågor

### Inledning

- Presentation av arbetet och lite om mig själv (avdelning, mål och syfte, problemställning etc),
- Berätta om att arbetet handlar om just integrerade solcellsfasader och ej applicerade,
- Genomgå de förutsättningar som gäller för intervjun (Anonymitet, inspelning)
- Inspelning börjar,
- Kan du ge en beskrivning av din yrkesroll?

### Solcellsfasad och risk

- Användandet av solcellsfasader ser en ökning i Sverige, vad är din kännedom om solcellsfasader?
- Har du på något sätt stött på solcellsfasader i din professionella roll? Ifall ja, hur då?
- Utifrån din yrkesroll och din kunskap om solcellsfasader, vilka vanliga problem ser du med användningen av solcellsfasader och dess ökade användning?
  - Varför då? På vilket sätt är detta en problematik?
- Känner du till verkliga fall där detta varit ett problem? Går det att få tag på underlag från detta t.ex. insatsrapport?
- När det gäller utrymning och brandskydd, vilka faror samt svårigheter kan du identifiera med att ha en solcellsfasad som är integrerad i en byggnad?
  - På vilket sätt tycker du att riskerna och utmaningarna bör hanteras eller minskas?

### Lagstiftning

- Anser du att dagens byggnadsregler är tillräckliga för att hantera implementeringen av solcellsfasader?
  - Varför/Varför inte?
- Tycker du att det finns några problem med de nuvarande kraven i BBR?
  - Varför/Varför inte?
- Har du lutat dig mot någon annan kravbild i ditt arbete i brist på annat? Nationell eller internationell?
  - (Om ja på internationell): Skulle du säga att Sverige når upp till samma brandsäkra standard som de internationella?
    - Varför/Varför inte?
- Om du hade möjlighet att bestämma, vad skulle minimikraven vara på brandskydd för en solcellsfasad?
  - Vilken är din motivation bakom dessa krav?
  - Tycker du att de krav du nämnde är rimliga utifrån en kostnad-nyttasynvinkel?
- Tycker du att ägare/nyttjare tar sitt ansvar med underhåll och säkerhet med bakgrund av redan befintlig lagstiftning? (BBR 2.2 och elsäkerhetslagen (2016:732) §17)

### Till konsult/räddningstjänst

- Genomförs analytisk dimensionering kopplat till solcellsfasader?
  - På vilket sätt genomförs det/i vilket avseende?

### Avslutning

- Finns det något annat du skulle vilja nämna eller tänker på? Har du några andra tankar eller funderingar kring risker som är associerade med solcellsfasader?



# Bilaga B

## Sammanfattning av intervjuer

### Bilaga B1

Datum: 18/04/2023

Namn: Sebastian Levin

Företag: WSP

Yrkesroll: Brand och riskkonsult. Brandteknisk projektering.

#### Solcellsfasad

Sebastian är medveten om att solceller har blivit alltmer populära och att användningen av solcellsanläggningar har ökat i omfattning. Han konstaterar dock att byggnadsapplicerade solceller är mycket vanligare än integrerade solcellsfasader, som ännu inte är så vanliga. Sebastian har själv projekterat byggnadsapplicerade solcellsanläggningar, men har ännu inte projekterat integrerade solcellsfasader. Däremot har han läst mycket om integrerade solcellsfasader och har bidragit till att ta fram PM, vägledning och kunskapsunderlag om både applicerade och integrerade solceller.

#### Problematik och risk

Enligt Sebastian finns det en brist på vedertagna lösningar när det gäller solcellsfasader. Han menar att när ny teknik introduceras, är det vanligtvis problematiskt i början innan forskning, krav och vedertagna lösningar har hunnit komma i kapp. Risken för brand i en byggnad ökar med solcellsfasader, särskilt när branden inträffar inne i byggnadskonstruktionen, exempelvis i väggkonstruktionen. Sebastian spekulerar också om att tillbud troligen leder till faktiska bränder oftare i integrerade solcellsanläggningar än i applicerade.

Sebastian identifierar ett problem med att bygga in en brandrisk i själva ytterväggen med solcellsfasader. Om projekteringen inte görs korrekt finns det en hög risk att branden sprider sig över brandcellsgränserna. Genom att inbygga en brandrisk i själva ytterväggen blir det en unik risk jämfört med traditionella ytterväggar. En ökning av brandfrekvensen på grund av integrerade solceller i ytterväggen ser Sebastian som problematisk.

Bygga in en brandrisk i själva fasaden identifieras också som ett problem i (Mikalsen, 2019)

#### Åtgärder

Sebastian föreslår att man bör etablera en brandcellsgräns innanför solcellsanläggningen för att förhindra att brandspridning sker genom väggkonstruktionen och direkt in i våningsplanen. Han ser också en möjlig åtgärd i form av en stopp- eller barriäråtgärd som kan dela upp solcellsanläggningen så att branden inte sprids genom flera våningar. Dessutom instämmer han med Boverket om att fasaden för högre byggnader inte ska vara brännbar. Slutligen nämner Sebastian sprinklersystem som en möjlig åtgärd för att mildra den ökade risken för brandspridning längs fasaden som följer med en solcellsfasad.

Sebastian nämner att det finns många åtgärder man kan vidta för att förebygga risken för brand i samband med solcellsinstallationer. Till exempel kan man ha kontroller vid installationen, se till att montören väljer rätt kabelanslutningar, och förlägger kablagen på ett sätt så att det inte skadas. Man bör också undvika att ha brännbart material i närheten av kopplingsboxar eller växelriktaren. Genom att vidta sådana åtgärder kan man minska risken för brand i samband med solcellsinstallationer.

### Lagstiftning

Enligt Sebastian är han något tveksam till dagens byggregler och anser att det finns ett visst mått av godtycklighet när det gäller svenska normer. Han påpekar att om man har en duktig projekteringsgrupp som kan förhålla sig till funktionskraven, kan man få en säker och bra anläggning. Trots detta är han övertygad om att det finns en stor variation av brandsäkerhet i olika byggnadsprojekt på grund av de öppna riktlinjerna i dagens byggregler. Han menar att det är troligt att det blir väldigt olika nivåer på det som byggs, beroende på vem som utför projekteringen.

Vidare menar Sebastian att det finns problematik med dagens lagstiftning eftersom den inte är specifikt skriven för solcellsfasader. Han påpekar att när man pratar om ytterväggar tar man kanske inte hänsyn till de unika riskerna som solcellsfasader innebär. Därför är det svårt att applicera befintliga regler och riktlinjer på solcellsfasader, eftersom allt som står om ytterväggar knappt blir tillämpligt när det gäller en elinstallation integrerad i fasaden.

Sebastian ser några problem med dagens krav i Boverkets byggregler. För det första anser han att det finns höga krav på brandprojektören och mycket ansvar i och med att det inte finns tillräckligt med lagstöd och referensobjekt. Detta leder till höga kostnader för byggaren på grund av omfattande projektering. För det andra påpekar han att kraven i BBR är funktionsbaserade och att det inte finns några detaljer kring solcellsinstallationer, endast generella funktionskrav. Detta innebär att det krävs mycket tolkning och jämförelse med handböcker och internationella riktlinjer för att sätta upp en egen rimlig nivå för solcellsinstallationer. Sebastian tror inte heller att BBR allmänna råd gällande brandspridning mellan våningsplan över yttervägg genom certifiering enligt SP FIRE 105 är realistisk när det kommer till integrerade solceller i fasad. Ingen tillverkare av integrerade solcellsanläggningar kommer bränna upp/certifiera en solcellsfasad enligt SP FIRE 105 på grund av de förknippade kostnad och omständigheter samt att provet måste göras om, om man ändrar på ytterväggskonstruktionen som är certifierad.

När det gäller frågan om Sverige når upp till samma brandsäkra standard som internationella standarder, påpekar Sebastian att solcellsfasadsprojekt är så pass omfattande och stora att de inte kan gå under radarn. Han menar att projekteringarna blir omfattande och i regel tror han att det görs brandsäkra solcellsfasader i Sverige. Dock anser han att det ofta blir onödigt dyrt och att det ställs onödigt höga krav på projektören.

På frågan om vilka brandtekniska minimikrav Sebastian skulle sätta för en solcellsfasad, nämner han tre viktiga krav. Det första är att det bör finnas en brandcellsgräns runt ytterväggen innanför solcellsanläggningen. Det andra kravet är att det bör finnas någon form av barriär eller stopp som hindrar branden från att sprida sig mellan våningsplan. Det tredje kravet är att det bör finnas sprinklersystem eller annan brandteknisk lösning vilken hanterar risk för brandspridning från fönster till fönster. Sebastian bedömer att de brandtekniska minimikraven som han nämnde är skäliga ur ett kostnads-nyttoperspektiv. Han jämför med kraven på brandcellsgränser runt högspänningsanläggningar och menar att liknande krav borde finnas för solcellsfasader. Solcellsfasader är också högspänningsanläggningar som är utsatta för olika väderförhållanden och riskfyllda miljöer, och därför bör det finnas höga krav på brandsäkerhet för att minimera risken för brand och deras konsekvenser.



## **Bilaga B2**

Datum: 24/04/2023

### Respondent 1:

Namn: Malin Unger

Företag: RISE

Yrkesroll: Projektledare

### Respondent 2:

Namn: Peter Kovacs

Företag: RISE

Yrkesroll: Senior Projektledare

### Solcellsfasad

Peter är i grunden maskiningenjör och har under hela sin karriär på RISE fokuserat på solenergi i olika aspekter. De senaste tio åren har han fascinerat sig för just byggnadsintegrerad solenergi. Malin är arkitekt och de senaste åren har hon inriktat sig på solenergi där hon både har gått en utbildning om solenergiprojektering och nu arbetar som projektledare för byggnader med solel. Både Peter och Malin känner till många solcellsfasadprojekt i Sverige och har god insikt i området.

### Problematik och risk

Både Malin och Peter ser problematik i uppdelningen mellan applicerade och integrerade solceller, eftersom gränsen mellan de två är svår att definiera.

Brandfrågan, när det gäller utförandet av en brandbesiktning, är problematisk. Ska det ske innan anläggningen appliceras eller efteråt, och i så fall hur ska det göras efteråt? Det kan bli svårt att genomföra en brandbesiktning efteråt eftersom möjligheterna att inspektera solcellsanläggningen är begränsade. Ibland försummas brandbesiktningen helt och hållet, särskilt när det gäller applicerade solceller. Malin nämner också, vilket även bekräftas i litteraturen, att många bränder i solcellsanläggningar orsakas av installationsfel och därmed att bristen på möjlighet att besiktiga installationen är problematisk.

Ytterligare en problematik som Malin nämner är att det inte går att byta ut produkten för solcellsfasaden. Det händer ofta att något går fel och det är svårt att hitta ersättningsprodukter. I värsta fall kan byggherren bli sittande med en trasig fasad. Peter tar även upp skuggning som ett problem där det kan uppstå problem om det till exempel byggs en närliggande byggnad som skuggar solcellsfasaden.

När det gäller brandskydd och utrymning säger Malin att hon tror att det kan bli problem särskilt i högre byggnader med utrymning om man har solcellsfasader. Detta beror på att utrymning ofta sker via fasaden, det vill säga fönster, och att solcellsfasaden kan bli som en blockad för utrymning på grund av detta.

### Åtgärder

För att minimera risken som solcellsfasaden utgör rekommenderar Malin att solcellsfasaden ska klassas som brandklass A. Peter nämner dock ett problem med detta: om man klassar en produkt enligt

brandklass A, så vet man fortfarande inte hur hela systemet beter sig. Det går inte att fastställa genom att testa enskilda produkter. Han menar alltså att det är svårt att hantera helheten enbart genom certifieringar.

### Lagstiftning

På frågan om de anser att dagens byggnadsregler är tillräckliga för att hantera implementeringen av solcellsfasader svarar Malin att de är de på grund av att de är så generellt skrivna. Men det blir problematiskt att de är generellt skrivna eftersom det leder till mycket tolkning och godtycklighet, och det krävs lång erfarenhet om man enbart ska förhålla sig till BBR. Det finns ingen bästa väg för solcellsfasader, vilket skapar osäkerhet för oerfarna projektörer när det inte finns några allmänna riktlinjer.

Malin säger att det är en svår balansgång mellan generella och specifika skrivningar. Om BBR bara har generella skrivningar så blir det branschen som måste ta fram en vägledning om hur man ska gå till väga. Problemet är att när branschaktörer tar fram vägledningar så kan det bli fel eftersom de naturligtvis vill sälja sina produkter. Om det inte finns någon lagstiftning som fastställer miniminivån för brandsäkerhet kan branschaktörer ta fram överdrivna riktlinjer. Malin påpekar också att om det inte finns någon lagstiftning så kommer försäkringsbolagen till slut att sätta minimikraven, och de kan då hänvisa till vägledningar som är gjorda av olika branschaktörer och som då kan vara överdrivet gjorda när det kommer till säkerhetsnivån.

Vid frågan av vad de tycker ska vara de brandtekniska minimikraven säger Peter att polymerbaksidor ska bort. Att det ska finnas med besiktning och brandskyddsbeskrivningar. Sedan när det kommer till brandklassning så menar både Peter och Malin att det varierar vilken brandklassning på produkten man ska ha beroende på byggnadens egenskaper och typ. Peter anser att det också bör finnas krav på att säkerställa kompatibiliteten mellan två kontakter från olika fabrikat eftersom detta är en vanlig orsak till fel.

## **Bilaga B3**

Datum: 24/04/2023

Namn: Alexander Elias

Företag: Brandskyddslaget

Yrkesroll: Brand- och riskkonsult

### Solcellsfasad

Alexander jobbar brett med både allmän projektering och med mer specifika brandriskutredningar och i den delen av hans roll har han snöat in sig i innovativa elsystem. Alexander är brandskyddslagets samordnare för deras verksamhetsområde avseende hållbar byggteknik. På den vägen har han kommit i kontakt med solceller, både applicerade och integrerade.

Konсульта sidan börjar se en ökning i efterfrågan av integrerade solcellsfasader berättade Alexander. Även om efterfrågan just nu inte är särskilt hög på grund av viss problematik och osäkerhet kring tekniken, så märker man att det börjar lossna och att det blir allt vanligare med integrerade solcellsfasader. Alexander har erfarenhet av att ha arbetat med projekt där byggherren har visat intresse för solcellsfasader.

### Problematik och risk

Alexander påpekade att fasadsystem redan idag är ganska kniviga att hantera, både för konsulter och entreprenader som ansvarar för att beställa och bygga fasadsystem. Många av dagens fasadsystem är ganska komplicerade i sin struktur och uppbyggnad. Eftersom fasaden måste uppfylla många funktionskrav blir fasadsystemet i sig ganska komplext. Om man dessutom lägger till ett elsystem på den redan komplexa miljön så blir det ännu svårare. Det kräver mycket projektering, granskning och omsorg för att det ska bli bra. Alexander beskriver det som att man tar en redan komplex miljö och lägger till något som är relativt okänt, vilket i grunden kan försvaga fasaden och skapa en potentiell tändkälla. Allt detta gör att hanteringen av integrerade solcellsfasader är en knivig process.

Alexander berättade att räddningstjänsten ser problem med kombinationen utrymning med stegbil genom fönster och integrerade solcellsfasad. Där man normalt sätt gärna vill lägga korgen intill fasaden. Han nämner även att risken för elchock genom strömförande delar blir en fara när man har solcellsfasader, både för de som utrymmer och räddningstjänsten. Dessutom kan dålig projektering leda till en risk för brandspridning i fasaden, vilket kan påverka utrymning och orsaka en omfattande fasadbrand. Rent statistiskt är det växelriktarna som brinner oftast, vilket gör det viktigt att ta hand om risken från den.

### Åtgärder

En åtgärd som Alexander tycker är viktig är att inte bara fokusera på solcellsfasaden utan även titta på dess tillhörande komponenter som till exempel växelriktare som har hög brandfrekvens. Han menar att man bör se över hur dessa placeras, i vilka utrymmen de sitter i och vilka material de är placerade mot.

### Lagstiftning

Vid frågan om Alexander tycker att dagens byggregler är tillräckliga för att hantera införandet av solcellsfasadens svarade han att dagens byggregler inte är tillräckliga för att hantera införandet av solcellsfasader. Även om integrerade solceller är reglerade i BBR så gäller det främst för Br1, och det är inte klart om det är tillräckligt med krav för Br2 och Br3. Kraven på ytterväggar för Br1 är tydliga, men det blir svårapplicerade på integrerade solcellsfasader, vilket ger upphov till mycket tolkningsutrymme. När det både handlar om ytterväggen och elinstallationer i en yttervägg, blir det

ännu svårare att tolka reglerna. Alexander anser att det skulle underlätta om Boverket och branschen kunde ge tydligare riktlinjer för att bättre hantera riskerna med integrerade solcellsfasader. Det finns mycket mer som kan göras än vad som står i BBR för att få ett effektivt brandskydd för en solcellsfasad. Det finns visserligen krav i allmänna råd, men dessa är svårapplicerade på solcellsfasader och det är svårt att tolka vissa delar.

Alexander fick besvara vad han tyckte var lämpliga minimikrav för solcellsfasader. Han ansåg att kraven som står i BBR 5:551 är viktiga att beakta för solcellsfasader, inte bara för Br1-byggnader utan även för Br2 och Br3-byggnader. Samtidigt vill han se att dessa krav kompletteras med detaljkrav eller rekommendationer som tar hänsyn till installationen av solcellsfasader och hela systemet för att ta hand om tändkällor och brandrisk i fasadsystemet. Han anser att avstampet i de fyra punkterna i BBR-kraven är vettigt, men det bör finnas tillägg för att bättre hantera risken med solcellsfasader och installationen som helhet.

## **Bilaga B4**

Datum: 20/09/2023

Namn: Magnus Nyhage

Företag: Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund

Yrkesroll: Brandingenjör och insatsledare

### Solcellsfasad

Magnus Nyhage är brandingenjör och insatsledare i Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund. Magnus har inte kommit i kontakt med just integrerade solcellsfasader i sitt yrke utan har bara hört talas om enskilda projekt men har kommit i kontakt med solceller i andra aspekter till exempel applicerade på tak.

Magnus Nyhage är brandingenjör och insatsledare vid Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund. Under sin yrkeskarriär har han inte direkt kommit i kontakt med just integrerade solcellsfasader utan har bara hört talas om enskilda projekt. Däremot har han haft erfarenhet av solceller i andra kontexter, särskilt när de har använts som takbeklädnad.

### Problematik och risk

Magnus Nyhage identifierade flera problem och riskfaktorer i samband med integrerade solcellsfasader. Ett av de problemen är att dessa fasader måste uppfylla byggnadsreglernas krav enligt BBR, och detta kräver att de testas enligt standarden SP FIRE 105. Ett annat problem är den utmaning som uppstår när räddningstjänsten genomför insatser på byggnader med integrerade solcellsfasader, särskilt när det är svårt att visuellt fastställa förekomsten av sådana solceller. Detta bristande insyn kan innebära okända risker i form av potentiell likström som kan finnas i fasadsystemet, vilket är särskilt problematiskt under nattliga insatser när identifiering av solcellsfasader är svårare.

Magnus övervägde även att problematiken med att integrera solceller i fasader kan vara mer komplex för bostadsbyggnader som saknar avancerade brandtekniska system såsom sprinkleranläggningar, som kan mildra brandens konsekvenser. I jämförelse med byggnader som redan är utrustade med sådana brandtekniska system för att minska eller förebygga brand och dess följder, kan integrerade solcellsfasader vara särskilt problematiska i bostadsbyggnader utan dessa skyddsåtgärder.

När det gäller evakuering pekade Magnus på en potentiell risk i form av fallande delar från fasaden. Han betonade dock att detta problem inte borde vara signifikant om solcellsfasaderna är korrekt testade och certifierade enligt standarden SP FIRE 105. Om solcellsfasaderna kan uppfylla fasadkraven som fastställts enligt denna standard, bör risken för fallande delar vara minimal och under kontroll.

### Åtgärder

En möjlig åtgärd för att säkerställa synligheten av integrerade solcellsfasader är att tillämpa tydlig markering på dem. Denna markering skulle dock behöva balanseras för att undvika negativ påverkan på byggnadens estetiska utseende. Överdriven markering av solcellsfasaden kan nämligen potentiellt inverka negativt på byggnadens estetiska integritet.

Åtgärd för att mildra risker med solcellsfasader är att solcellsfasaden genomgår tester i enlighet med relevanta standarder, exempelvis SP FIRE 105. Denna testning skulle syfta till att kvantifiera och bevisa att solcellsfasaderna innebär en minimal risk och därmed är säkra att använda i praktiska tillämpningar.

### Lagstiftning

När det gäller frågan om huruvida dagens byggregler är adekvata för att hantera införandet av solcellsfasader, framhöll Magnus Nyhage initialt att de befintliga regelverken anses vara tillräckliga. Han hänvisade särskilt till de gällande fasadkraven som föreskriver att integrerade solcellsfasader bör testas i enlighet med standarden SP FIRE 105, vilket i sin tur innebär att de uppfyller säkerhetskraven och är lämpliga för praktisk användning.

Emellertid lyfte han senare fram ett scenario där dessa regelverk inte nödvändigtvis är tillräckliga. Detta scenario uppstår när det finns en tolkning av att de integrerade solcellerna inte betraktas som en del av fasaden och därmed inte behöver uppfylla de befintliga fasadkraven. I en sådan situation kan det vara så att de aktuella byggreglerna inte är tillräckliga för att hantera införandet av solcellsfasader.

Magnus Nyhage uttrycker således att om de befintliga fasadkraven, som specificeras i BBR, också tillämpas på integrerade solcellsfasader, så kan de befintliga byggreglerna anses vara tillräckliga för att reglera införandet av denna teknik.