

BRANDSKYDD I HÖGA BYGGNADER

KUNSKAPSUNDERLAG

2021-01-31



wsp

BRANDSKYDD I HÖGA BYGGNADER

Kunskapsunderlag

KUND

Boverket

KONSULT

WSP Brand & Risk

121 88 Stockholm-Globen

Besök: Arenavägen 7

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

ERIK LUNDSTRÖM

010-722 8575

erik.lundstrom@wsp.com

UPPDRAGSNAMN

Brandskydd i höga byggnader

UPPDRAGSNUMMER

10311827

FÖRFATTARE

Erik Lundström

Ida Ginstrup

DATUM

2021-01-31

ÄNDRINGSDATUM

2021-02-03

Granskad av

Daniel Rosberg

SAMMANFATTNING

Boverket arbetar för närvarande med en bred översyn av byggreglerna inom projektet Möjligheternas byggregler där ambitionen bland annat är att reglerna ska renodlas, bli tydligare och enklare och att reglerna inte ska innehålla allmänna råd eller hänvisningar till standarder. För att förenkla byggandet av höga byggnader och samtidigt säkerställa att säkerheten blir tillräcklig har Boverket haft anledning att se över regleringen av höga byggnader i samband med översynen.

WSP har därför på uppdrag av Boverket tagit fram ett kunskapsunderlag avseende brandskydd i höga byggnader som stöd för myndighetens arbete. Uppdraget har genomförts med en kombination av litteraturstudier och en enkätundersökning för att kunna jämföra de i Sverige gällande brandskyddskraven för höga byggnader med de i andra jämförbara länder. Uppgifter om brandproblematik i höga byggnader, statistiskt underlag på bränder i höga byggnader med mera har inhämtats via vetenskapliga publikationer, branschorgan och myndigheter.

Kunskapsunderlaget sammanfattar viktiga aspekter kopplade till brandskyddet i höga byggnader utifrån den omvärldsanalys som genomförts och innehåller även övergripande förslag på områden som är särskilt viktiga att beakta i samband med framtagandet av nya brandskyddsregler. Uppdraget har dock inte omfattat utarbetande av färdiga författningsförslag eller någon anpassning till ambitionen inom projektet Möjligheternas byggregler att ta bort allmänna råd och hänvisningar till standarder.

Utifrån den genomförda omvärldsanalysen, undersökningen av brandskyddsreglerna i ett antal jämförbara länder samt en analys av tidigare inträffade händelser har ett antal slutsatser kunnat dras:

- Brandskyddskraven i jämförbara länder är generellt högre än i Sverige. I synnerhet är det kravet på bärförmåga vid brand, brandavskiljande konstruktioner, minsta antalet trapphus och sprinkler som skiljer sig.
- Statistiskt sett utmärker sig inte bränder i höga byggnader som en stor brandrisk. Utländska data talar för att brandrisken i höga byggnader snarare är lägre än i låga byggnader, sannolikt på grund av att högre krav ställs på brandskyddets utformning i höga byggnader.
- Allvarliga bränder som inträffat i höga byggnader kännetecknas normalt av brister i brandskyddet kopplade till felaktigt utförande eller felaktig projektering.
- Brännbara fasader/ytterväggskonstruktioner har varit orsak till flera av de allvarligaste bränderna under senare år. Andra återkommande orsaker till de allvarligaste bränderna utgörs av extrema händelser som brandskyddet inte varit dimensionerat för.
- Tillfredställande brandskydd kan sannolikt erhållas även utan sprinkler i höga byggnader, åtminstone för vissa byggnadstyper och verksamhetsklasser, under förutsättning att det passiva brandskyddet är robust och detaljutförande samt underhåll är tillfredställande.

Boverkets byggregler bedöms i hög grad täcka in den övergripande riskbilden med höga byggnader. För att möjliggöra uppförandet av byggnader över 16 våningar inom ramen för förenklad dimensionering bedöms det dock vara nödvändigt att anpassa delar av regelverket, varav följande aspekter bedöms vara de viktigaste:

- Det bör finnas ett tak för hur höga byggnader som kan tillåtas inom förenklad dimensionering eftersom riskökningen inte nödvändigtvis är linjär med byggnadshöjden. Nuvarande begränsning om 16 våningar kan dock sannolikt höjas.
- Allvarliga fasadbränder bör så långt som möjligt förhindras.
- Bärförmågan vid brand bör dimensioneras för fullständigt brandförlopp inklusive avsvalningsfas (eng: full burnout).

Det kan också konstateras att den riskbild som föreligger i höga byggnader, t.ex. riskerna kopplade till vertikal brandspridning, i stor utsträckning är relevant också för höga byggnader som är lägre än 16 våningar.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	6
1.1	PROBLEMSTÄLLNING	6
1.2	MÅL	6
1.3	OMFATTNING	7
1.4	FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR	7
2	METOD	8
3	BAKGRUND	8
3.1	DEFINITION AV HÖG BYGGNAD	8
3.2	BESTÄMNING AV BYGGNADSHÖJD	9
3.3	HÖGA BYGGNADER I SVERIGE	9
3.4	SIGNIFIKANTA BRÄNDER I HÖGA BYGGNADER	10
3.5	SÄRSKILDA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BRANDSKYDD	11
3.6	BRANDRISK I HÖGA BYGGNADER	13
4	BRANDSKYDD I HÖGA BYGGNADER I SVERIGE	16
4.1	HISTORISKA FÖRÄNDRINGAR I SVERIGES BYGGREGLER	16
4.2	BRANDSKYDDSUTFORMNING I BEFINTLIGA HÖGA BYGGNADER	17
4.3	ÅTERKOMMANDE PROJEKTERINGSFRÅGOR I HÖGA BYGGNADER I SVERIGE	19
5	INTERNATIONELL JÄMFÖRELSE	21
6	ANALYS	27
6.1	MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND	27
6.2	BRÄNNBARA MATERIAL I FASADER OCH YTTERVÄGGAR	29
6.3	RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATS	30
6.4	BÄRFÖRMÅGA VID BRAND	30
6.5	AUTOMATISKA SLÄCKSYSTEM	31
6.6	ÖVRIGA OBSERVATIONER	32
7	MÖJLIGHET TILL JUSTERAD KRAVNIVÅ I SVERIGE	34
7.1	MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND	34
7.2	SKYDD MOT BRAND- OCH BRANDGASSPRIDNING MELLAN BRANDCELLER	35
7.3	SKYDD MOT BRANDSPRIDNING MELLAN BYGGNADER	38
7.4	BRANDTEKNISKA INSTALLATIONER	38
7.5	MÖJLIGHET TILL RÄDDNINGSINSATSER	39
7.6	BÄRFÖRMÅGA VID BRAND	40
8	REGLERINGSMÖJLIGHETER	41
9	DISKUSSION	43
10	SLUTSATS	44

11 BEHOV AV FORTSATT ARBETE	46
12 REFERENSER	48
BILAGOR	53
BILAGA A – SAMMANSTÄLLNING AV HÖGA BYGGNADER I SVERIGE	53
BILAGA B – ENKÄT	56

1 INLEDNING

Boverket arbetar för närvarande med en bred översyn av byggreglerna inom projektet Möjligheternas byggregler där ambitionen bland annat är att reglerna ska renodlas, bli tydligare och enklare och att reglerna inte ska innehålla allmänna råd eller hänvisningar till standarder.

För att förenkla byggandet av höga byggnader och samtidigt säkerställa att säkerheten blir tillräcklig har Boverket haft anledning att se över regleringen av höga byggnader i samband med översynen. Boverket har därför efterfrågat en utredning som ska utgöra ett kunskaps- och beslutsunderlag för myndighetens arbete med översynen av reglerna för brandskydd.

1.1 PROBLEMSTÄLLNING

Höga byggnader är principiellt förenade med en högre riskbild än lägre byggnader då den befarade konsekvensen är större. I förhållande till låga byggnader finns generellt försämrade förutsättningar för utrymning samt en ökad risk kopplad till vertikal brandspridning och byggnadskollaps. Höga byggnader ställer även stora krav på räddningstjänstens personal som kan behöva förflytta sig högt upp i en byggnad, då de inte kan komma åt byggnaden från utsidan och inte kan använda sin egen utrustning för att säkerställa brandvattenförsörjning. Samtidigt försvåras utrymningen av det stora antalet personer som kan befinna sig i byggnaden och den långa tid som behövs för utrymning. Detta kan ställa höga krav på det byggnadstekniska brandskyddet.

Förenklad dimensionering kan i nuläget tillämpas för byggnader upp till och med 16 våningsplan, där efter blir byggnaden en Br0-byggnad där byggherren själv genom analytisk dimensionering behöver ta ställning till om utförandet av brandskyddet är acceptabelt. Boverket har dock haft anledning att tro att nuvarande kravnivå som gäller för byggnader upp till och med 16 våningsplan i mångt och mycket idag i praktiken är nivåsättande även för högre byggnader.

Motivet till att införa Br0-byggnader i BBR 19 var bland annat att sådana byggnader är mycket komplexa och unika. Detta stämmer väl in på exempelvis arenor, undermarksanläggningar, sjukhus och andra byggnader med särskilda förutsättningar. Vad gäller höga byggnader i form av exempelvis flerbostadshus är dessa dock i många fall relativt lika lägre byggnader av motsvarande utförande i de avseenden som är relevanta för brandskyddet.

Samtidigt är det rimligt att staten reglerar vad som ska avgöra nivån för vad som är acceptabelt brandskydd i en mycket hög byggnad, exempelvis vad det gäller minsta antal trapphus och huruvida det ska krävas automatiskt släcksystem över ett visst antal våningar och liknande grundläggande krav.

I samband med BBR 19 infördes även regler för räddningshissar och utrymningshissar. Kraven är dock inte utformade som fullgoda funktionskrav i nuläget, något som skapat problem vid tillämpningen.

1.2 MÅL

Målet är att denna utredning ska utgöra ett kunskaps- och beslutsunderlag för Boverkets arbete med översynen av reglerna för brandskydd för höga byggnader.

1.3 OMFATTNING

Uppdraget har omfattat följande delar:

- Omvärldsanalys: En sammanställning och jämförelse med vilka brandskyddskrav som ställs på höga byggnader i andra jämförbara länder.
- Utvärdering om dagens 16-våningsgräns för Br0-byggnader är en lämplig nivå.
- Framtagande av övergripande förslag på vilka områden som behöver regleras och hur de övergripande kan utformas för höga byggnader. Nedanstående punkter ska analyseras:
 - Möjligheten till utrymning, t.ex. via trapphus och med hjälp av hissar
 - Räddningstjänstens insats, t.ex. tillgång till och utformning av räddningshiss och släckvatten
 - Byggnadens bärförmåga vid brand
 - Behov av släcksystem
- En redogörelse för vidare utredningsbehov och övriga observationer som uppkommer under arbetet med kunskapssammanställningen.

Dessa områden behandlas huvudsakligen i följande avsnitt av denna rapport:

- Omvärldsanalys – kapitel 4.2, 5 och 6
- Förslag till områden som behöver regleras – kapitel 7 och 8
- Redogörelse för vidare utredningsbehov – kapitel 11
- Övriga observationer – kapitel 6.6

1.4 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR

Denna utredning avgränsas till byggnader över 16 våningar i verksamhetsklass Vk1, Vk3A och Vk4. Denna avgränsning görs då det endast i undantagsfall har uppförts byggnader över 16 våningar innehållande övriga verksamhetsklasser förutom i bottenplanet. Byggnader över 16 våningar innehållande andra verksamhetsklasser eller kombinationer av verksamhetsklasser bedöms även fortsättningsvis behöva hanteras inom ramen för analytisk dimensionering då förutsättningarna kan skilja sig väsentligt, t.ex. beroende på om en samlingslokal i Vk2B/C är belägen på 2 plan eller 32.

Arbetet har förutsatt att säkerhetsnivån och lösningarna i allmänna råd tillämpliga vid förenklad dimensionering av byggnader upp till 16 våningsplan innebär att brandsäkerheten blir tillfredsställande. Det har således inte ingått att ompröva om säkerhetsnivån som följer av förenklad dimensionering är tillräcklig. Det har heller inte ingått att utvärdera huruvida dagens säkerhetsnivå i byggreglerna för högre byggnader än 16 våningar är acceptabel avseende säkerhet vid händelse av brand.

I uppdraget har inte heller ingått att utvärdera alternativa utrymningsstrategier, t.ex. samtidig utrymning av hela byggnaden eller speciallösningar som t.ex. horisontell utrymning till annan byggnad/byggnadskropp. En implementering av alternativa utrymningsstrategier inom ramen för förenklad dimensionering skulle förutsätta anpassningar av brandskyddsreglerna i flera övriga avseenden och även innebära en stor förändring mot i dag gällande byggregler i Sverige. I samråd med Boverket har projektet därför valt att inte utreda detta närmare.

Kunskapsunderlaget ska sammanfatta viktiga aspekter kopplat till brandskyddet i höga byggnader och även ge övergripande förslag på områden som kan behöva regleras. Ingen hänsyn har i detta avseende tagits till ambitionen inom Boverkets projekt Möjligheternas byggregler att förenkla reglerna och ta bort allmänna råd och hänvisningar till standarder.

2 METOD

Uppdraget har genomförts med en kombination av litteraturstudier och en enkätundersökning i syfte att identifiera brandskyddskrav för höga byggnader internationellt.

Den internationella jämförelsen av brandskyddsregler för höga byggnader baseras på svar från WSPs brandsakkunniga samt tidigare kollegor i jämförbara länder. Svar har erhållits från Australien, Danmark, England, Hong Kong, Norge, Nya Zeeland, Sydafrika och USA och har i vissa fall följts upp med kontrollfrågor där behov förlegat.

Uppgifter om brandproblematik i höga byggnader, statistiskt underlag på bränder i höga byggnader med mera har inhämtats via vetenskapliga publikationer, branschorgan och myndigheter, t.ex. SFPE, NFPA och MSB. Underlag avseende problem och frågeställningar kopplat till tillämpningen av dagens byggregler för höga byggnader baseras på erfarenheter från projekt WSP deltagit i samt vägledning och rapporter från räddningstjänsterna i storstadsregionerna, SBUF, BIV m.fl. Även Boverkets fråga/svar¹ och PBL Kunskapsbanken har utgjort underlag.

Löpande avstämningsmöten har hållits med Boverket för val av avgränsningar och styrning av arbetet.

3 BAKGRUND

3.1 DEFINITION AV HÖG BYGGNAD

I Sverige finns ingen vedertagen definition för när en byggnad ska betraktas som "hög". Vad som betraktas som högt kan även skilja sig inom olika teknikområden, t.ex. eftersom vissa tekniska lösningar bara är lämplig upp till en viss höjd, exempelvis stomkonstruktioner, hissar och VA-system. I vardagligt tal betraktas ibland byggnader om 7-8 våningar eller fler som höghus, i synnerhet om de är belägna i ett område med lägre bebyggelse. En mer tydlig definition kan dock vara att betrakta byggnader över 8 våningar som höghus eftersom dessa utgör en väsentligt mindre andel av byggnadsbeståndet än byggnader om 8 våningar eller lägre. Detta kan sannolikt kopplas till att de brandtekniska kraven i vissa delar skiljer sig påtagligt mellan byggnader upp till 8 våningar och byggnader över 8 våningar.

SFPE har ingen egen definition men noterar att byggreglernas brandskyddskrav för höga byggnader normalt finns till för att hantera byggnader dit räddningstjänstens höjdfordon inte kan nå. I många regelverk börjar sådana brandskyddskrav gälla från 3-7 våningar eller från ca 17-20 meter [1]. SFPE skiljer också på höga byggnader och "mycket höga byggnader" (very tall buildings), där de senare kännetecknas av att den stora höjden innebär särskilda utmaningar för utformningen av brandskyddet och därför behöver utformas med brandskydd utöver vad som följer av den traditionella utformningen [2].

I NFPA definieras en byggnad över 75 ft (~23 m) som en hög byggnad (high-rise) [2] medan bostadshus med minst ett våningsplan 18 m över mark betraktas som ett höghus i Skottland [3]. Precis som i Sverige är det dock många länder vars regelverk saknar en explicit definition för vad som utgör en *hög byggnad*. I regelverken finns det däremot vanligen en eller flera brytpunkter kopplade till höjd och/eller antal våningar där det sker tydliga förändringar i kravnivån. För högre byggnader är dessa brytpunkter exempelvis 23 m i USA, 25 m i Australien och 30 m i Hong Kong, Storbritannien och Sydafrika. Att notera är att dessa höjder generellt är sammankopplade med den högsta höjden som räddningstjänsten förväntas nå med sitt höjdfordon.

¹ Återpublicerade på www.utkiken.net

Enligt intresseorganisationen CTBUH, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, finns ingen absolut definition av vad som utgör en hög byggnad ("tall building"). CTUBH anser dock att det inte enbart är byggnadshöjden som är relevant utan även den relativa höjden i förhållande till omgivande byggnader, proportionen höjd/byggnadsarea och den tekniska utformningen bör vägas in. Som exempel anges att en byggnad om 14 våningar eller mer, alternativt högre än 50 meter, typiskt sett kan betraktas som en "tall building" [4].

3.2 BESTÄMNING AV BYGGNADSHÖJD

Det finns ett flertal olika sätt att mäta byggnadshöjd för högre byggnader. CTBUH använder tre olika kategorier [4]: Avståndet från den lägst belägna, signifikanta, fotgängarentrén i det fria till:

1. Den arkitektoniskt högsta punkten (höjd exkl. antenner, master, skyltar och liknande teknisk utrustning)
2. Golvnivån i den högst belägna våningen
3. Byggnadens högsta punkt (oaktat funktion, material i översta delen m.m.)

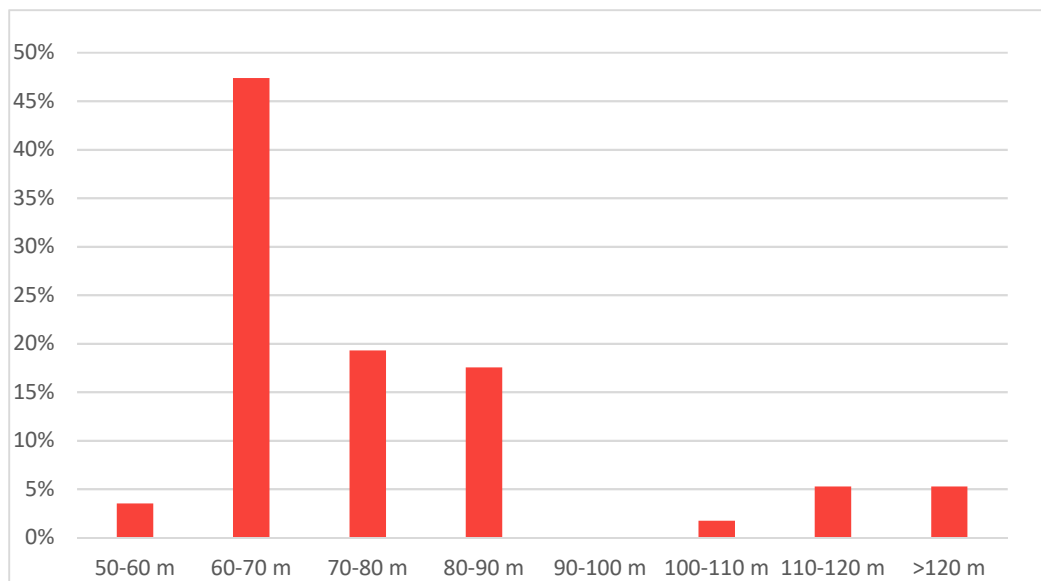
I NFPA 101 beräknas 23-metersgränsen från den lägsta nivå som räddningstjänstens uppställningsplats är belägen på. I Sverige definieras byggnadshöjd, källare, vind, våningar och plan m.m. i PBL, PBF, Plan- och byggtermer 1994, TNC 95 samt i BBR kapitel 1:6. Som följer av Boverkets rapport [5] och uppföljande rapport med exempel på reglering av byggnadsverks höjder och våningsantal [6] är det dock inte helt trivialt att bestämma byggnadshöjd, vad som utgör ett våningsplan m.m.

Det kan även noteras att vissa av brandskyddskraven i BBR, t.ex. vad gäller bärförmåga vid brand och krav på räddningshiss, är kopplade till våningsantalet medan andra krav, t.ex. behov av trycksatta stigarledningar, är kopplade till byggnadshöjden.

3.3 HÖGA BYGGNADER I SVERIGE

En sammanställning av de högsta byggnaderna i Sverige [7], se Bilaga A, visar att det idag finns minst 54 färdigställda byggnader med fler än 16 våningsplan. Av dessa har ca 70% av byggnaderna en arkitektonisk höjd mellan 60-80 meter och endast sju befintliga byggnader är över 100 meter, se Figur 1. I jämförelse har exempelvis Storbritannien 108 stycken färdigställda byggnader över 100 meter [8].

Som framgår av sammanställningen i Bilaga A finns det många pågående och planerade byggnader i Sverige med en höjd över 100 m [7]. Detta är ett tydligt trendbrott i förhållande till 00-talet i stort där endast ett fåtal höga byggnader uppfördes.



Figur 1: Fördelning av befintliga byggnader vars arkitektoniska höjd överstiger 50 meter inom Sverige [7].

3.4 SIGNIFIKANTA BRÄNDER I HÖGA BYGGNADER

Utifrån de sammanställningar som gjorts av signifikanta bränder i höga byggnader kan konstateras att orsaken till de stora konsekvenserna oftast är en följd av att en eller flera barriärer har fallerat, alternativt att byggnaden utsatts för en mycket större brandpåverkan än den varit dimensionerad för [9] [10]. Anmärkningsvärda händelser under 2000-talet är bland annat World Trade Center i NYC där 2312 personer omkom efter en terroristattack, Grenfell Tower i London där 72 personer omkom och Tohid Town Residential i Tehran där 106 personer omkom. Tidigare anmärkningsvärda händelser är bland annat bränderna i Winecoff Hotel år 1946 (119 omkomna) och MGM Grand år 1980 (85 omkomna). Förutom de omnämnda händelserna, vilka kännetecknas av ett stort antal omkomna, så har det inträffat flera signifikanta bränder där dödsfall kunnat undvikas men som ändå inneburit mycket omfattande brandspridning och partiell eller total kollaps av byggnaden, t.ex. branden i Windsor Tower i Madrid år 2005. En sammanställning av historiska bränder återges av Li, Jiang och Zhang [9] samt SFPE [2].

Bränderna med de största konsekvenserna har inte sällan varit en följd av extrema händelser (t.ex. flygplanskrasch, explosioner, jordbävningar eller anlagd brand). Andra vanligt förekommande bakgrundsorsaker är att brandtekniska system varit ur funktion eller underhållet varit eftersatt (t.ex. bränder under byggtid) samt att byggnaderna inte utförts enligt reglerna (t.ex. brännbara fasadmateriäl). Vad gäller specifikt fasadbränderna kan dock dessa högriskkonstruktioner i vissa fall ha varit en följd av otillräckliga eller svårtolkade regelverk och inte nödvändigtvis att utformningen var regelvidrig.

I SFPE:s guide *Fire Safety for Very Tall Buildings* [2] görs en sammanfattning av lärdomar från ett antal signifikanta bränder i höga byggnader. De undersökta bränderna var förvisso distinkta men ett antal faktorer var återkommande och gemensamma för flera av dem. De generella lärdomarna från dessa händelser har i olika grad påverkat utformningen av internationella byggregler och standarder och omfattar:

- Oskyddade vertikala öppningar
- Otillräckligt brandskyddade konstruktioner
- Brännbara material i dolda utrymmen
- Otillräckliga hissfunktioner
- Otillräcklig kontroll av brand, antingen genom automatiskt vattensprinklersystem eller passiva skydd som brandcellsgränser, eller båda.
- Otillräckliga utrymningsmöjligheter, inklusive möjligheten att återinrymma från trapphus

- Brännbara ytskikt
- Brännbara ytterväggar
- Otillräcklig redundans för kritiska system, t.ex. vatten- och elförsörjning
- Otillräckligt underhåll av brandtekniska system och utrymningsvägar
- Otillräcklig nödlägesplanering, inklusive brandövningar och system för notifiering/alarmering.

Utifrån de lärdomar och erfarenheter som gjorts under årens lopp har brandskyddsreglerna succesivt förändrats och nya krav införts. En mängd nya krav infördes i IBC och NFPA 101 efter terroristattacker mot World Trade Center, bland annat utökade krav på underhåll av brandtekniska installationer, förstärkta trapphus, krav på ett tredje trapphus i byggnader över 420 ft, bredare trapphus för att möjliggöra samtidig insats, höjda krav på vattenkälla i höga byggnader samt radiokommunikationssystem för räddningstjänsten [11]. I New York infördes även retroaktiva krav på automatiska sprinklersystem i alla kontorsbyggnader över 30 m (100 ft) [12]. På senare tid har branden i Grenfell Tower haft stor effekt på byggreglerna i främst Storbritannien och Australien.

Det kan konstateras att brandskyddskraven för höga byggnader, precis som för övriga byggnadstyper, till stor del är erfarenhetsbaserade och att regelverken inte alltid har hängtt med och kunnat fånga den snabba tekniska utvecklingen och de särskilda förutsättningarna inom höga byggnader och då speciellt för väldigt höga byggnader [13].

3.5 SÄRSKILDA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BRANDSKYDD

Höga byggnader har på grund av sin höjd särskilda förutsättningar som påverkar brandsäkerheten i byggnaden. Termen *särskild förutsättning* används här för att beskriva de förutsättningar, svårigheter, aspekter, faktorer och motsvarande, som kan förväntas ha påverkan på byggnadens riskbild och i förlängningen utformningen av brandskyddet. Dessa faktorer sammanfattas kortfattat nedan och beskrivs närmare av bl.a. SFPE [2], BIV [14] [15] och SSBF [16].

3.5.1 Möjlighet till utrymning

För höga byggnader kan utrymningsförloppet vara förenat med stora svårigheter då tid för utrymnings-tid ökar med ökande byggnadshöjd. För väldigt höga byggnader kan utrymning via trapphus vara mycket komplicerat. SFPE poängterar vikten av att ha en utrymningsstrategi som är effektiv och lämplig för den specifika byggnaden och verksamheten [2]. För höga byggnader måste det särskilt beaktas om personer kan utrymma till det fria på egen hand då den långa vertikala förflyttningen kan leda till utmattning. Om byggnaden innehåller flera olika verksamheter kan detta ställa ännu högre krav på en effektiv utrymningsstrategi och brandtekniska system.

I högre byggnader, kan även finnas större svårigheter för kommunikation både till personer i byggnaden och mellan räddningspersonal. Om kommunikation behöver ske från räddningspersonal till personer i byggnaden kan det därför krävas någon form av system för varseblivning, t.ex. utrymningslarm. Vid branden i Grenfell Tower konstaterades detta vara ett problem i samband med att principen att stanna kvar i den egna lägenheten övergavs och beslutet togs att utrymma hela byggnaden. Räddningstjänsten fick då förlita sig på samtal via larmcentralen och megafoner [17].

3.5.2 Brandspridning mellan och inom byggnader

Då det finns försvårande omständigheter avseende t.ex. längre utrymningstid och längre insatstider för räddningstjänsten i höga byggnader kan det bli nödvändigt att beakta om det finns en utökad risk för brand- och brandgasspridning mellan och inom byggnader. Detta kan medföra ett utökat behov av att skydda kritiska brandavskiljande konstruktioner och system som är viktiga för brandskyddet.

Utvändig släckinsats i höga byggnader är komplicerat och över en viss höjd inte längre möjligt. Brandspridning som sker längs fasaden eller i ytterväggen kan därför få stora konsekvenser. I höga byggnader är skorstenseffekten dessutom förstärkt och innebär att rök från en brand snabbt kan spridas inom byggnaden på grund av de luftströmmar som skapas. Denna rökspridning kan ske antingen uppåt eller neråt beroende på bl.a. temperaturskillnaden mellan byggnadens in och utsida. [2]. Risken för brandspridning via vertikala schakt och hålrum blir därför särskilt påtaglig. Brandskyddet i höga byggnader är dessutom likt övriga byggnader normalt inte dimensionerat för att kunna hantera flera samtidiga bränder eller bränder omfattande flera våningar (brandceller).

I en genomgång av bränder i höga hus som omfattat flera våningsplan konstaterar Cowlard et.al. att vertikal brandspridning kan ske extremt snabbt och utan möjlighet för sprinklersystemet att kunna begränsa branden [13]. Detta blir uppenbart då sprinklersystem normalt dimensioneras med en verkningsyta om 72 m² vid riskklass OH1 [18]. Om en brand sprider sig vertikalt mellan flera våningsplan kan verkningsytan därmed överstigas mycket snabbt. På grund av de potentiellt stora konsekvenserna är det därför av särskild vikt att förhindra vertikal brandspridning, oavsett om detta sker via fasaden eller internt via öppningar/håligheter i bjälklag eller yttervägg.

Höga byggnader har stora fasadytor och ofta stora fönsterareor, speciellt i kontor, vilket kan bidra till risken för brandspridning till närliggande byggnader. Brandspridning mellan byggnader blir dessutom särskilt svår att bekämpa eftersom utvärdig brandbekämpning försvåras eller omöjliggörs.

3.5.3 Räddningstjänstens insats

Räddningstjänstens möjlighet till insats är mer problematisk vid insatser i höga byggnader. Svårigheter med räddningsinsatser i höga byggnader beskrivs närmare i vägledningar från BIV [15], SSBF [16] och SFPE [2] och kan summeras i följande punkter:

- *Tillgänglighet:* Byggnadens höjd överstiger höjdfordonens räckvidd och endast invändig insats kan ske utom för de lägsta våningsplanen. En lång vertikal förflyttning inom byggnaden medför förlängd insatstid som i sin tur medför att branden får längre tid att utvecklas.
- *Överblickbarhet:* Höjden medför svårigheter att överblicka byggnaden och branden, skapa en lägesbild över situationen och förstå byggnadens brandskydd och hur de olika systemen är uppbyggda.
- *Kommunikation:* Byggnadens höjd, typ av konstruktion och utformning kan försvåra samband via kommunikationsradio inom byggnaden, vilket är en förutsättning för en effektiv insats och för att insats med rökdykare ska kunna genomföras.
- *Vattenförsörjning:* Byggnadens höjd kan medföra svårigheter med tillgång till släckvatten då pumptrycket från räddningstjänstens släckbilar inte är högt nog för att ge tillräckligt tryck och flöde för insats.
- *Konstruktion:* Problem med brandmotståndet i byggnaden vid långvarig brandpåverkan vilket innebär att kollaps kan ske av byggnaden under räddningstjänstens insats.
- *Utrymning:* Utrymmande personer använder normal samma trapphus som räddningstjänsten nyttjar som angreppsvägar. Detta kan fördröja eller komplicera insatsen och risken för detta ökar normalt ju fler människor som ska utrymmas.

3.5.4 Bärförmåga vid brand

Konsekvensen av att en hög byggnad kollapsar är principiellt högre än för en låg byggnad. Detta beror på att fler personer kan befinna sig i byggnaden men även att en kollaps av en hög byggnad också kan påverka omkringliggande byggnader.

Bärförmågan vid brand måste vara anpassad utifrån utrymningsstrategin för byggnaden. Om utrymningsstrategin baseras på utrymning endast av startbrandcellen och att övriga personer kan vänta i säkerhet i annan brandcell, d.v.s. den gängse strategin i Sverige (åtminstone för flerbostadshus), måste bärverket vara dimensionerat för fullständigt brandförlopp inklusive avsvafningsfas (eng: full burnout). För en utrymningsstrategi baserad på fullständig utrymning av byggnaden kan potentiellt en lägre kravnivå, eller i vart fall reducerade säkerhetsmarginaler, eventuellt accepteras under förutsättning att alla personer ändå kan förväntas ha utrymt själva eller fått hjälp att utrymma innan kollaps sker. Det senare kan dock vara svårt att säkerställa utan hjälp av t.ex. utrymningshissar. Den strukturella integriteten hos bärande konstruktioner är därmed avgörande för att säkerställa en fullständig utrymning av byggnaden och säkerheten för räddningstjänstens personal. I en hög byggnad är både utrymnings- och insatstiden relativt sett längre än i låga byggnader vilket också bör återspeglas i byggnadens bärförmåga vid brand [2].

Utöver tillfredställande utrymnings- och insatsmöjligheter behöver ytterligare aspekter beaktas, exempelvis riskerna med nedfallande byggnadsdelar och en ökad risk för brandspridning mellan byggnader. Även miljöpåverkan och egendomsskador bör beaktas ur ett hållbarhetsperspektiv och det ligger också i samhällets intresse att höga byggnader inte kollapsar vid brand och därmed förknippas med stora brandrisker.

3.5.5 Övrigt

Väldigt höga byggnader anses ofta vara ikoniska på grund av sin ovanlighet och/eller på grund av sin utmärkande höjd i förhållande till omgivande byggnader. Byggnaders ikoniska karaktär kan därmed innebära en högre risk för exempelvis antagonistiska hot vilket kan behöva hanteras vid projekteringen.

3.6 BRANDRISK I HÖGA BYGGNADER

Statistik avseende inträffade bränder i höga byggnader förekommer flera olika databaser tillhörande både offentliga och privata organisationer. Informationen är värdefull i riskvärderingssammanhang eftersom den indikerar vilka aspekter som det bör tas särskild hänsyn till vid utformning av byggregler i allmänhet och brandskyddsregler i synnerhet.

3.6.1 Sverige

Genom MSB:s statistik- och analysverktyg IDA kan utläsas detaljerad statistik om dödsbränder och omkomna i bränder. Mellan 1999-2015 omkom sammanlagt 1591 personer i bränder i byggnader i Sverige. Av dessa omkom 685 personer i bränder i någon av byggnadskategorierna *flerbostadshus*, *hotell/pensionat* samt *förvaltningsbyggnad/kontor*. Det saknas data gällande byggnadshöjd alternativt våningsantal för dessa dödsbränder så det går inte att utläsa hur många av dessa som inträffat i höga byggnader. Däremot kan konstateras att det endast vid 28 av dessa bränder omkom fler än 1 person. Av dessa 28 var det 22 bränder där 2 personer omkom, 5 bränder där 3 personer omkom och endast vid ett tillfälle omkom fler än 3 personer (branden på Kuddbygränd i Rinkeby då 7 personer omkom).

Även utan närmare uppgift om byggnadshöjd/våningsantal och möjlighet att sortera på om dödsfallen (vid fler än en omkommen) inträffat i startbrandcellen eller ej så kan det konstateras att det är ovanligt att fler än 1 person omkommer till följd av brand i dessa byggnadstyper och mycket ovanligt att fler än 3 personer omkommer.

Därmed kan också konstateras att bränder i höga byggnader med flera omkomna inte hittills visat sig vara ett problem i Sverige, åtminstone inte efter år 1999 och, så vitt författarna känner till, inte heller före det. Samtidigt kan konstateras att antalet byggnader över 16 våningar är förhållandevis få och därmed är det stora osäkerheter förenade med att göra en direkt jämförelse mot brandrisken i lägre byggnader för vilka det statistiska underlaget är betydligt större.

3.6.2 Internationellt

Australien

Enligt en sammanställning av Bushfire and Natural Hazard CRC [19] inträffade det totalt 900 dödsfall i bostadsbränder i Australien mellan 2004-2017. Detta motsvarar 64 dödsfall per år och totalt 0,29 dödsfall per 100 000 personer. Av dessa bränder inträffade majoriteten av dödsfallen (67,1% motsvarande 600 dödsfall) i fristående bostadshus och endast fem dödsfall inträffade i kategorin "övriga byggnader" omfattande höga byggnader (>25 m), sovsalar och tält. Det framgår inte explicit av rapporten men det mesta tyder på att inget eller möjligen bara enstaka av dessa fem dödsfall inträffat i höga byggnader.

England

I en artikel gällande följderna av branden i Grenfell Tower [17] hänvisas till en sammanställning från National Fire Chief's Council (NFCC). Enligt NFCC inträffade drygt 57,000 bränder i höga bostadshus mellan 2010 och 2017. Av dessa skedde utrymning av fler än fem boende endast i 0,4% av fallen.

Enligt data från Englands Home Office Incident Recording (IRS) genomfördes i genomsnitt 93 000 räddningsinsatser om året mellan 2019 och 2020 mot bränder i bostadshus. Av dessa var ca 3 % i byggnader över 10 våningar och av dessa var det endast fyra bränder årligen som resulterade i dödsfall [20] [21]. Från IRS finns även data över antalet insatser och dödsfall till följd av brand fördelat på byggnadstyp, se Tabell 1 och Tabell 2 [22].

Risken för dödsfall till följd av brand i höga byggnader över 16 våningar i förhållande till alla övriga bostadsbyggnadstyper kan konstateras vara ungefär densamma när det gäller flerbostadshus men lägre i jämförelse med småhus. År 2017 utgör ett tydligt undantag till detta och kan härledas till branden i Grenfell Tower. Osäkerheterna i rapporterade data gör dock att det inte går att utläsa om de finns en snedfördelning i brändernas karaktär för olika bostadstyper, t.ex. bränder i eldstäder vilket sannolikt inte förekommer alls i höga byggnader.

Tabell 1: Insatser mot bränder i bostäder i England fördelat på byggnadstyp

Year	Total fires	Dwelling Type							
		House - single occupancy	Bungalow - single occupancy	Converted Flat/Maisonette - single occupancy	Purpose Built Low Rise (1-3) Flats/Maisonettes	Purpose Built Medium Rise (4-9) Flats	Purpose Built High Rise (10+) Flats	Dwelling - multiple occupancy	Other dwelling ³
2009/10	38 376	19 469	1 896	2 221	6 447	2 156	1 261	1 121	2 914
2010/11	36 611	19 387	1 862	2 195	6 300	2 088	999	1 052	2 728
2011/12	35 417	18 678	1 787	2 132	6 088	2 075	1 060	994	2 603
2012/13	33 300	17 384	1 794	2 360	5 473	2 011	845	743	2 690
2013/14	31 910	16 995	1 723	2 271	5 038	1 935	801	673	2 474
2014/15	31 334	16 512	1 698	2 315	5 016	1 892	773	639	2 489
2015/16	31 372	16 557	1 743	2 261	5 098	1 878	760	663	2 412
2016/17	30 345	16 194	1 713	2 071	4 907	1 848	713	610	2 289
2017/18	30 819	16 245	1 690	2 153	5 013	1 957	800	630	2 331
2018/19	29 594	15 363	1 656	2 148	4 958	1 889	821	610	2 149
2019/20	28 484	14 575	1 578	2 047	4 841	1 905	775	629	2 134
Year ending June 2019	29 165	15 046	1 621	2 118	4 894	1 936	800	613	2 137
Year ending June 2020	28 398	14 703	1 539	2 027	4 757	1 870	783	636	2 083

Tabell 2: Dödsbränder i bostäder i England fördelat på byggnadstyp

Year	Total Fatalities	Dwelling Type							Other dwelling ²
		House - single occupancy	Bungalow - single occupancy	Converted Flat/Maisonette - single occupancy	Purpose Built Low Rise (1-3) Flats/Maisonettes	Purpose Built Medium Rise (4-9) Flats	Purpose Built High Rise (10+) Flats	Dwelling - multiple occupancy	
2009/10	257	128	33	13	36	12	12	7	16
2010/11	255	121	40	9	37	10	10	8	20
2011/12	233	134	27	10	22	7	10	8	15
2012/13	211	114	27	11	21	8	3	5	22
2013/14	217	131	14	13	31	10	2	4	12
2014/15	195	102	21	11	27	8	4	4	18
2015/16	227	122	23	13	31	9	3	5	21
2016/17	216	120	24	11	29	14	4	3	11
2017/18	264	96	23	13	38	7	73	4	10
2018/19	198	109	21	8	28	10	4	5	13
2019/20	199	96	26	12	32	4	5	7	17
Year ending June 2019	219	118	21	11	30	7	5	7	20
Year ending June 2020	183	90	25	11	28	6	4	6	13

USA

Enligt en sammanställning av NFPA [23] genomfördes i genomsnitt 14 500 räddningsinsatser om året mot bränder i höga byggnader mellan år 2009-2013; här definierat som byggnader över 7 våningar. Under samma tidsperiod omkom i snitt 40 personer per år i bränder i höga byggnader. Av underlaget framgår vidare att både andelen dödsbränder och genomsnittliga egendomsskadorna per 1000 bränder är *lägre* i höga byggnader än i låga byggnader av motsvarande typ [verksamhetsklass]. Höga byggnader har även lägre andel bränder med brandskador utanför startutrymmet vilket NFPA menar är en effekt av brandskyddets utformning. [Det är troligt att diskrepansen i hög grad kan tillskrivas kravet på sprinkler i höga byggnader men det framgår inte uttryckligen av rapporten].

Av genomsnittet på 14 500 bränder i höga byggnader så inträffade ca 66 % av dessa i bostadslägenheter eller studentkorridorer, 4 % i hotell och 2 % i kontor. Övriga inträffade i byggnader med en kombination av olika verksamhetsklasser. Kök/matlagningsutrymmet utgjorde startutrymmet i en stor majoritet av dessa bränder, både vad gäller bostadslägenheter och hotell/motell.

4 BRANDSKYDD I HÖGA BYGGNADER I SVERIGE

4.1 HISTORISKA FÖRÄNDRINGAR I SVERIGES BYGGREGLER

I Tabell 3 sammanfattas relevanta förändringar i regelverket för höga byggnader i Sverige. I sammanställningen har även krav för byggnader över 8 våningar inkluderats. Det bör noteras att specifika krav för höga byggnader som inte längre förekommer i dagens regelverk, alternativt har omformulerats för att bli mer generella (för att gälla för byggnader i allmänhet) inte redovisas i sammanställningen.

Tabell 3: Sammanfattning av förändringar i regelverk för höga byggnader

Regelverk	År	Krav/ändring
BABS 50	1950	Krav införs för byggnader över 8 och 16 våningar. I byggnad med fler än 16 våningar skall varje lägenhet eller lokal ha tillgång till brand- och röksäkert avskild trappa. Under 16 våningar kan trapphuset utföras endast brandsäkert. Elektrisk huvudledning till hissmaskineri förlägges skyddad mot brand i byggnad med mer än 8 våningar.
BABS67 /SBN67	1967	I byggnad med fler än åtta våningar skall trapphus anordnas brandventilation med fläkt. Byggnader över 8 våningar ska utföras med utvändig beklädnad utförd av obrännbart material. I trapphus till byggnad med översta våningsplanet beläget mer än 22 m över mark, dvs som regel i byggnad med fler än åtta våningar, anordnas stigarledning.
SBN 75	1975	Högre krav på att begränsa ras vid lokal skada för byggnader med fler än 16 våningar. I byggnader med högst åtta våningar får ytterväggar utföras med brännbar isolering under förutsättning att denna avbryts vid brandcellsgräns. Bostadshus med fler än 10 våningar förses med personhiss och möbelhiss.
NR1	1988	Förtydligande om att ett brandsäkert trapphus får vara den enda tillgängliga utrymningsvägen från bostäder, kontor och därmed jämförbara lokaler i en byggnad med högst 16 våningsplan, om gångavståndet till trapphuset från en uppehållsplats inom bostaden eller kontoret är högst 30 m. Ett brand- och röksäkert trapphus får med samma gångavstånd vara den enda tillgängliga utrymningsvägen från bostäder, kontor och därmed jämförbara lokaler i en byggnad med fler än 16 våningsplan.
BBR 1	1993	Ett trapphus Tr1 får vara enda utrymningsvägen från bostäder, kontor och därmed jämförbara utrymmen i byggnader oavsett antalet våningsplan.
BBR 10	2002	Ny begränsning om att Tr1-trapphus kan utgöra enda utrymningsvägen upp till högst 16 våningar. Krav infört på minst två trapphus över 16 våningar vid förenklad dimensionering. Begreppet <i>analytisk dimensionering</i> införs i BBR.
BBR 11	2002	Förtydligande om att Tr2 trapphus är acceptabelt som enda utrymningsväg för bostadshus upp till 16 våningar.
BBR 17	2010	EKS ersätter BKR.
BBR 19 - 29 / EKS 9 - 11	2012- >	Byggnadsklass Br0 medför krav på analytisk dimensionering för byggnader över 16 våningar. Gränsen för när Tr1-trapphuset får vara enda utrymningsvägen flyttas till allmänt råd i syfte att kunna uppföra högre byggnader med endast ett trapphus. Krav på att minst ett trapphus i byggnader över 16 våningar ska var utfört som Tr1. Räddningshiss krav i byggnader över 10 våningar, ska kunna inrymma sjukbår. Trycksatta stigarledningar i byggnader över 40 m. Precisering av olyckslast för trapphus som utgör enda utrymningsvägen (EKS 9, 10 och 11) och förändrade krav på tillämpning av EN 1991-1-7 – Olyckslaster (EKS 11)

4.2 BRANDSKYDDsutformning i befintliga höga byggnader

I Tabell 4 beskrivs brandskyddsutformningen för ett urval av Sveriges högsta byggnader. De olika objekten är utvalda för att ge en överblick av byggnader uppförda under olika regelverk och med olika verksamhetsklasser samt projekterade av olika brandskonsulter.

Utifrån det begränsade underlaget är det svårt att dra några generella slutsatser men det framgår att flera av de högsta byggnaderna uppförts med endast ett trapphus Tr1 och att dessa trapphus i samtliga fall utförts med övertrycksättning som alternativ till brandsluss öppen mot det fria, vilket är kravet enligt förenklad dimensionering. En möjlig ytterligare slutsats kan också vara att de höga hus som uppfördes i början av 2000-talet, d.v.s. då detaljerade regler för höga byggnader i princip saknades helt, uppfördes med en tillsynes högre nivå på brandskyddet än byggnader uppförda under de senaste åren.

Det kan även noteras att i det begränsade underlaget är det ovanligt att bostadshus utformas med automatiskt sprinklersystem. Hotell och kontor har dock genomgående i underlaget nedan utförts med sprinkler.

Tabell 4: Exempel på brandskyddsutformning i befintliga höga byggnader i Sverige

Byggnad	Regelverk / färdigställd	Våningar / höjd	Brandskydds-utformning	Referens
Turning Torso (bostad och kontor), Malmö	BBR 8 2005	54 / 190 m	Ett trapphus (Tr1) Trycksättning av Tr1-trapphus Brandsektion var 5:e våning Dörrstängare till bostadslägenheter Sprinkler Brandlarm <1,2 m mellan fönster Stigarledningar Räddningshiss Kontrollrum för räddningstjänsten R120	[24]
Norra Tornen Kv. Innovationen (bostadshus, V2A nedersta planet), Stockholm	BBR 21 2018	38 / 125 m	Ett trapphus (Tr1) Trycksättning av Tr1-trapphus Sprinkler Trycksatta stigarledningar Brandlarm i lägenhetskorridorer och gemensamma ytor Räddningshiss R90 / R120 (källarplan)	[25]
Kista Science Tower (kontor), Rinkeby-Kista	BBR 7 2002	31 / 124 m (exkl. spira)	Ett trapphus (Tr1) Trycksättning av Tr1-trapphus Brandsektion var 4:e våning Sprinkler Brandlarm Räddningshiss R60	[24]

Byggnad	Regelverk / färdigställd	Våningar / höjd	Brandskydds- utformning	Referens
The Point (kontor), Malmö	BBR 20 2020	29 / 110 m	Två trapphus (Tr1) Trycksättning av Tr1-trapphus och hisschakt Sprinkler Brand- och utrymningslarm Räddningshiss (2 st) Sprinkler Trycksatta stigarledningar R90	[26]
Malmö Live Bostäder Norra (bostadshus), Malmö	BBR 20 2016	29	Ett trapphus (Tr1) Trycksättning av Tr1-trapphus Räddningshiss Trycksatta stigarledningar Inget sprinklersystem R90	[27]
Kronprinsen (bostadshus), Malmö	BABS 1960 1964	27 / 82 m	Två trapphus (Tr1) Inget sprinklersystem Brandvarnare i lägenheter Stigarledning Räddningshiss R90	[28]
Quality Hotel Friends (hotell), Solna	BBR 15 2013	24 / 81 m	Två trapphus (Tr1 + Tr2) Trycksättning av trapphus och korridorer Sprinkler RAKEL Trycksatta stigarledningar Räddningshiss R90	[29]
Scandic Talk Hotel (hotell), Älvsjö	BBR 10 2006	19 / 68 m	Två trapphus (Tr1 + Tr2) Trycksättning av Tr1-trapphus Sprinkler Räddningshiss R60 (m.h.t. sprinkler)	[30]
Arenastaden – Höga husen nr 4 (Vk3, Vk1 och 2A ne- dersta planen), Solna	BBR 20 2019	22 / 67 m	Två trapphus (Tr1 + Tr2) Trycksättning av Tr1-trapphus Inget sprinklersystem Trycksatta stigarledningar Räddningshiss R90	[31]
Cityterrassen, Malmö (bo- stadshus)	BBR 28 Ej färdigställd	18 / 66 m	Ett trapphus (Tr1) Trycksättning av Tr1-trapphus Räddningshiss Trycksatta stigarledningar Inget sprinklersystem R90	[32]

4.3 ÅTERKOMMANDE PROJEKTERINGSFRÅGOR I HÖGA BYGGNADER I SVERIGE

Många av detaljkraven i BBR för byggnader över 8 våningar har tillkommit från BBR 19 och senare. I samband med ett utökat byggande av höghus har det konstaterats att föreskrifter och allmänna råd för insatsstödjande åtgärder vid nybyggnation av höga byggnader ej är tillräckligt tydliga i vissa delar. Detta gäller bl.a. utrustningens utformning, placering, prestanda och driftsäkerhet samt räddningstjänstens ansvar och krav på egen förmåga [15].

Flera räddningstjänster har identifierat en liknande tolkningsproblematik, alternativt ansett att en direkt tillämpning av de allmänna råden för utformning av insatsstödjande åtgärder i höga byggnader inte per automatik innebär att räddningsinsatser är möjliga att utföra med tillfredsställande säkerhet. Räddningstjänsterna i Sveriges största städer: Storstockholms brandförsvär, Räddningstjänsten Storgöteborg, Räddningstjänsten Syd och Uppsala brandförsvär, har därför tagit fram egna PM med lokala krav och råd [16] [33] [34] [35]. Ett liknande stöddokument, dock avgränsat till byggnader upp till 16 våningar, har även tagits fram av BIV [15] med syftet att skapa en enhetlig tolkning kring de krav som bör ställas vid brandprojektering av höga byggnader.

Vidare har nämnda tolkningsproblematik bland annat föranlett utvecklingen av en SBF-standard för trycksatta stigarledningar [36] samt att byggbranschen på eget bevåg finansierat utvecklingen av vägledningar för utformning av trycksättning av trapphus [37] och tekniska lösningar för utformning av räddningshissar [38].

Utifrån WSP:s erfarenheter av projektering av höga byggnader samt underlagsrapporterna [15], [16] och [35] är det i huvudsak nedanstående frågeställningar kopplade till tolkning av regelverket som återkommer. Notera att vissa av dessa frågeställningar enbart berör Br0-byggnader medan andra är aktuella redan för byggnader över 8 våningar.

- Hur högt man kan bygga med enbart ett trapphus.
- Hur den ökade risknivån i byggnader över 16 våningar kan kompenseras.
- Vilken bärförmåga vid brand som krävs för Br0-byggnader² och vid vilken höjd ett utökat skyddsbehov ska anses föreligga.
- Utformning av trycksättningssystemen för Tr1-trapphus³.
- Oklarheter om Tr2-trapphus får ansluta till källarplan, om det exempelvis finns en separat insatsväg för räddningstjänsten.
- Möjlighet till att utföra "brutna" trapphus (trapphus med interna förbindelser där ett trapphus inte betjänar samtliga plan).
- Nyckelsystem för räddningstjänstens tillträde samt styrning av brandtekniska installationer.
- Krav på kraftmatning till brandtekniska installationer (räddningshissar, fläktar, pumpar m.m.)
- Räddningshissar
 - Placering av räddningshissen i förhållande till trapphus och uttag för stigarledningar
 - Brandslussens storlek, användning och anslutning till trapphuset
 - Trycksättning av hisschakt
 - Dimensionering av skydd mot inträngande vatten
 - Eventuellt behov av fler än en räddningshiss

² Detta är numera tydliggjort genom EKS 11.

³ Tr1-trapphus är problematiska av arkitektoniska skäl och sluss mot det fria ersätts i princip alltid av trycksättning genom analytisk dimensionering.

- Brandvattenförsörjning
 - Dimensionerande vattenflöde
 - Placering och utformning av in- och uttag till stigarledningen
 - Krav på trycksatta stigarledningar vad gäller pumpar, redundans m.m.⁴.
- Radiosamband/kommunikation
- Sprinklersystem
 - Krav på ringmatning
 - Samtidigt vattenuttag från stigarledningar och sprinkler
 - Data på tillförlighet hos system enligt SBF 120 respektive SS-EN 12845

⁴ Numera finns standarden SBF 504:1.

5 INTERNATIONELL JÄMFÖRELSE

En internationell jämförelse har utförts där representanter från olika länder har fyllt i en enkät om brandsskyddskrav för höga byggnader utförda enligt förenklad dimensionering (prescriptive design). Enkäten togs fram av rapportförfattarna och distribuerades internt till de nationellt ansvariga cheferna inom WSPs brand- och riksverksamhet i olika regioner. Frågorna från enkäten finns bilagda i Bilaga B.

Utgångspunkt för jämförelsen har varit att de undersökta länderna i de flesta avseenden ska vara jämförbara med Sverige i ekonomisk kontext och/eller har lång erfarenhet av höga byggnader. Det faktiska urvalet har sedan, av praktiska skäl, begränsats till länder där WSP har egen verksamhet inom brandskyddsprojektering. Ett antal ytterligare länder som hade varit av relevans för undersökningen, i första hand USA och Kanada, har dock inte inkluderats då inga enkätsvar inkommit i tid.

Följande länder har inkluderats i jämförelsen:

- Australien
- Danmark
- England
- Hong Kong
- Norge
- Nya Zeeland
- Sydafrika
- USA

I Tabell 5 sammanställs de krav som gäller i respektive land. Den internationella jämförelsen är likt denna rapport i övrigt begränsad till flerbostadshus, kontor och hotell. Observera att viss förenkling har fått göras av enkätsvaren för att kunna sammanställa dessa i en jämförande tabell. Det kan t.ex. gälla mindre detaljer som att en viss brandteknisk installation erfordras enbart för en viss verksamhetsklass, givet en viss golvyta, eller att det finns möjlighet till undantag och anpassningar givet att vissa förutsättningar är uppfyllda. Det ska även noteras att byggnadshöjd mäts olika i de olika regelverken där exempelvis England mäter till översta golvnivån.

Generellt kan det konstateras att det i samtliga länders regelverk finns krav på sprinkler kopplat till byggnadshöjden samt att det endast är de andra nordiska länderna som har ett krav på analytisk verifiering vid en specifik höjd. I övriga länder finns möjlighet att utföra en hög byggnad (över 16 våningar) utifrån förenklad dimensionering. I England ska dock en kvalitativ designutvärdering (QDR) utföras om byggnaden överstiger 50 m.

Tabell 5: Sammanställning av brandkrav – internationell jämförelse

Krav/installation	Land								
	Sverige	Australien	Danmark	England	Hong Kong	Norge	Nya Zeeland	Sydafrika	USA ⁵
Höjd/våningsantal där förenklad dimensionering ej får användas	Över 16 vån.	N/A	Över 45 m (~15 vån.) för kontor och bostäder. Över 22 m (~7 vån.) för skolor och hotell. 2 vån. för sjukhus etc.	Nej, dock utförs en kvalitativ designutvärdering (QDR) om >50 m	N/A	Över 16 vån.	Över 20 vån.	N/A	N/A
Typiska/viktiga brythöjder där det sker tydliga förändringar i krav	23 m, 8 vån. och 16 vån.	25 m (~8 vån.)	22 m samt 45 m (~7 och 15 vån.)	7,5 m, 11 m, 18 m och 30 m (~2, 4, 6 och 10 vån.)	30 m (~10 vån.) samt 25 vån.	8 vån., 23 m samt 16 vån.	20 vån.	30 m (~10 vån.)	12 m, 15 m, 17 m, 20 m, 25 m och 50 m (~3, 5, 11 och 16 vån.)
Utrymningsstrategi	Stay-in-place ⁶ Utrymningsstrategin varierar för kontor/hotell	Bostäder: Stay-in-place ⁶ Övriga: fullständig utrymning (samtidig utrymning ⁷)	Bostäder: Stay-in-place ⁶ Övriga: fullständig utrymning (samtidig utrymning ⁷)	Bostäder: Stay-in-place ⁶ Övriga: fullständig utrymning (samtidig utrymning ⁷)	Fullständig utrymning i bostäder samt osprinklade byggnader Övriga byggnader: partiell utrymning ⁸	Fullständig utrymning (samtidig utrymning ⁷)	Generellt, fullständig utrymning (samtidig utrymning ⁷)	Fullständig men sekventiell eller progressiv utrymning ⁹	Fullständig men sekventiell eller progressiv utrymning ⁹ möjligt över 25 m

⁵ Olika regleverk tillämpas i olika delstater, svaren avser International Building Code, IBC.

⁶Stay-in-place eller defend in place innebär att personer i första hand ska avvakta i skydd av den egna brandcellen snarare än att utrymma byggnaden.

⁷Samtidig utrymning innebär att hela byggnaden utrymmer samtidigt

⁸Partiell utrymning innebär att de mest hotade våningsplanen utryms först och i ett senare skede, om det behövs, utryms resten av byggnaden

⁹Sekventiell eller progressiv utrymning innebär utrymning sker gradvis med exempelvis det mest hotade våningsplanet först och sedan resten av byggnaden.

Krav/installation	Land								
	Sverige	Australien	Danmark	England	Hong Kong	Norge	Nya Zeeland	Sydafrika	USA ⁵
Antal trapphus för utrymning i egen brandcell	Bostäder/kontor: 1 trapphus upp till 16 vån. Hotell: 2 trapphus För bostäder/kontor över 16 vån. kan byggnad förses med endast 1 trapphus om det visas med analytisk dimensionering	2 trapphus om över 25 m (~8 vån.)	Bostadshus kan ha ett trapphus upp till 22 m (~7 vån.). Från 22 m till 45 m (~15 vån.) ett trapphus om trapphuset är försedd med övertrycksättning samt luftsluss på varje plan. Kontor och hotell skall alltid ha minst två trapphus	För bostäder kan ett trapphus användas oavsett höjd Övriga byggnader ska ha två trappor över 11 m (~4 vån.)	2 trapphus över 6 våningar upp till 500 pers./vån.	Bostäder upp till 23 m/8 vån. kan ha ett (1) trapphus om räddningstjänst har tillgång till samtliga lägenheter Övriga byggnader 2 trappor om >3 vån.	1 trapphus tillåtet i osprinklad byggnader <10 m (~3 vån.) och sprinklade byggnader <25 m (~8 vån.) Personbelastning max 50 personer per trapphus	2 trapphus om över 2 vån.	Ett trapphus endast tillåtet upp till 3 vån.
Återinrymning	Nej, inget krav om trapphus leder direkt till det fria	Ja var 4:e vån.	Nej, inget krav	Nej, inget krav	Ja, varje våning	Nej, inget krav	Ja, var 4:e vån. om byggnad >25 m (~8 vån.)	Nej, inget krav	Ja, var 4:e vån. om byggnad >25 m (~8 vån.)
Krav på brandsluss, luftsluss eller liknande till trapphus	Brandsluss generellt krav i höga byggnader då endast ett trapphus	Om >2 dörrar öppnar till trapphus på samma plan skall trapphus förses med lobby (luftsluss) eller dörrar trycksättas	Över 22 m (~7 vån.) ska utrymningstrappa antingen förses med övertrycksättning och lobby eller luftslussar som är öppna till utsidan	Beror på men generellt ska byggnader >18 m (~6 vån.) ha lobby eller trapphus försedd med övertrycksättning	Ja, till varje trapphus	Beror på verksamhetsklass men över 8 våningar ska trapphus vara trycksatt samt ha luftsluss	Krav på luftsluss med 2 eller fler våningar Krav på brandsluss för ett trapphus i byggnader över 20 vån.	Nej, inget krav	Beror på staten men generellt inget krav.

Krav/installation	Land								
	Sverige	Australien	Danmark	England	Hong Kong	Norge	Nya Zeeland	Sydafrika	USA ⁵
Bärverk	Generellt R90 om fler än 4 vån. R 60 om sprinkler Över 16 vån. R90 alt. R120 om utökat skyddsbehov. R90 om sprinkler.	Bostad och hotell – R 90 Kontor – R 120	<9,6 m R60 och brännbart material Mellan 9,6 m-12 m R60 och obrännbart Från 12 m till 45 m R120 och obrännbart	Beror på verksamhetsklass och höjd	Krav på beroende av byggnadens area	R30 upp till 2 vån. R60 upp till 4 vån. R 90 upp till 16 vån. R120 eller R180 om över 16 vån.	Generellt R120 för höga byggnader (>20 vån)	Över 10 vån. 120 min	R60 upp till 4 vån. R120 upp till 11 vån. R180 över 11 vån.
Typ av material	Regelverket är ej materialspecifikt men vissa lösningar enligt förenklad dimensionering bygger på obrännbart material Brännbart material accepteras i ytterväggar upp till 16 plan	Krav på ytskikt på innerväggar etc. är ej kopplat till höjd Ytterväggar i byggnader ≥3 våningar ska vara obrännbara. Brand-skyddat trä kan användas upp till 25 m.	Beror ej på byggnadens höjd men byggnadens verksamhetsklass och avstånd till andra byggnader	Obrännbart över 18 m (~6 vån.)	Generellt krav på att det är obrännbart	Beror på brandklass vilket beror på verksamhetsklass	Fasad system ska klara fullskaletest eller vara obrännbart	Beror ej på byggnadens höjd	Obrännbart över 16 m (~5 vån.)
Refuge floors/areas	Inga krav men används ibland vid analytisk verifiering	Inga krav	Inga krav men används ibland vid analytisk verifiering	Inga krav men används ibland vid analytisk verifiering	Ja, var 25e våning	Inga krav	Ja, det finns krav men det saknas direkt vägledning	Inga krav	Inget krav, men finns vägledning för det.
Automatiskt sprinklersystem	Nej, inget krav men används ibland för så kallade tekniska byten	Från 4 vån. i bostäder Från 25 m (~8 vån.) för övriga verksamhetsklasser	Generellt över 22 m (~7 vån.)	Alla byggnader över 30 m (~10 vån.) Bostäder >11 m i nästa regelverk Alla bostäder i Wales	Ja, generellt alla byggnader	Beror på verksamhetsklass, alla bostadshus över 2 vån. (där en hiss krävs)	Ja, krav för byggnader >10 m (~3 vån.) och endast en trappa eller för byggnader >25 m (~8 vån.) med flera utrymningsvägar	Alla byggnader över 30 m (~10 vån.)	Krav för bostäder över 4 vån. Krav för kontor över ~6 vån.

Krav/installation	Land								
	Sverige	Australien	Danmark	England	Hong Kong	Norge	Nya Zeeland	Sydafrika	USA ⁵
Brand- och utrymningslarm	Inget krav relaterat till byggnadens höjd	Samtliga byggnader över 25 m (~8 vån.)	Bostäder endast brandvarnare Övriga byggnader beror på antal personer och ej byggnadshöjd	Inga krav men beror på byggnads risk. Generellt finns det alltid.	Ja, över 3 vån.	Inget krav relaterat till byggnadens höjd Alla byggnader ska ha brandlarm utom vissa industri och bostäder som kan förses med brandvarnare	Krav för alla bostäder och alla byggnader över 4 m och >100 pers	Ja alla hotell Övriga byggnader om ≥4 vån.	Krav för bostäder 3 vån och över. Krav för kontor om ≥500 pers. Krav på talat meddelande över 25 m (~8 vån.)
Stigarledning	Ja, över 24 m (~8 vån.) samt trycksatt över 40 m (~13 vån.)	Ja, i samtliga flervåningsbyggnader	Från 22 vån. Över 45 m (~15 vån.) skall alla stigarledare vara trycksatta eller försedda med permanent vattenförsörjning	Över 18 m (~6 vån.) och över 50 m (~16 vån.) ska de vara trycksatta	Ja, trycksatt om >60 m (~20 vån.)	Över 23 m (~8 vån.)	Stigarledning krav om avstånd från uppställningsplats överstiger 75 m till den mest avlägsna platsen i byggnaden	Ja, samtliga byggnader	Ja, samtliga byggnader ≥4 vån.
Räddningshiss	Ja, i byggnader över 10 vån.	Ja, efter 25 m (~8 vån.)	Ja, över 22 m (~7 vån.)	Ja, över 18 m (~6 vån.)	Ja, generellt i alla byggnader	Trycksatt räddningshiss över 23 m (~8 vån.)	Ja, över 20 vån.	Ja, över 30 m (~10 vån.) och hiss ska ha lobby	Ja, i byggnader med någon golvnivå över 36,5 m (~13 vån.) Räddningshiss ska ha brandsluss.
Utrymningshiss	Nej, inga krav	Nej, inga krav	Inga krav men används ibland vid analytisk verifiering	Nej, inga krav	Nej, inga krav	Nej, inga krav	Inga krav men används ibland vid analytisk verifiering	Nej	Inget krav men om det används finns det krav för utformning

Krav/installation	Land								
	Sverige	Australien	Danmark	England	Hong Kong	Norge	Nya Zeeland	Sydafrika	USA ⁵
Dörrstängare till branddörr	Krav till hotellrum och kontor men inget krav till bostäder Krav på samtliga branddörrar till trapphus Tr1/2 oavsett verksamhetsklass.	Ja samtliga branddörrar	Inget krav	Ja, samtliga branddörrar	Ja samtliga branddörrar	Krav till samtliga trapphus förutom trapphus i bostäder som understiger 8 vån. / 23 m	Ja samtliga branddörrar	Ja, samtliga branddörrar	Ja, samtliga branddörrar
Övertrycksättning	Inget krav. Praxis att använda trycksättning istället för sluss öppen mot det fria i Tr1-trapphus.	Samtliga trapphus >25 m (~8 vån.)	Ja, över 22 m (~7 vån.). Dessutom ska utrymmen >600 m ² ha minst ett trapphus med luftsluss som är öppen till det fria eller ett trycksatt trapphus och räddningsshiss Utrymmen >600 m ² men <2000 m ² skall det finnas två av varje	Alla byggnader över 18 m	Ej i bostäder Övriga om >30 m (~10 vån.) om ingen naturlig ventilation	Trapphus över 8 vån.	Alla byggnader över 20 vån.	Ja, alla trappor	Krav över 25 m (~8 vån.)
Specialkrav för räddningstjänstens insats	Inga specifika krav	Kontrollrum till räddningstjänsten	Inga specifika krav men några mycket höga byggnader har blivit försedda med förstärkare för räddningstjänstens radio	Inga övriga krav förutom stigarledning	Krav på refuge floors	Alla byggnader ska ha radiotäckning för räddningstjänst	Ja, bestäms i samråd med räddningstjänsten	Telefon, insatsrum, ljudsystem för utrymning	Radiotäckning, reservkraft och kontrollrum till räddningstjänsten

6 ANALYS

I detta avsnitt analyseras skillnader i kravnivå mellan de olika ländernas regelverk. Där närmare information funnits att tillgå diskuteras även bakgrunden till kraven och skillnaderna i brandskyddets utformning beroende på byggnadernas olika förutsättningar. Detta avsnitt utgör också del av bakgrunden till förslagen i kapitel 7 om vilka delar av brandskyddsreglerna för höga byggnader som kan behöva justeras.

6.1 MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND

6.1.1 Utrymningsstrategi

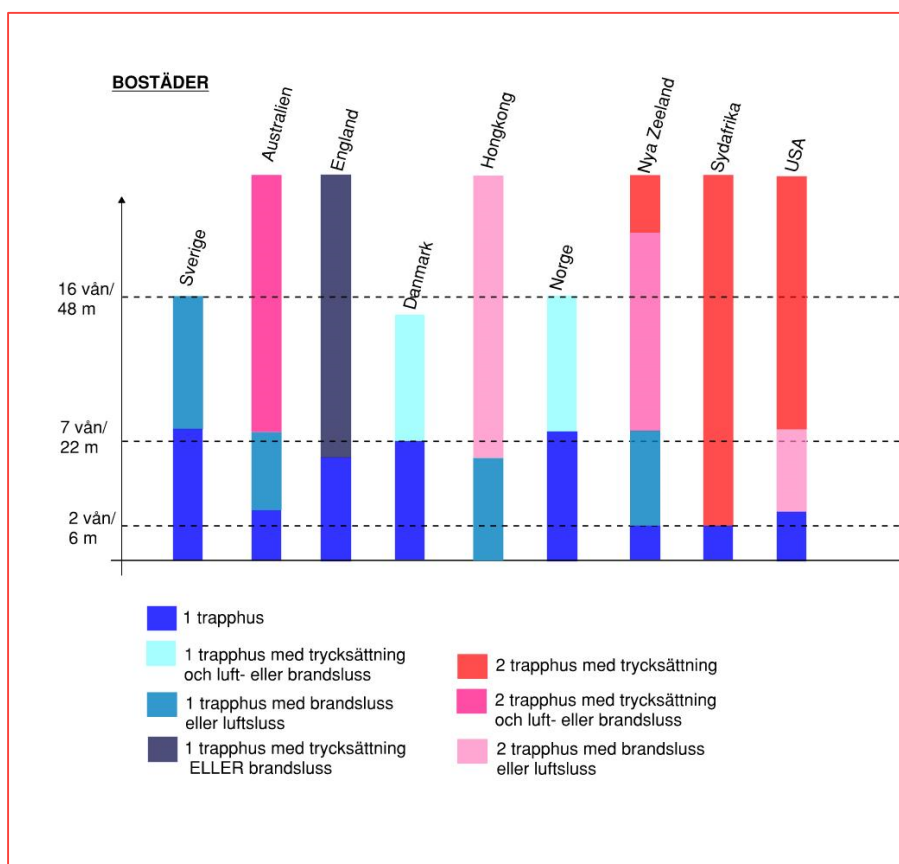
Den i Sverige rådande utrymningsstrategin, det vill säga att personer i första hand ska avvakta i skydd av den egna brandcellen snarare än att utrymma byggnaden, även känd som "stay-in-place", "defend in place" eller "stay put", är inte allena rådande i övriga jämförbara länder. I många länder är istället den huvudsakliga utrymningsstrategin att utrymma hela byggnaden samtidigt, alternativt att utrymma de mest hotade våningsplanen (partiell utrymning) och eventuellt därefter utrymma resten av byggnaden (sekventiell eller progressiv utrymning). Varianter på detta är den mest förekommande strategin förutom för bostadslägenheter där "stay-in-place" används i högre utsträckning.

Utrymningsstrategin blir i flera avseenden styrande för brandskyddets utformning i ett holistiskt perspektiv vilket till viss del försvårar en direkt jämförelse mellan olika länders kravnivåer. Exempelvis föranleder en utrymningsstrategi baserad på samtidig utrymning relativt sett bredare utrymningsvägar och någon form av utrymningslarm för att dels hålla nere den totala utrymningstiden, undvika köbildning och möjliggöra samtidigt räddningsinsats, och dels för att uppmärksamma personer i övriga delar av byggnaden om att utrymma. Att direkt jämföra exempelvis antalet trapphus mellan byggnader med olika utrymningsstrategier blir således missvisande och ger inte något tydlig indikation om säkerhetsnivån.

Förutom att utrymningsförutsättningarna påverkas av valet av utrymningsstrategi, så påverkas även förutsättningarna för räddningsinsats (mötande flöden, ökad risk för trängsel i trapphus, eventuellt större behov att assistera utrymning) och bärförmåga vid brand (om alla normalt har utrymt byggnaden borde relativt sett lägre säkerhetsmarginaler mot kollaps kunna accepteras). Stay-in-place-strategin förutsätter att personer som befinner sig i andra brandceller än startbrandcellen kan vänta där i säkerhet till dessa att branden släckts eller självslocknat. Detta innebär att en byggnad måste ha det nödvändiga aktiva och passiva brandskydd som krävs för att förhindra brand- och brandgasspridning mellan brandceller under tillräcklig tid. Det förutsätter även att personer i den brandcell där branden startade har möjlighet att utrymma och att räddningspersonal kan ta sig till branden. Vilken utrymningsstrategi som är lämpligast behöver därmed sättas i relation till det brandskydd som finns i byggnaden.

6.1.2 Utformning av trapphus

I Figur 2 illustreras krav på utformning av trapphus i bostadshus i de undersökta länderna. Motsvarande illustration har inte gjorts för hotell och kontor då det, men undantag av Sverige, är ett generellt krav att ha minst två trapphus.



Figur 2: Antal trapphus och vilket ytterligare skydd som krävs uppdelat på länder för bostadshus

Utformning av trapphus är tätt kopplat till utrymningsstrategin i byggnaden. Som nämnt i avsnitt 3.6.2, är brandrisken i höga byggnader låg internationellt sett och troligen även i Sverige. I Figur 2 kan det utläsas att kraven på antal trapphus och deras utformning är relativt lik för bostäder i de nordiska länderna och Storbritannien medan det är betydligt högre krav i övriga länder. Att notera är efter Grenfell, har ett enda trapphus för bostäder, speciellt för byggnader över 50 m, börjat ifrågasättas. Det skall även noteras att i samtliga länder är det krav på automatiskt sprinklersystem över en viss höjd.

Det är oklart om de relativt sett högre brandskyddskraven i de undersökta länderna, både vad gäller antalet trapphus, trycksättningssystem och sprinklersystem är motiverade ur kostnads-nyttosynpunkt. Det är dock troligt att den högre skyddsnivån innebär ett bättre skydd mot sällan förekommande händelser av allvarig karaktär och att kraven därför möjligen kan motiveras ur ett robusthetsperspektiv. Även om samhällsriskerna trots det kan vara låga så kan högre krav vara motiverade mot bakgrund av samhällets riskaversion mot sällan förekommande olyckor men med ett stort antal omkomna. I synnerhet om ett ökat höghusbyggande kan förväntas och sannolikheten för denna typ av händelser därmed ökar.

6.1.3 Kommunikationssystem för utrymning och insats

I ett par av de undersökta länderna ställs krav på kommunikationssystem för att underlätta invändig räddningsinsats och för att kommunicera med personerna som befinner sig i byggnaden, t.ex. för att inleda en total evakuering eller uppmana folk att avvakta utrymning. Sådana kommunikationssystem kan utgöras av typ "porttelefon" för intern kommunikation inom en utrymningsorganisation (t.ex. på hotell eller i kontor) eller mellan räddningspersonal på markplan och de som befinner sig högre upp i byggnaden.

I länder som tillämpar samtidig utrymning även av bostadshus finns normalt även krav på någon form av utrymningslarm. I Australien är det exempelvis krav att det ska finnas utrymningslarm i bostadshus som aktiveras i de publika korridorerna och trapphusen i hela byggnaden.

Efter Grenfellkatastrofen i London, där bedömningen har gjorts att flera liv hade kunnat räddats om byggnaden hade utrymmts, diskuteras om varseblivningssystem behöver införas i höga byggnader vilket skulle möjliggöra för räddningstjänsten att initiera en fullständig utrymning som en form av nödlösning om stay-in-place strategin behöver överges. Tidigare rekommendationer i Storbritannien [39] förespråkade starkt stay-in-place strategin och bedömde det som mycket pessimistiskt att frångå denna strategin och exempelvis installera ett brand- och utrymningslarm för att kunna initiera en samtidig utrymning. En av rekommendationerna från Grenfell Inquiry var dock just att införa system för att räddningstjänsten ska kunna "sända en utrymningssignal". Detta har sedermera implementerats i Skottland genom införande av "manuella larm" i nya höghus [40]. Även en standard för utformningen av sådana system har tagits fram [41]. Larmet kontrolleras från markplanet och ska kunna användas till att manuellt kunna utrymma delar av byggnaden eller vid behov sekventiellt utrymma hela byggnaden [17].

6.2 BRÄNNBARA MATERIAL I FASADER OCH YTTERVÄGGAR

De flesta jämförda länderna har krav på att inte använda brännbart material i fasader eller i ytterväggar. I vissa länder har detta funnits sedan tidigare medan det i bland annat Australien och Storbritannien är krav som är nyligen införda eller är i färd med att införas. Behovet av tydligare reglering av fasader och ytterväggar har uppdagats efter bl.a. branden i Lacrosse i Melbourne [42], flera uppmärksammade bränder i Förenade Arabemiraten och Kina samt med Grenfell som det tydligaste exemplet. En sammanställning av fasadbränder finns bland annat på referenserna [43] och [44].

Fasader och ytterväggar med flera så kallade riskfaktorer [45], eller riskkonstruktioner som sannolikt inte uppfyller gällande byggregler har noterats förekomma även i Sverige [46] även om utbredningen har bedömts vara förhållandevis begränsad.

I bl.a. Australien och Storbritannien har följderna av Grenfell fått stor efterverkan och fastighetsägarna har tvingats bekosta inventeringar av befintligt byggnadsbestånd, byta ut/bygga om ytterväggar som inte uppfyllt kraven och bekosta temporära brandskyddsåtgärder (t.ex. brandvakter och utrymningslarm eller sprinklersystem) fram till dess bristerna i brandskyddet åtgärdats [17] [47] [48]. I Australien har även brännbara produkter som tidigare var bedömda som acceptabla enligt förenklad dimensionering nu blivit förbjudna i höga byggnader [48]. I särskild allvarliga fall har boende behövt evakueras till tillfälliga boenden i väntan på utbyte av fasadkonstruktionerna.

I Sverige finns även minst ett fall där de brandklassade fasadskivor uppfyllande SP Fire 105 som föreskrivits inte är de som slutligen hamnat på byggnaden [49]. En delvis liknande problematik har uppdagats i flera fall i Australien där importerade byggnadsmaterial har deklarerats ha en viss brandegenskap men där det faktiska materialet haft en sämre prestanda. Dessa händelser visar att det alltid finns en risk för att det blir fel, trots att intentionen hos projektör, byggare och byggherre har varit att göra rätt.

Ett generellt krav på obrännbart material skulle sannolikt minska risken för fel eftersom såväl egenskaper redovisade i produktblad som den färdiga produkten troligen är lättare att granska och att produkten är mindre känslig för felaktig montering i förhållande till brännbara material. Att helt förebygga risken att fel produkt hamnar i byggnaden är dock troligen inte möjligt annat än genom brandprövning i samband med mottagningskontrollen.

6.3 RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATS

De internationella kravnivåerna vad gäller insatsstödjande system och förutsättsättningar för räddningsinsats överensstämmer relativt väl med de svenska kraven. Räddningshiss är krav i samtliga studerade länder och kravet sammanfaller generellt med höjden då höjdfordon inte längre når byggnadens översta plan och utvändigt brandbekämpning inte är möjlig. Den största skillnaden vad gäller möjligheterna till räddningsinsats är avsaknad av krav på automatiskt sprinklersystem i höga byggnader i Sverige, vilket innebär att räddningstjänster i Sverige kan förväntas behöva angripa en relativt sett större brand.

Skillnader i utrymningsstrategi, där praxis i Sverige är att endast utrymma startbrandcellen alternativt det brandutsatta våningsplanet, kan påverka möjligheterna till räddningsinsats både till det bättre och det sämre. Den stora fördelen med en utrymningsstrategi som baseras på samtidig eller sekventiell utrymning av hela byggnaden, d.v.s. att den potentiella konsekvensen minskar i takt med att fler utrymmer, innebär samtidigt att räddningstjänstens insats försvåras på grund av exempelvis: mötande flöden i trapphus ("counter flow"), begäran om assistans för utrymning och hantering av ett stort antal personer på markplanet.

Undersökningen har inte omfattat någon jämförelse av genomsnittliga insatstider eller krav på insatstider i de olika länderna. Detta, såväl som räddningstjänstens dimensionering med avseende på snabbt gripbara resurser, är dock relevanta faktorer i sammanhanget eftersom en lång insatstid (tid till påbörjad insats) får ytterligare påverkan i en hög byggnad som av sin natur är förknippad med lång tid till påbörjad släckinsats. Effekten blir särskilt påtaglig då höga byggnader i Sverige, till skillnad från i de undersökta länderna, inte behöver vara sprinklade.

6.4 BÄRFÖRMÅGA VID BRAND

Av sammanställningen följer att de internationella kraven på bärförmåga vid brand generellt är högre än de svenska. Det ska även noteras att utifrån författarnas kännedom och enkätsvaren är det endast i Sverige där krav på bärförmåga vid brand kan reduceras vid installation av sprinkler inom ramen för förenklad dimensionering. Det är dock tänkbart att reducerade krav i vissa fall tillämpats även i byggnader i något eller några av de jämförda länderna men då genom analytisk dimensionering.

Brandmotståndet hos bärande konstruktioner är avgörande för personsäkerheten inklusive säkerheten för räddningstjänstens personal. Med ökad höjd förlängs utrymningstiden vilket även motiverar ett förstärkt brandsmotstånd på den bärande konstruktionen. Det svenska regelverket kräver en bärförmåga om R90 vid dimensionering enligt klassificering och förutsatt normal brandbelastning för byggnader som är högre än fyra våningar. Vissa krav tillkommer för byggnader över 8 våningar men för byggnader mellan 8 och 16 våningar är kraven desamma. För byggnader över 16 våningar (Br0) behöver det utredas om det finns ett utökat skyddsbehov, i vilket fall kravet kan bli R120. Högre krav än R120 ställs ej oavsett byggnadens höjd, verksamhetklass eller utrymningsstrategi.

Nystedt & Rantatalo [24] argumenterar för att brandmotståndet hos den bärande konstruktionen ska stå i relation till den tid det tar för fullständig utrymning samt tiden för fullständigt brandförlopp inklusive avsvalningsfas av en brandcell eller brandsektion. Beräkningar enligt modellen i Eurocode SS-EN 1991-1-2 utförda i [24] uppger att sannolikheten är 82 % att en brand i en lägenhet varar längre än 60 min, vidare är sannolikheten 31 % att den varar över 90 minuter och 7% att den vara över 120 minuter. Förvisso är beräkningsmodellen förenklad men det ger en indikation om att även kravnivån R90 inte är någon garanti för att förhindra kollaps.

I en kartläggning av bränder i höga byggnader [13] var det 13 av 50 byggnader (26 %) där någon form av påverkan på konstruktionen noterades. För de flesta undersökta fall saknades detaljerad informat-

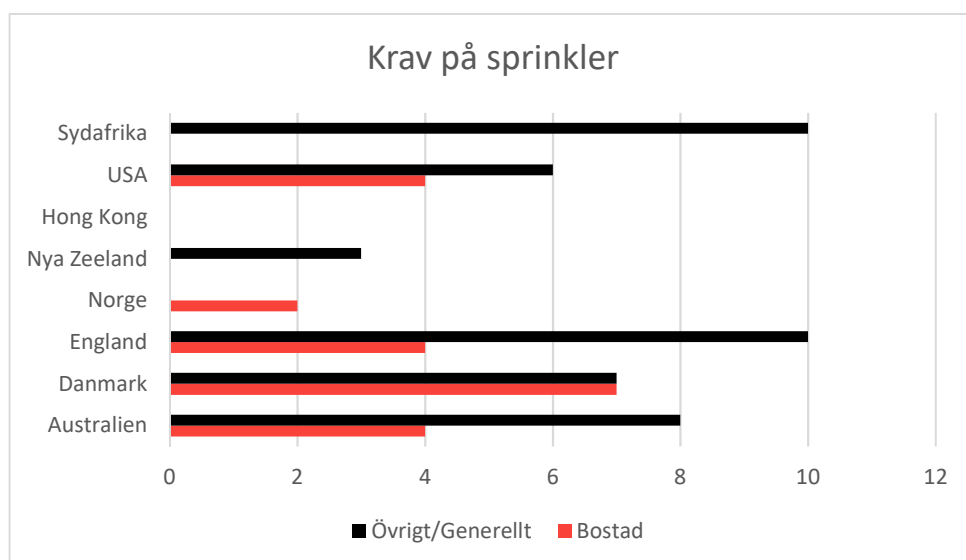
ion men de fanns flera exempel där någon form av lokal skada skett t.ex. nedböjda balkar, deformerade brandavskiljande konstruktioner och skador på förband. I enstaka fall hade partiell kollaps eller total kollaps av byggnaden skett.

I en annan sammanställning på uppdrag av NIST identifierades totalt 22 byggnadskollaps till följd av brand i USA och Kanada mellan 1970-2002. Av dessa inträffade 60 % (13 av 22) av krascherna i byggnader med 4-8 våningar [50]. Det totala antalet av byggnadskollaps tyder på att dessa är mycket ovanliga. Om det förhållandevis begränsade antalet krascher till följd av brand i höga byggnader är en följd av att byggnaderna utförts med högre bärförmåga vid brand än R90 går dock inte att utröna. Däremot kan noteras att flera bränder har pågått under mycket lång tid [10] [9], i flera fall upp mot ett dygn, och det är troligt att t.ex. R60 nog hade varit en för låg nivå i vissa av dessa bränder.

Värt att notera i sammanhanget är att flera allvarliga bränder i höga byggnader inträffat i samband med uppförande eller renovering, d.v.s. då sprinklersystem och ibland även det passiva brandskyddet är helt eller delvis ur funktion. För mycket höga byggnader bör därmed brandskydd under byggtiden beaktas redan på projekteringsstadiet, både vad gäller eventuella personer som befinner sig i byggnaden men även risken för brandspridning mellan byggnader och risken för kollaps. Vissa byggnadstyper och kombinationer av tekniska lösningar, t.ex. där bärförmågan vid brand reducerats till följd av sprinkler eller byggnaden har brännbar stomme (kanske tidvis exponerad), kan därför utgöra en särskilt stor risk eftersom bärverket inte alltid kan förväntas motstå ett fullständigt brandförlopp (inklusive avsvagningsfas) samtidigt som möjligheterna till släckinsats är mycket begränsade.

6.5 AUTOMATISKA SLÄCKSYSTEM

Internationellt är det mycket vanligt med krav på automatisk vattensprinkleranläggning eller någon form av boendesprinkler i höga byggnader, i vissa fall redan från två eller tre våningar. I Figur 3 illustreras de höjder där olika länders regelverk ställer krav på sprinkler uppdelat på bostadshus och övriga byggnader. Figuren är något förenklad men visar tydligt att automatiskt släcksystem är ett krav för brandskyddets utformning i samtliga av de länder som har studerats över en viss höjd. Att notera är att i Australien och England har även nyliga förändringar (2019 respektive 2020) tillkommit där krav på automatiska släcksystem i bostadshus ställs redan vid relativt låga byggnadshöjder.



Figur 3: Höjd på byggnad där det är krav på sprinkler i respektive land och uppdelat på bostäder och övrigt. I Hongkong är det krav på sprinkler i samtliga byggnader.

I Sverige finns inget krav på sprinkler för verksamhetsklasserna Vk1, Vk3A eller Vk4 oberoende av byggnadens höjd. Däremot har flera befintliga byggnader över 16 våningar försetts med sprinkler som del av byggnadens brandskydd inom ramen för analytisk dimensionering. I Tabell 4 redovisas brandskyddsutformningen i ett urval av befintliga höga byggnader i Sverige. Utifrån det begränsade underlaget kan utläsas att kontor och hotell generellt utförts med sprinkler medan det för bostadshus främst är de högre husen (>100 m) med en enda utrymningsväg som är utförda med sprinkler.

Trots att sprinkler är en förutsättning även i förhållandevis låga byggnader i många länder finns det ganska lite som tyder på att brandrisken i höga byggnader i Sverige [här även med avseende på "hög-hus" om över 8 våningar] skulle vara väsentligt förhöjd, åtminstone vad gäller för personer utanför startbrandcellen, se avsnitt 3.6.2. I Sverige och internationellt visar statistiken att dödsfall främst sker i enfamiljshus och väldigt sällan i andra typer av bostäder eller andra verksamheter. När bränder sker i andra verksamheter är dödsfall i stor grad kopplade till startbrandcellen. Utslaget på hela byggnadsbeståndet så är dock brandrisken per capita något högre i Sverige än i flera av de jämförda länderna [51].

Baserat på sammanställning av bränder i höga byggnader i USA av NFPA [23] samt från bränder i Australien [19] och England [22] så kan konstateras att brandrisken i höga byggnader är likvärdig eller lägre än i "låga byggnader" av motsvarande verksamhet. Detta indikerar att skyddsnivån för höga byggnader, med en utformning enligt de krav som gäller i dessa länder, bör kunna anses vara tillfredsställande. I dessa länder är även antalet höga byggnader betydligt större än i Sverige varför det statistiska underlaget således bör innebära en minskad osäkerhet i bedömningen. Det kan också nämnas att krav på sprinkler redan från förhållandevis låga byggnadshöjder införts relativt nyligen både i USA, Australien och England. I takt med att byggnadsbeståndet växer och att fler byggnader utförs med sprinkler och att befintliga byggnader kompletteras med sprinkler retroaktivt är det troligt att den ökade säkerhetsnivån i högre byggnader kommer återspeglas ännu tydligare i statistiken.

6.6 ÖVRIGA OBSERVATIONER

Utifrån den internationella jämförelsen, litteraturstudier och egna erfarenheter har gjorts ett antal övriga observationer som inte är direkt kopplade till vad som analyserats ovan. Nedan görs en kort sammanställning av dessa observationer som information.

- I vissa länder finns krav på organisatoriskt brandskydd i nationella eller lokala byggregler eller andra författningar. Det kan exempelvis innefatta krav på utrymningsövningar och/eller utrymningsorganisation.
- Det finns nationella och/eller lokala regelverk som ställer krav på certifiering eller annan eller kompetensklassificering för den som projekterar byggnadens brandskydd men även för dem som inspekterar byggnadsverk eller underhåller brandskyddsinstallationerna [12].
- I vissa länder är kraven på kontroll och underhåll av brandskydd tydligare reglerat än i Sverige, t.ex. genom hänvisning till standarder med specificerade kontrollmoment, kontrollintervaller och krav på den som utför kontrollen. Det finns också exempel på regleringar som innebär att fastighetsägaren med visst intervall ska redovisa för berörd myndighet att kontroll och underhåll utförts enligt kraven.
- Dörrstängare på branddörrar är ett generellt krav i nästan alla av de undersökta länderna. I Norge och Danmark accepteras dock likt i Sverige att branddörrar till bostadslägenheter kan utföras utan dörrstängare.
- I undersökningen gjordes ingen jämförelse mellan krav på minsta skyddsavstånd mellan fönster i höjddled vilket är en potentiellt viktig faktor för att minska risken för vertikal brandspridning, i synnerhet i osprinklade byggnader. En sammanställning av krav i olika länder har gjorts i [52]

och tyder på att kraven varierar mellan ca 0,9-1,5 m. Ett tydligt undantag är Japan där kravet istället är 1,9 m i höga byggnader [24].

- Som följd av branden i Grenfell Tower har materialspecifika byggregler och krav på sprinkler i höga byggnader (och i vissa fall även "låga" byggnader) införts eller är i färd med att införas i flera länder, främst i England och Skottland men också i Australien. Inom branschen har dock kritik framförts från olika håll mot att de föreslagna kraven är för strikta, exempelvis har Simon Lay argumenterat för att brännbara material i ytterväggar borde kunna övervägas under rätt förutsättningar istället för att helt förbjuda dem och att de föreslagna reglerna är allt för kantiga och t.ex. skulle innebära förbud mot fönsterkarmar av trä och träreglar i väggen [53]. Liknande kritik har framförts av Rowan [54] som argumenterar för att en fullskalig testmetod torde vara den enda rimliga lösningen då ett förbud mot brännbara material förhindrar innovation och försvårar byggandet. Exempelvis utgör laminerat glas i balkongräcken, gröna väggar och många typer av målningsbehandlingar brännbara material och det skulle fodras en lång lista av undantag för att utforma en yttervägg med annat än helt obrännbara material. Även kostnad/nytta med sprinkler i byggnader lägre än 30 m i England har ifrågasatts [55]. Liknande diskussioner fördes även efter de regelverksförändringar som infördes i bl.a. NFPA 101 och IBC som resultat av bränderna i World Trade Center [56].
- Det är oklart i vilken mån, om alls, som brandskyddsreglerna tar särskild hänsyn till "ikoniska byggnader" så som beskrivet i [2] d.v.s. att särskild höga och signifikanta byggnader kan behöva förstärkt skydd mot bränder och/eller antagonistiska hot. Förvisso infördes en del sådana regler i NFPA och IBC efter WTC (bl.a. särskilda krav på byggnader över 420 ft / 128 m [11]) men sannolikt är detta något som annars hanteras i det enskilda projektet i dialog med berörda myndigheter. Utomlands är det vanligt förekommande att räddningstjänsten eller lokala myndigheter har en starkare roll i byggprocessen än vad de har i Sverige och det är därför möjligt att denna typ av projektspecifika krav införs denna väg eller som del i detaljplanearbete eller motsvarande. SFPE m.fl. är även starka förespråkare för att brandskyddet i mycket höga byggnader är nödvändigt att utforma genom analytisk dimensionering på grund av de unika förutsättningarna och att de preskriptiva reglerna inte är anpassade för sådana byggnader [2] [57].

7 MÖJLIGHET TILL JUSTERAD KRAVNIVÅ I SVERIGE

Baserat på den internationella jämförelsen är det troligt att säkerhetsnivån i höga byggnader i Sverige sannolikt är något lägre än i många jämförbara länder. Denna bedömning baseras dock främst på en jämförelse av reglerna vid förenklad dimensionering upp till 16 våningar. Högre byggnader hänförs till byggnadsklass Br0 och brandskyddet för dessa utformas utifrån den aktuella byggnadens riskbild varmed det inte går att slå fast vilket brandskydd en "typisk" hög byggnad i Sverige är utformad med. För byggnader över 16 våningar blir således den internationella jämförelsen lite missvisande men tydligt är i alla fall att kraven vad gäller sprinkler och bärförmåga vid brand generellt är något högre utomlands; även i jämförelse med ett urval av svenska höga byggnader som utformats med analytisk dimensionering / alternativ utformning.

Den övergripande riskbilden med höga byggnader bedöms i hög grad täckas in av i dag gällande byggregler i Sverige. I vissa avseenden bedöms det dock vara nödvändigt, alternativt lämpligt, med en anpassning av regelverket för att möjliggöra uppförandet av höga byggnader (>16 våningar) inom ramen för förenklad dimensionering eller enbart med syfte att förtydliga och i vissa avseenden eventuellt höja kravnivån. Nedan sammanställs ett antal aspekter och områden som är av särskild vikt att beakta i samband med utarbetandet av nya regler för höga byggnader.

Notera att vissa av dessa aspekter är relevanta även för byggnader mellan 8 och 16 våningar. Något uppenbart behov av att anpassa de i dag gällande kraven för dessa byggnader har dock inte kunnat konstateras mot bakgrund av inträffade händelser. Någon närmare värdering av brandskyddet i byggnader mellan 8 och 16 våningar har dock inte ingått i uppdraget.

7.1 MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND

Begränsning av byggnadshöjd vid förenklad dimensionering

Möjligheterna till utrymning är utöver utrymningsvägarnas kapacitet bl.a. kopplat till byggnadens höjd. För mycket höga byggnader blir effekterna av utmattning, kötid och tid till total utrymning längre och konsekvenserna är inte per automatik linjära mot byggnadshöjden. Nya regler som möjliggör högre byggnader inom ramen för förenklad dimensionering behöver beaktas dessa effekter. Eftersom osäkerheterna kan förmodas öka i takt med höjden bör det finnas en maxnivå efter vilket analytisk dimensionering fortsatt är nödvändigt.

Antal utrymningsvägar

Ett flertal höga byggnader har uppförts i Sverige och utomlands med endast ett trapphus, bl.a. Turning Torso (190 m), Norra Tornen Innovationen (125 m) och Beetham Tower Manchester, UK (166 m) [58]. Dessutom har det varit en vanligt förekommande lösning i t.ex. Australien att genom analytisk dimensionering uppföra höga byggnader med endast ett trapphus. I efterspelet av Grenfell är dock mycket som tyder på att dessa möjligheter kommer försvinna.

Det bör nämnas att Grenfell Tower på många sätt skiljer sig från hur höga byggnader utförts i Sverige och den stora konsekvensen kan i hög grad kopplas till brister i ytterväggarnas och fasadernas utformning snarare än brandskyddet i övrigt. Ganska lite talar därför för att det är befogat att ställa ett generellt krav på två av varandra oberoende trapphus givet att brandskyddets utformning i övrigt är robust. Dessutom utgör begränsningarna för när trapphus Tr1 kan utgöra enda utrymningsvägen en form av tak för hur stora brandceller och hur många personer per plan trapphuset betjänar. Det ska dock noteras att det finns ett flertal exempel på byggnader där analytisk dimensionering tillämpats för att medge ett utökat personantal per brandcell och/eller längre gångavstånd för brandceller med trapphus Tr1

(eller Tr2) som enda utrymningsväg. Det bör övervägas om denna möjlighet behöver stängas, t.ex. genom att flytta delar av kriterierna i det allmänna rådet till 5:322 till föreskriften.

”Riskinformerade” dimensioneringsregler

I linje med föregående punkt är det avgörande att byggnadens brandskydd blir robust. Ett sätt att undvika detta kan vara att villkora byggandet av så kallade ”riskkonstruktioner” mot t.ex. krav på ytterligare trapphus, sprinkler m.m. Exempel på riskkonstruktioner kan vara ytterväggar eller fasader helt eller delvis av brännbart material, byggnader med trästomme eller exponerade ytskikt av trä, reducerat avstånd mellan fönster i vertikalled och eventuellt även brandceller över en viss storlek. En sådan reglering skulle då ha vissa likheter med kraven i EKS om bedömning av utökat skyddsbehov för Br0-byggnader, om än med tydligare kriterier. Detta skulle kunna vara ett sätt att objektsanpassa kravnivån utifrån byggnadens riskbild men utifrån förenklad dimensionering snarare än byggnadsklass Br0 och analytisk dimensionering. NFPA:s riskbedömningsverktyg för fasader, EFFECT [45], kan tjäna som ett exempel på hur en typ av kategorisering av riskkonstruktioner skulle kunna utformas.

Utrymningshissar

Utrymningshissar är sannolikt en bra lösning för mycket höga byggnader men det bedöms i dagsläget finnas stora osäkerheter gällande hur dessa bäst ska utformas samt i vilken utsträckning personer kommer använda dem och därmed vilken effektiv utrymningskapacitet de kan tillskrivas. Det pågår mycket forskning inom området men innan resultaten av denna är kända och standarder för utformning av utrymningshissar publicerade bedöms krav på utrymningshiss inom ramen för förenklad dimensionering vara problematisk och det rekommenderas att istället införa en begränsning av byggnadshöjden enligt översta listpunkten. Som referens är utrymningshissar inte heller krav i någon av de jämförda ländernas regelverk även om exempelvis Australien har vägledningsdokument [59] för utformningen.

Återinrymning från trapphus

I flera länder finns krav på möjlighet till återinrymning från trapphusen med vissa intervaller. I byggnader med lång total utrymningstid kan kösituationer uppstå vilket kan föranleda liknande problem med trängsel, fallolyckor med mera som i samlingslokaler. Situationen kan förvärras ytterligare om viss rökspredning sker till trapphuset, t.ex. om trycksättningssystemet inte fungerar som avsett [sådana system har dessutom visat sig ha mycket låg tillförlitlighet [60] [61]]. Möjlighet till återinrymning till vissa plan skapar också möjlighet för personer med nedsatt rörelseförmåga eller utmattade personer att förflytta sig från trappan och invänta hjälp i säkerhet, vilket samtidigt ger ökat utrymningsflöde i trappan. Det bör därför övervägas om liknande krav bör ställas i Sverige, åtminstone för mycket höga byggnader där många personer kan behöva utrymma samtidigt. I de flesta fall bör återinrymning kunna ske till trapp/hisshallar utan att därmed hamna i konflikt med skalskyddet.

7.2 SKYDD MOT BRAND- OCH BRANDGASSPRIDNING MELLAN BRANDCELLER

Dimensionering av avskiljande konstruktioner till trapphus

I flera av de jämförda länderna är kraven på avskiljande konstruktioner, i synnerhet sådana mot trapphus, högre än i Sverige och ofta kravställs motsvarande EI 90, EI 120 eller EI 180 även vid ”normal” brandbelastning. I exempelvis Australien gäller EI 120 redan för förhållandevis låga byggnader medan det i USA finns krav på ytterligare ”en timmes brandskydd” för trapphus i höga byggnader [11]. Det förekommer också krav på att avskiljande konstruktioner i allmänhet eller specifikt avskiljande konstruktioner till trapphus ska vara av obrännbart material.

Eftersom trapphusets integritet är helt avgörande för både utrymning och insats i höga byggnader bör det övervägas om högre krav än EI 60 behöver ställas på den avskiljande konstruktionen, i synnerhet där trapphuset utgör enda utrymningsvägen och där en brand kan förväntas bli svår att släcka

(osprinklad byggnad, mycket hög, stora öppna brandceller etc.). För dörrar är kraven förhållandevis höga i och med kravet på brandsluss (2 x EI 60) men den avskiljande konstruktionen i övrigt kan principiellt vara en träregelvägg i klass EI 60, även om det sannolikt är vanligast att trapphusen i höga byggnader utgör del av den stomstabiliserande konstruktionen och är utförda i betong.

Dörrstängare på dörrar till bostadslägenheter

Bland de undersökta länderna är det enbart i grannländerna Norge och Danmark som dörrstängare inte är ett krav på dörrar till bostadslägenheter. Dörrstängare är en potentiellt mycket effektiv åtgärd och det finns enstaka byggnader i Sverige där dörrstängare installerats även på lägenhetsdörrarna som del i en analytisk utformning av brandskyddet, exempelvis i Turning Torso [24]. Det finns dock en utbredd uppfattning i Sverige om att dörrstängare är oönskat av de boende och att tillförlitligheten därför blir låg, främst eftersom de boende antas häkta av dörrstängarna. Med tanke på hur utbredd användningen av dörrstängare i bostadslägenheter torde vara globalt sett finns sannolikt anledning att ifrågasätta hur stor denna problematik egentligen är. Däremot har Boverket tidigare utrett nyttan med dörrstängare till bostadslägenheter som vetter mot trapphus och konstaterat att ett sådant generellt krav inte är motiverat ur kostnads-nyttosynpunkt [62]. Eftersom utredningen dessutom utgick från öppna trapphus, d.v.s. där nyttan med en fungerande dörrstängare på lägenhetsdörren sannolikt är större än i en byggnad med Tr1- eller Tr2-trapphus, så är det ganska lite som tyder på att ett generellt krav på dörrstängare i höga byggnader skulle vara motiverat. Tillfredställande brandskydd bör istället kunna uppnås med hjälp av andra barriärer.

Förhindra allvarliga fasadbränder

Flera av de exceptionella händelser som inträffat i höga byggnader är en följd av brännbara material i fasader och ytterväggar. Det bedöms därför vara av stor vikt att förhindra dessa. En sammanställning av uppmärksammade fasadbränder har gjorts av Spearpoint et.al. [63] och publicerats i en öppen databas [44]. Att det finns problem med brännbara fasader även i svenska byggnader, om än i relativt sett begränsad omfattning, har konstaterats i undersökningar av bl.a. Strömgren [46].

Även om det kan visas att t.ex. en fasad av trä eller någon form av fasadpaneler uppfyller SP Fire 105 och att sprinkler ger en tillräcklig total riskreducering, finns det dock en osäkerhet om vad konsekvenserna skulle kunna bli om t.ex. sprinklersystemet är otillräcklig och branden blir mycket större än den som används föreskrivits för brandprovningsen. Vad gäller material i ytterväggar är de tänkbara konsekvenserna liknande även om exempelvis en inbyggnad bakom ej brännbara material (t.ex. cellplast ingjuten i betong i sandwichväggar) ger ett relativt sätt bättre skydd än om det brännbara materialet är direkt exponerat mot branden.

Allvarliga fasadbränder kan i princip helt förebyggas genom att förhindra användningen av brännbara material i fasader och ytterväggar i höga byggnader, vilket är den väg som har valts i England och Skottland som följd av Grenfell. Hård kritik har dock framförts mot att kraven inte är materialneutrala och att det går att bygga högt och säkert även med en (delvis) brännbar ytterväggskonstruktion.

I Sverige förutsätts redan i dag analytisk dimensionering av ytterväggars utformning för byggnader över 16 våningsplan men det finns inget formellt hinder att använda brännbara material i hela eller delar av fasaden förutsatt att funktionskraven kan uppfyllas. Om högre byggnader ska vara möjliga att uppföra inom ramen för förenklad dimensionering behöver dock kraven för ytterväggar anpassas. Detta skulle exempelvis kunna regleras med någon av följande metoder:

- i. Förbud mot brännbara fasadmaterial och isolering i byggnader över 16 våningar
- ii. Framtagande av och hänvisning till en ny fasadprovsningsstandard med högre krav för högre byggnader
- iii. Bibehålla dagens krav
- iv. Bibehålla dagens krav men klassificera en sådan ytterväggsutformning som en riskkonstruktion som i sin tur förutsätter att andra krav uppfylls, se 7.1.

Noterbart är även att många äldre byggnader kan ha fått ny utanpåliggande fasadisolering eller ny fasadkonstruktion med sämre brandegenskaper än tidigare, vilket t.ex. var fallet med Grenfell Tower. Eventuella nya krav för ytterväggar i höga byggnader behöver således utformas för att även ta hänsyn till att brandskyddet i befintliga byggnader inte försämras och då är det olämpligt om det finns lösningar enligt förenklad dimensionering som möjliggör uppförande av riskkonstruktioner vilka kan tillämpas mer eller mindre utan hänsyn till byggnadens brandskyddsutformning i övrigt.

Brandsektionering i höga byggnader

Dagens krav på brandsektionering av stora byggnader bedöms primärt vara utformade med industribyggnader i åtanke (baserat på historiska byggregler) och vara anpassade för byggnader med lägre höjd. I höga byggnader, och i synnerhet om dessa utförs utan sprinkler, finns anledning att överväga ytterligare begränsning av brandcellers storlek och/eller vertikala brandsektioner då det är mycket svårt att släcka eller begränsa en stor brand högt upp i en byggnad. För byggnader med en enda utrymningsväg kan möjliga tillträdesvägar till våningsplanet vara begränsat till en enstaka dörr vilket försvårar insats med mer än ett rökdykarpar samtidigt. Notera dock att riskerna med stora brandceller i höga byggnader på många sätt är liknande även i en 16 våningar hög byggnad.

Balkonger och inglasningar

Reglerna för balkonger och inglasningar med avseende på materialkrav och skydd mot brandspridning mellan brandceller kan eventuellt behöva ses över om högre byggnader ska kunna uppföras inom ramen för förenklad dimensionering. Vidare är kraven i BBR för utformning av balkonger, vad gäller bl.a. materialval och brandegenskaper mindre tydliga än för ytterväggar och balkongerna testas inte heller inom nuvarande provningsmetod för ytterväggar SP Fire 105. Det bör således, likt för ytterväggar, tydliggöras om balkonger och inglasningar får utföras helt eller delvis av brännbara material.

Förvisso har rapportförfattarna inte identifierat att detta varit ett utbrett problem i samband med inträffade bränder men det finns exempel på bränder som startat på balkonger och spridit sig längs med dessa, exempelvis Lacrosse Fire i Melbourne [42]. I det fallet är dock den brännbara fasadpanelen den bakomliggande orsaken till att branden spred sig. Liknande händelser, där brännbara material på balkonger varit startpunkten eller bidragande orsak är bränderna i The Address Downtown Hotel och The Torch, båda i Dubai. Slutsatser från alla dessa händelser var att även balkonger bör vara sprinklade i byggnader som i övrigt är fullsprinklande [2]. Även utvändigt sprinklerskydd bör således övervägas i byggnader med brännbart fasadmaterial.

Vertikala schakt och hålrum

Öppna schakt, installationsnicher och hålrum (t.ex. i modulkonstruktioner) har visat sig vara ett problem vid bränder för flera olika byggnadstyper. För höga byggnader förstärks problematiken ytterligare då skorstenseffekten blir tydligare, brandsläckning i konstruktionerna försvåras då utvärdig släckning inte är möjligt och den potentiella konsekvensen blir större. Detta är område som troligen är svårt att reglera bort med annat än att förbjuda öppna schakt förutom för hissar och trapphus. Det är dock möjligt att dagens Br0-klassificering för byggnader över 16 våningar bidrar till något mer genomtänkta lösningar i detta avseende eftersom vertikal brandspridning rimligtvis bör hanteras i riskidentifieringen och helhetsbedömningen av byggnadens brandskydd.

7.3 SKYDD MOT BRANDSPRIDNING MELLAN BYGGNADER

Höga byggnader har stora fasadytor och ofta stora fönstereor, speciellt i kontor, vilket kan bidra till risken för brandspridning till närliggande byggnader. Ingen jämförelse av kraven på skydd mot brandspridning mellan byggnader i de olika länderna har gjorts. Däremot kan konstaterats att beräkningar av infallande värmestrålning sannolikt skulle visa att dimensionerande strålningsnivåer i BBRAD inte klaras för dessa fall och att brandspridning till en eller flera intilliggande byggnader väsentligt skulle försvåras räddningstjänstens insats. Det bör därför övervägas om 8 meters skyddsavstånd är tillräckligt för dessa fall, i synnerhet för osprinklade byggnader då risken för brandspridning till andra byggnader kan förväntas vara mycket större i dessa fall. Vidare kan konstateras att bränder i byggnader med ytskikt av exponerat trä (förhöjd brandbelastning) ger större fönsterflammar och därmed ökad risk för brandspridning mellan byggnader. Även situationen med en intilliggande lägre byggnad med hög brandbelastning och/eller stora fönstereor som vetter mot den höga byggnaden är något som kan behöva regleras hårdare.

7.4 BRANDTEKNISKA INSTALLATIONER

Krav på automatiskt släcksystem

Utifrån sammanställningen i Tabell 4 kan konstateras att det finns flera höga byggnader över 16 våningar i Sverige som projekterats enligt kraven för byggnadsklass Br0 och som utförts utan sprinkler. Tillfredställande brandskydd kan således erhållas även utan sprinkler, åtminstone i vissa byggnadstyper och verksamhetsklasser, under förutsättning att det passiva brandskyddet är robust och detaljutförande samt underhåll är tillfyllest.

En viktig reflektion är dock att det är just de sistnämnda aspekterna, d.v.s. detaljutformning och underhåll, som både är svåra att reglera och som i flera avseenden kan "avhjälpas" genom krav på sprinkler; inte för att eventuella brister därmed korrigeras utan för att sannolikheten för allvarliga påfrestningar på brandskyddet minskar väsentligt. Ytterligare för- och nackdelar med ett generellt krav på sprinkler beskrivs på andra platser i dokumentet.

Om krav på sprinklersystem skulle införas finns ett flertal punkter som bör beaktas närmare. Denna lista är dock långt ifrån heltäckande och närmare konsekvensutredning bör göras innan eventuell regeländring.

- Vid förenklad dimensionering förutsätts sprinklersystemet alltid fungera och robustheten hanteras implicit. Det bör övervägas om närmare reglering behövs inom andra områden för att hantera riskerna om sprinklersystemet inte skulle fungera.
- Vid förenklad dimensionering får endast ett teknisk byte göras i byggnader där sprinkler är krav. Det bör övervägas om ytterligare tekniska byten kan vara möjligt, och i så fall vilka. Vissa kombinationer av tekniska byten kan kanske vara olämpliga i höga byggnader.
- Det är möjligt att boendesprinkler kan vara ett alternativt till automatisk vattensprinkleranläggning för att tillåta högre byggnader i Vk3A och Vk4.
- I samband med fasadbränder som inträffat i bl.a. Australien och UAE har en av rekommendationerna varit att sprinklersystemet även bör omfatta balkonger och inglasade utrymmen.

Drifttid

Fler av de allvarligaste bränderna i höga byggnader har pågått under lång tid. Branden i Grenfell Tower pågick i ca 24 timmar innan räddningstjänsten hade den under kontroll och det tog över 60 timmar innan branden var släckt. Grenfell Tower är på många sätt en extrem händelse men det finns flera ytterligare exempel på bränder som pågått i timtal. För höga byggnader där både utrymning och insats kan förväntas ta mycket lång tid kan det därför ifrågasättas om 60-120 min drifttid på nödbelysning,

räddningshissar, trycksättningssystem m.m. är tillfyllest, i synnerhet för system som betjänar utrymnings- och insatsvägarna och räddningstjänstens insatsmöjligheter i övrigt.

Kontroll och underhåll

I BBR 2:5 finns krav på instruktioner för drift- och skötsel men det är oklart i vilken mån underhållsplaner efterlevs av t.ex. bostadsrättsföreningar. Med hänsyn till att såväl komplexiteten i brandskyddets utformning i höga byggnader och brandskyddets beroende av tekniska system kan det övervägas om det exempelvis behövs allmänna råd, branschstandarder eller dylikt att hänvisa till vad gäller krav på kontroll- och underhåll av byggnaders brandskydd. På motsvarande vis kan det finnas ett behov av utökad myndighetstillsyn. Att brister i underhåll av brandskyddsinstallationer föreligger har konstaterats i flera sammanhang och blev särskilt uppmärksammat efter branden på Kuddbygränd i Rinkeby där en ej fungerande röklucka var en bidragande orsak till utfallet [62]. Det bör dock påpekas att behovet av kontroll och underhåll inte är begränsat till brandtekniska installationer utan det passiva brandskyddet kan vara minst lika viktigt att kontrollera.

7.5 MÖJLIGHET TILL RÄDDNINGSSINSATSER

Kommunikationssystem/utrymningslarm

I höga byggnader där utrymningsstrategin baseras på att enbart utrymma startbrandcellen bör det övervägas om det finns behov att införa krav på kompletterande utrymningslarmssystem för att möjliggöra för räddningstjänsten att initiera en partiell eller fullständig utrymning av byggnaden om behov skulle uppstå, se även kapitel 6.1.3.

Radiokommunikationssystem för räddningsinsats

Byggnadens höjd, typ av konstruktion och utformning kan försvåra samband via kommunikationsradio inom byggnaden, vilket är en förutsättning för att en invändig räddningsinsats. I vissa länder har sådana kommunikationssystem kravställts i byggreglerna [2] medan det i Sverige hanteras på lokal nivå. Räddningstjänsten i Storgöteborg förespråkar exempelvis att en mätning av radiotäckningen ska göras i byggnader över 16 våningar innan byggnaden färdigställs för att avgöra om eventuella stödsystem behövs [33]. Oavsett om regleringen görs på nationell nivå eller hanteras genom lokala krav kan dock konstateras att bristande radiotäckning varit ett stort problem i samband med allvarliga bränder [12] och att tillräcklig radiotäckning bör vara tillgodosedd i höga byggnader.

Förhindra vertikal brandspridning

Utvändig brandbekämpning eller samtidig brandbekämpning på flera plan bedöms vara extremt komplicerat varför regleringsarbetet bör lägga stort fokus på att förhindra vertikal brandspridning, se även kapitel 7.2.

Räddningshissar

I dagsläget krävs enbart en räddningshiss i höga byggnader såvida våningsplanens area inte överstiger 900 m². Det bör dock övervägas om det kan finnas behov av fler än en räddningshiss i mycket höga byggnader även om våningsplanens area är mindre än så, t.ex. av redundansskäl och för att kunna nyttja den ena hissen för assisterad utrymning och den andra för insats.

Räddningstjänstens förmåga och insattid

I höga byggnader där brandskyddsstrategin till stor del baseras på invändig släckinsats och snabbt ingripande av räddningstjänsten, t.ex. i byggnader som saknar sprinkler, bör det övervägas om byggnadens utformning och tillika brandtekniska system behöver anpassas utifrån den lokala räddningstjänstens förmåga. Till exempel kan det kanske vara olämpligt med mycket höga osprinklade byggnader i glesbygd där räddningstjänsten har lång insattid och begränsat med resurser.

7.6 BÄRFÖRMÅGA VID BRAND

Dimensionera för att förhindra kollaps

Kraven på byggnaders bärförmåga vid brand ska baseras på byggnadens skyddsbehov. Skyddsbehovet är särskilt stort i höga byggnader där personer inte kan förväntas vara vakna och där utrymningsstrategin dessutom baseras på att personer avvaktar i ej brandutsatt brandcell (stay-in-place). Även i höga byggnader med en utrymningsstrategi baserad på fullständig utrymning, vilket kan vara fallet i t.ex. kontorshus, så kan dock inte alla personer ha förväntats kunna utrymma på egen hand, exempelvis personer som inväntar assisterad utrymning på (tillfälliga) utrymningsplatser. I höga byggnader, och i synnerhet i höga byggnader med långa utrymnings- och insatstider, så behöver bärverket därför kunna motstå ett helt brandförlopp inklusive avsvalningsfas (full burnout). Förutom att det är av yttersta vikt för personsäkerheten är det även viktig ur hållbarhetssynpunkt att en brand inte leder till en totalskada så att byggnaden behöver rivas. På motsvarande vis ligger det också i samhällets intresse att höga byggnader inte ska kollapsa och t.ex. öka risken för brandspridning mellan byggnader och/eller att de förknippas med stora brandrisker (även om den faktiska risken för personskador skulle kunna vara låg).

I dagsläget bedöms vissa höga byggnader med trästomme, dock sannolikt inte byggnader över 16 våningar (p.g.a. Br0-klassificeringen), utformas med brandskydd i R60 eller R90 vilket enligt nu gällande regler är tillåtet inom förenklad dimensionering. Ett utförande i R60 eller R90 innebär dock inte att dessa byggnader, på grund av trästommens bidrag till brandbelastningen och träets reducerade bärförmåga vid förhöjda temperaturer, kan förväntas motstå ett fullständigt brandförlopp samt upprätthålla bärförmågan under avsvalningsfasen. Därmed riskerar dessa byggnader att i praktiken vara utförda med ett lägre brandmotstånd än motsvarande stål- eller betongbyggnad, och kanske även med en lägre säkerhetsnivå än vad samhället förväntar sig. Det rekommenderas därför att precisera reglerna för byggnader med brännbar stomme (även för byggnader lägre än 16 våningar) och utvärdera om kraven är tillräckliga.

Skyddsnivå för Br0-byggnader / byggnader över 16 våningar

Reglerna för dimensionering av Br0-byggnader i EKS 11 medger att höga byggnader i Sverige, oavsett våningsantal, aldrig behöver dimensioneras för högre bärförmåga än R90, alternativt R120 om utökat skyddsbehov föreligger och byggnaden saknar sprinkler, under förutsättning att brandbelastningen är högst 800 MJ/m². Internationellt sett är R90 en förhållandevis låg kravnivå för byggnader med ca 8-16 våningar. För högre byggnader så kan konstateras att de flesta jämförda länder har krav på motsvarande klass R120 i kombination med sprinkler och att det av de jämförda länderna enbart är i Sverige som bärförmågan får reduceras med hänsyn till sprinkler.

För byggnader över 16 våningar, och i synnerhet mycket höga byggnader eller för byggnader av "riskkonstruktion" (trästomme, brännbara fasadmateriäl/isolering, särskilt svårutrymda m.m.), bör det övervägas om skyddsnivån som erhålls vid dimensionering enligt klassificering är tillräcklig, även för de fall då ett utökat skyddsbehov bedöms föreligga. Vidare bör det, om Br0-klassificeringen vid 16 våningar bibehålls, ges närmare exempel kring när ett utökat skyddsbehov kan anses föreligga relativt en i övrigt likvärdig referensbyggnad i 16 våningar.

Samtidigt bör nämnas att byggnadskollaps av höga byggnader är mycket ovanliga baserat på sammanställningar [12] [50]. Däremot kan noteras att flera bränder har pågått under mycket lång tid [10] och det är troligt att t.ex. en bärförmåga om R60 och i vissa fall sannolikt R90 nog hade varit en för låg nivå i vissa av dessa bränder.

8 REGLERINGSMÖJLIGHETER

Nedan presenteras tre möjliga regleringsalternativ för införande av ändrade regler för byggnader över 16 våningar. Dessa alternativ är inte heltäckande och kan kombineras i valda delar. De tre alternativen omfattar:

- Nya regler för förenklad dimensionering där kravnivån anpassas till internationell "praxis"
- Förhöjd gräns för byggnadsklass Br0
- Kompletterande föreskriftskrav för höga byggnader men med bibehållen 16-våningarsgräns för byggnadsklass Br0.

Förenklad dimensionering anpassad till internationella regelverk

Utifrån den internationella jämförelsen kan konstateras att det i flera länder går att uppföra mycket höga byggnader utifrån en förenklad dimensioneringsmetodik. Det bedöms vara fullt möjligt att införa liknande regler i Sverige men det kan också konstateras att kravnivån i de jämförda ländernas regelverk generellt är högre och i vissa fall mycket högre än kraven i BBR för byggnader upp till 16 våningar. En direkt anpassning till dessa länders regelverk är, förutom att det är tveksamt ur kostnadsnyttosynpunkt, även problematiskt ur ett regleringsperspektiv då kraven vid förenklad dimensionering också utgör en lägstanivå för utformning av Br0-byggnader.

För att inte regelverket ska bli för stelbent, med likriktade krav för alla byggnader över 16 våningar, skulle därför flera ytterligare nyanseringar behöva införas beroende på byggnadshöjden, t.ex. i linje med "brytgränserna" i dagens regelverk vid 4-5 våningar, 8-10 våningar och över 16 våningar. Olika kravnivåer hade då kunnat vara lämpligt för byggnader över t.ex. 24, 40 eller 60 våningar etc. Det är dock tveksamt om en sådan utformning innebär någon faktisk förenkling av byggreglerna och försvårar också objektsanpassningen, där t.ex. en mycket hög byggnad men med ett begränsat antal personer per plan inte nödvändigtvis har samma typ av riskbild som en lika hög byggnad men med betydligt större personantal, öppen planlösning etc. En förklaring till det senare är att räddningstjänstens förmåga att bistå med utrymning kan vara mer beroende av antalet personer i byggnaden än antalet våningar och omvänt att brandcellernas storlek snarare än byggnadens höjd kan ha större påverkan på möjligheterna till en effektiv släckinsats.

Förhöjd gräns för byggnadsklass Br0

Den aktuella Br0-klassificeringen av byggnader ovan 16 våningar har fördelar då den normalt medför en mer noggrann och djupgående projektering och uppföljning vilket kan tänkas innebära en högre kvalitet i både brandskyddets utformning och färdiga utförande. Detta motiveras främst av kravet på att beakta både de enskilda lösningarna (med analytisk dimensionering) och robustheten i byggnadens brandskydd. Detta gäller således både "specialfrågor" som t.ex. räddningshissar men även andra frågor, t.ex. kanalisation till brandtekniska system, utformning av öppna schakt/vertikala brandcellsgränser, utformning av praktiska lösningar för räddningstjänsten m.m. som eventuellt ägnas mindre omtanke vid förenklad dimensionering. Det bedöms därför lämpligt att bibehålla byggnadsklass Br0 för höga byggnader men brytgränsen kan sannolikt höjas från 16 våningar för byggnader i Vk1, Vk3A och Vk4. Hur många våningar som är lämpliga behöver bli föremål för närmare utredning men utifrån sammanställning av befintliga höga byggnader i Sverige, se kapitel 3.3 samt Bilaga A, är det mycket få byggnader som är över 100 meter och majoriteten av byggnaderna över 16 våningar är inte högre än ca 80 meter och har inte fler än 30 våningar.

För exceptionellt höga byggnader, t.ex. de över 100 meter eller med fler än 30 våningar bedöms det lämpligt att bibehålla Br0-klassificeringen och tillhörande krav på analytisk dimensionering. Motivet är dels att antalet sådana byggnader är få till antalet och mycket kostsamma att uppföra varför en opti-

merad nivå vad gäller antal trapphus m.m. blir en avgörande faktor. Dels är motivet också att riskökningen inte nödvändigtvis är linjär i förhållande till byggnadshöjden. Bland annat ökar risken kopplad till så kallade "wind-driven fires", termiska effekter blir påtagliga, den totala utrymningstiden ökar och så även behov av återinrymningsmöjligheter (t.ex. på grund av utmattning eller rökspridning till trapphuset). Kraven på säkerhetsmarginaler vad gäller exempelvis bärförmåga vid brand, reservkraft för sprinkler, räddningshissar m.m. kan således behöva vara högre i en 80-våningars byggnad än en 30-våningsarbyggnad.

Det bedöms även vara lämpligt att bibehålla Br0-gränsens vid 16 våningar för byggnader med kombinationer av olika verksamhetsklasser (eventuellt med undantag av markplanet etc.) och som i dagens krav där det finns publika lokaler i Vk2B/C ovan markplanet. Enligt beskrivet i 7.2 bör det även övervägas om det behövs en begränsning kopplat till våningsplanens storlek och/eller antalet personer per plan.

Förutom att Br0-klassificeringen sannolikt resulterar i ett brandskydd som är bättre anpassat för den specifika byggnadens riskbild medför en utformning enligt analytisk dimensionering sannolikt en mer kostnadseffektiv utformning av brandskyddet utan att säkerhetsnivån för den skulle behöva bli otillräcklig. Mot den bakgrunden är det dock relevant att fråga sig om en höjning av Br0-gränsen och införandet av utformningsalternativ enligt förenklad dimensionering faktiskt underlättar byggandet av höga byggnader eller ger en mer effektiv användning av samhällets resurser. Riskerna med att införa allmänna råd för höga byggnader över 16 våningar, t.ex. en oavsiktlig höjning av kravnivån för vissa byggnadstyper/verksamhetsklasser i ett försök att likrikta reglerna, bör därför vägas mot fördelarna.

Det kan också vara värt att notera att flera av referenser, bl.a. SFPE [2] och [57], starkt förespråkar att brandskyddet i höga byggnader behöver utformas genom analytisk dimensionering i syfte att tillgodosätta att alla risker hanteras korrekt. Det är dock troligt att det främst är "mycket höga byggnader" som avses i dessa fall snarar än exempelvis byggnader mellan 16 och 24 våningar.

Kompletterande tekniska krav på föreskriftsnivå

Ytterligare ett möjligt regleringsalternativ är att likt flera jämförbara länder ställa krav på exempelvis automatiskt släcksystem, förhöjda krav på bärförmåga vid brand eller minst två trapphus över ett visst våningsantal/höjd utan att för den delen ändra kriterierna för klassificeringen av Br0-byggnader. Ett sådant krav skulle då bli en absolut lägsta nivå över en viss höjd/våningsantal, d.v.s. likt kraven i 5:321 på att byggnader över 16 våningar ska ha minst ett Tr1-trapphus. Det kan dock konstateras att det har uppförts ett antal byggnader över 16 våningar utan sprinkler även inom ramen för BBR 19 och senare. En sådan direkt reglering av kravnivån torde därför främst vara aktuell om Boverket bedömer att det finns risk att höga byggnader har eller kan komma att utföras med otillräcklig säkerhetsnivå. Ett sätt att ytterligare nansera kravnivån kan istället vara att införa särskilda regler för byggnader med "riskkonstruktioner", se kapitel 7.1 och 7.2, medan en lägre kravnivå kan tillämpas för övriga byggnader.

9 DISKUSSION

Utifrån en genomgång av problematiken med bränder i höga byggnader och en jämförelse med tillämpliga brandskyddskrav i andra jämförbara länder kan det konstateras att Boverkets byggregler till stor del täcker in den identifierade riskbilden och att liknande lösningar för utformning av brandskyddet i höga byggnader förekommer i hög grad. Detta avser primärt:

- förbättrade utrymningsmöjligheter genom särskilda krav på trapphus,
- utökade krav på bärförmåga vid brand, samt
- insatsstödjande brandtekniska installationer.

Ur ett internationellt perspektiv är dock kraven på brandskydd i höga byggnader i Sverige förhållandevis låga. Det behöver dock inte innebära att kraven i BBR för den delen skulle vara otillräckliga utan kan också tänkas vara en följd av att brandkraven i andra länder generellt ligger på en högre nivå, eller att brandkraven specifikt för högre byggnader är särskilt höga.

Såvitt författarna känner till finns begränsat med underlag i form av riskbaserade kostnads-nyttanalyser där kravnivån för en viss byggnadstyp bestämts utifrån ett holistiskt perspektiv baserat på samhällsnytta. De flesta regelverk är istället erfarenhetsbaserade och kravnivån har successivt höjts som svar på inträffade händelser. Utifrån det analyserade statistiska underlaget, se avsnitt 3.6, är det tydligt att den genomsnittliga brandrisken i höga byggnader ofta är lägre än i "låga byggnader". Det är därmed inte på grund av en hög genomsnittlig risknivå som kraven för höga byggnader höjts påtagligt i flera jämförbara länder under senare år, detta bedöms istället ha gjorts mot bakgrund av att den befärande konsekvensen kan vara mycket stor då en enskild händelse i en hög byggnad kan leda till ett stort antal omkomna [23].

De kravhöjningar som skett internationellt bedöms därmed inte alltid ha varit motiverade ur risksynpunkt vilket bland annat debatten efter Grenfell och World Trade Center har synliggjort. I de fall noggranna analyser ändå har gjorts, t.ex. vad gäller ett generellt krav på sprinkler för en viss byggnadstyp, så har kraven ibland höjts trots att analysen visat att åtgärden inte är motiverad ur kostnads-nyttosynpunkt. De senare var till exempel fallet i Australien där en kostnads-nyttanalys utfördes 2018 för att utvärdera sprinkler i nya bostadshus över 4 våningar men lägre än 8 våningar [64]. Trots slutsatserna av analysen infördes 2019 krav på sprinkler i alla bostadshus över 4 våningar. I dessa fall kan det snarare vara på grund av politiska påtryckningar eller skillnader i riskperception som kraven höjts.

10 SLUTSATS

Baserat på den internationella jämförelsen är det troligt att säkerhetsnivån i höga byggnader i Sverige är något lägre än i många jämförbara länder. Denna bedömning baseras dock huvudsakligen på en jämförelse av reglerna vid förenklad dimensionering för byggnader upp till 16 våningar eftersom högre byggnader hänförs till byggnadsklass Br0 och utformas med brandskydd specifikt anpassat till den aktuella byggnadens riskbild. För byggnader över 16 våningar blir således den internationella jämförelsen något missvisande, däremot kan konstateras att brandskyddskraven i de flesta jämförbara länder är högre för byggnader upp till 16 våningar. Baserat på utformningen av brandskyddet i ett urval av byggnader över 16 våningar som uppförts i Sverige kan även noteras att säkerhetsnivån sannolikt är något lägre än i motsvarande byggnader i de undersökta länderna.

Nuvarande regler skapar stor frihet i utformningen av brandskyddet i byggnader över 16 våningar vilket ger möjlighet till kostnadseffektiva lösningar men samtidigt öppnar för lösningar som potentiellt är mycket sårbara mot vertikal brandspridning, exempelvis på grund av kraftig vindpåverkan, systematiska fel i utförandet (t.ex. felaktig brandtätning i öppna schakt) och mot händelser som kan slå ut den enda utrymningsvägen; exempelvis antagonistiska hot eller exceptionella händelser (fordonskollisioner, explosioner, farligt gods-olyckor m.m.). Även om samhällsriskerna det till trots kan vara låg så kan högre krav vara motiverade mot bakgrund av samhällets riskaversion mot sällan förekommande olyckor men med ett stort antal omkomna. I synnerhet om ett ökat höghusbyggande kan förväntas och sannolikheten för denna typ av händelser därmed ökar.

Utifrån den genomförda omvärldsanalysen, undersökningen av brandskyddsreglerna i ett antal jämförbara länders regelverk samt en analys av tidigare inträffade händelser kan ett antal slutsatser dras.

- Brandskyddskraven i jämförbara länder är generellt högre än i Sverige. I synnerhet är det kraven på byggnadens bärförmåga vid brand, brandavskiljande konstruktioner, minsta antalet trapphus och sprinkler som skiljer sig.
- Statistiskt sett utmärker sig inte bränder i höga byggnader som en stor brandrisk. Av de dödsbränder i flerbostadshus, kontor och hotell som inträffat i Sverige under de senaste 20 åren är det mycket sällan fler än en person har omkommit. Utländska data talar för att brandrisken i höga byggnader snarare är lägre än i låga byggnader.
- Allvarliga bränder som inträffat i höga byggnader kännetecknas normalt av brister i brandskyddet kopplade till felaktigt utförande eller felaktig projektering, eventuellt delvis orsakat av oklarheter i regelverken (t.ex. Grenfell Tower).
- Brännbara fasader/ytterväggskonstruktioner har varit orsak till flera av de allvarligaste bränderna under senare år. Andra återkommande orsaker utgörs av extrema händelser som byggnadens brandskydd inte varit dimensionerat för (flygplanskrascher, terrorhändelser, bränder under byggtid).
- Tillfredställande brandskydd kan sannolikt erhållas även utan sprinkler i höga byggnader, åtminstone för vissa byggnadstyper och verksamhetsklasser, under förutsättning att det passiva brandskyddet är robust och detaljutförande samt underhåll är tillfredställande.

Dagens regelverk bedöms i hög grad täcka in den övergripande riskbilden med höga byggnader. För att kunna möjliggöra uppförandet av byggnader över 16 våningar inom ramen för förenklad dimensionering bedöms det dock vara nödvändigt med en anpassning av delar av regelverket. Förslag på områden där ytterligare reglering för höga byggnader bedöms vara lämplig presenteras i rapporten, varav följande aspekter bedöms vara de viktigaste att beakta:

- Det bör finnas ett tak för hur höga byggnader som kan dimensioneras enligt förenklad dimensionering, även om nuvarande begränsning till 16 våningar sannolikt kan höjas.
- Allvarliga fasadbränder bör så långt som möjlig förhindras.

- Bärförmågan vid brand bör dimensioneras för fullständigt brandförlopp inklusive avsvalningsfas (full burnout).

Det bör också noteras att den problembild som föreligger för brandskyddet i höga byggnader i stor utsträckning är relevant också för höga byggnader lägre än 16 våningar även om problemen blir mer påtagliga i mycket höga byggnader.

11 BEHOV AV FORTSATT ARBETE

Regelarbetet för att möjliggöra utförande av byggnader över 16 våningar inom ramen för förenklad dimensionering bör föregås av närmare utredning inom framförallt följande områden:

Utvärdering av dagens krav i förhållande till föreslagna ändringar

Då flera av riskerna i höga byggnader aktualiseras redan över ca 8 våningar bedöms det i samband med införande av nya krav för höga byggnader över 16 våningar vara lämpligt att även studera de befintliga kraven för höga byggnader upp till 16 våningar. En sådan genomgång kan utgöra grunden för en kravanpassning för att också omfatta byggnader över 16 våningar. Även om det saknas tydliga indikationer på att kravnivån för byggnader upp till 16 våningar skulle vara otillräcklig så råder exempelvis viss osäkerhet i branschen kring tolkningen av enskilda krav (se kapitel 4.3) och det bedöms finnas en osäkerhet kring säkerhetsnivån i byggnader med trästomme och/eller ytskikt av exponerat trä (se nedan). En eventuell regeländring som innebär en anpassning av kriterierna för vad som utgör en Br0-byggnad i klass Vk1, Vk3A eller Vk4 (t.ex. ökad höjd och/eller våningsantal) behöver även beaktas i en konsekvensanalys med avseende på hur detta påverkar referensnivån för de högsta byggnaderna samt höga byggnader i andra verksamhetsklasser och kombinationer av verksamhetsklasser.

Definitioner och terminologi

Reglerna för bestämning av byggnadshöjd, antal våningsplan, definitioner av vind, våning och källarplan m.fl. behöver förenklas. Det bör även utredas om och i så fall i vilka avseenden byggnadens höjd snarare än antalet våningsplan ska bli styrande för brandskyddskraven. Vidare bör utredas om det t.ex. är byggnadens arkitektoniska höjd eller höjden till golvnivån i det högst belägna våningsplanet som blir dimensionerande. I senare fall bör dock även eventuella tekniska installationer och byggnadsdelar på tak, t.ex. spiror, master, torn och dylikt vara utformade för att möjliggöra utrymning och räddningsinsatser.

Byggnader med trästomme och/eller stora delar av ytskikt av exponerat trä

Riskerna med trähus beskrivs utförligt i bland annat brandskyddsföreningens kunskapssammanställning [65]. Rådande kunskapsläget tycks förhållandevis entydigt tala för att träbyggnader som utformas enligt minimikraven i gällande regelverk (vid förenklad dimensionering) inte kan förutsättas nå samma säkerhetsnivå som en byggnad av mer traditionell konstruktion. Detta är dels kopplat till brister i utförandet (som förvisso inte är en direkt följd av regelverkets utformning), dels att trä är ett brännbart material som bidrar till brandförloppet och en utökad brandbelastning samt att avkylningsperioden kan ha relativt sett större betydelse [66].

Tänkbara regleringsalternativ för att möjliggöra byggande av höga trähus och samtidigt styra mot en acceptabel lägstanivå kan omfatta att bärverket enbart får dimensioneras enligt modell av naturligt brandförlopp inklusive avsvalningsfas och/eller att brandbelastningen i Br1-byggnader med ytskikt av brännbart material inte får bestämmas genom förenklad metodik enligt BBRBE [67].

Ytterligare en faktor att beakta är risken för kollaps och/eller brandspridning till andra byggnader i samband med byggnadsarbeten då konstruktionsbrandskyddet kan vara ofullständigt och eventuella släcksystem ej i drift. Denna fråga är dock troligen svår att reglera på ett pragmatiskt sätt.

Behov av ökad robusthet mot bakgrund av potentiellt stor konsekvens

Nuvarande regler skapar stor frihet i utformningen av brandskyddet i byggnader över 16 våningar. Exempelvis kan det sannolikt gå att utforma en byggnad i 50 våningar utan sprinkler och med tillgång till en enda utrymningsväg förutsatt t.ex. tät brandcellsindelning. En sådan lösning är dock potentiellt mycket sårbar mot vertikal brandspridning, exempelvis på grund av kraftig vindpåverkan, systematiska fel i utförandet (t.ex. felaktig brandtätning i öppna schakt), brister i ytterväggskonstruktionens design eller utförande och mot händelser som kan slå ut den enda utrymningsvägen, exempelvis; antagonistiska hot eller exceptionella händelser (t.ex. fordonskollisioner, explosioner, farligt gods-olyckor m.m.).

Även om samhällsriskerna till trots kan vara låga så kan högre krav vara motiverade mot bakgrund av samhällets riskaversion mot sällan förekommande olyckor men med ett stort antal omkomna. Relaterat kan nämnas att en av följderna av terroristattacker i World Trade Center blev att så kallade "scissor stairs", trapphus där två brandtekniskt avskilda trapplopp inryms inom samma trapphusvägar, förbjöds med motiveringen att friliggande trapphus är bättre ur robusthetsperspektiv [12]

Temporära funktionsbortfall på tekniska installationer

I höga byggnader är stora delar av brandskyddet ofta upphängt på enskilda brandtekniska installationer. Det gäller primärt sprinklersystem och räddningshissar men kan också gälla fläktar för trycksättning eller brandgasventilation, tryckstegringspumpar till stigarledningar, brandlarmscentraler eller andra styrenheter för brandtekniska system m.m. En viktig fråga att beakta är då hur byggnadens brandskydd kan upprätthållas vid kortvariga funktionsbortfall eller tillfälliga reparationsarbeten. Mycket kortvariga bortfall är troligen nödvändiga och möjliga att acceptera, medan flera dagar långa funktionsbortfall, t.ex. reparation eller renovering av en räddningshiss innebär att en väsentlig komponent av byggnadens brandskydd är satt ur spel. Det bör övervägas om detta behöver preciseras närmare och i så fall vilka krav som kan ställas på minsta tillgänglighet eller acceptabla funktionsbortfall under byggnadens livstid. Denna aspekt är inte unik för höga byggnader men blir extra påtaglig för mycket höga byggnader där byggnadens beroende av enskilda system blir särskilt uppenbart.

Förbättrad kvalitetskontroll

Utifrån det granskade underlaget är det mycket som tyder på att brandskyddet i höga byggnader generellt sett är bra både nationellt och internationellt, bl.a. med hänsyn till att de förhållandevis få signifikanta olyckor som inträffat. Med undantag av extrema händelser så som flygplanskrascher och terrorhändelser, vilka normalt inte utgör dimensionerande förutsättningar, är det främst när kritiska barriärer brister som katastrofala händelser inträffat. Dessa bränder har i flera fall kunnat kopplats till fel i utförandet av bl.a. brandtätning, brandcellsgränser och ytterväggskonstruktioner. Det är därför möjligt att en förbättrad process för kvalitetssäkring av byggnadernas brandskydd, både vad gäller projektering, utförande och drift/underhåll, är en mer effektiv åtgärd än byggnadstekniska krav för att höja säkerhetsmarginalerna. Exempel på processer för förbättrad kvalitet i byggprocessen beskrivs i bl.a. INSTA 952 [68]. Liknande system med oberoende kontroller finns i Norge och i Danmark (beskrivs i Boverkets slutrapport om Möjligheternas byggregler [69]). Vad gäller fel som uppkommer under driftskedet bedöms den förenliga problematiken vara svårare att komma åt, även om det finns internationella exempel med lagstadgade krav på årlig dokumenterad tredjepartskontroll [70] som, med största sannolikhet, bör resultera i en ökad tillförlitlighet att byggnadens brandskydd fungerar som avsett.

12 REFERENSER

- [1] J. R. Quiter, "New Guide on Fire Safety in Very Tall Buildings," *Fire Protection Engineering Magazine - Emerging Trends* issue 60, 2012.
- [2] SFPE, Engineering Guide: Fire Safety for Very Tall Buildings, 2nd Edition - 1st Draft Public Comment Version, Society of Fire Protection Engineers, 2020.
- [3] Scottish Government, "www.gov.scot," [Online]. Available: <https://www.gov.scot/publications/building-standards-technical-handbook-2019-domestic/appendix-defined-terms/definitions-explanation-terms-used-document/>. [Använd 16 12 2020].
- [4] Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), "CTBUH Height Criteria for Measuring & Defining Tall Buildings," 06 11 2020. [Online]. Available: <https://www.ctbuh.org/resource/height>. [Använd 06 11 2020].
- [5] Boverket, "Rapport 2014:4 Uppdrag att utreda definitioner på byggnadshöjd,nockhöjd, totalhöjd, vind, suterrängvåning och källare," Boverket, Karlskrona, 2014.
- [6] Boverket, "Rapport 2016:30 Exempel på reglering av byggnadsverks höjder och våningsantal - Uppdrag att ta fram förslag till författningsreglering avseende vissa centrala termer som behövs vid tillämpningen av plan- och bygglagen (2010:900)," Boverket, Karlskrona, 2016.
- [7] Wikipedia, "Lista över Sveriges högsta byggnader," [Online]. Available: https://sv.wikipedia.org/wiki/Lista_%C3%B6ver_Sveriges_h%C3%B6gsta_byggnader. [Använd 16 11 2020].
- [8] Wikipedia, "List of tallest buildings in the United Kingdom," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tallest_buildings_in_the_United_Kingdom. [Använd 19 11 2020].
- [9] G.-Q. Li, J. Jiang och C. Zhang, "A review on Fire Safety Engineering: Key Issues for High-Rise buildings," *International Journal of High-Rise Buildings*, vol. 7, 2018.
- [10] Wikipedia, "Skyscraper fire," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Skyscraper_fire. [Använd 04 12 2020].
- [11] NIST, "Safer Buildings Are Goal of New Code Changes Based on Recommendations from NIST World Trade Center Investigation," 01 10 2008. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/news-events/news/2008/10/safer-buildings-are-goal-new-code-changes-based-recommendations-nist-world>. [Använd 20 12 2020].
- [12] J. Carrigan, B. Blicher, L. Bennett och R. Spadafora, "Fire/Life Safety in High-Rise Buildings," Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), 2015.
- [13] A. Cowlard, A. Bittern, A.-E. Cecilia och J. Torero, "Fire safety design for tall buildings," *Procedia Engineering*, vol. 62, pp. 169-181, 2013.
- [14] BIV, "Brandteknisk dimensionering av Br0-byggnader," Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap, 2013.

- [15] BIV, "Insatsstödande åtgärder i höga byggnader upp till 16 våningar," Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap, 2015.
- [16] SSBF, "Höga byggnader - Vägledning vid utformning av brandtekniskt brandskydd," Storstockholms Brandförsvär, 2014.
- [17] Inside Housing, "Where did the stay put policy come from and where do we go now?," 31 10 2019. [Online]. Available: <https://www.insidehousing.co.uk/insight/insight/where-did-the-stay-put-policy-come-from-and-where-do-we-go-now-63957>. [Använd 14 11 2020].
- [18] SIS, "SS-EN 12845:2015, Brand och räddning – Fasta släcksystem – Automatiska sprinklersystem – Utförande, installation och underhåll," SIS, 2015.
- [19] L. Coates, G. Kaandorp, J. Harris, J. van Leeuwen, A. Avci, J. Evans, S. Georg, A. Gissing, R. van den Honert och K. Haynes, "Preventable Residential fire fatalities in Australia July 2003 to June 2017," Bushfire and Natural Hazards CRC, 2019.
- [20] Home Office Statistical Bulletin, "Fire and rescue incident statistics, England, year ending March 2019," 2019.
- [21] Home Office Statistical Bulletin, "Fire and rescue incident statistics, England, year ending June 2020," 2020.
- [22] Home Office, "Fire and rescue incident statistics - England, year ending June 2020: data tables - Table 0205," 12 11 2020. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/fire-statistics-data-tables#>. [Använd 28 12 2020].
- [23] NFPA, "High-Rise Building Fires," National Fire Protection Association, High-Rise Building , 2016.
- [24] F. Nystedt och T. Rantatalo, "Redefining fire safety in Swedish high-rise buildings," i *7th International Conference on Performance-Based Design and Fire Safety Design Methods*, Auckland, 2008.
- [25] OAX Brand- & Riskkonsult, "Brandskyddsbeskrivning Norra Tornen, Kv Innovationen, bygghandling ver. 0," OAX Brand- & Riskkonsult, Stockholm, 2017-05-19.
- [26] FSD, "Brandskyddsdokumentation The Point, Vårdshuset 4, Malmö," FSD, Malmö, 2020.
- [27] WSP Sverige AB, "Brandskyddsbeskrivning Nybyggnation Malmö Live Bostäder Norra, relationshandling," WSP Sverige AB, Malmö, 2016-02-15.
- [28] A. Persson och C. Gärdenfors, "Efter Londonbranden: Så räddas Malmös skyskrapor vid ett eldinferno," *Sydsvenska Dagbladet Snällposten*, 14 06 2017.
- [29] Brandskyddslaget, "Quality Hotel Friends - Relationshandling," Brandskyddslaget, Stockholm, 2013.
- [30] WSP Brand & Riskteknik, "Brandskyddsdokumentation hotell Stockholmsmässan," WSP Brand & Riskteknik, Stockholm, 2006.
- [31] Brandskyddslaget, "Arenastaden - Höga husen, hus 4, relationshandling," Brandskyddslaget, Solna, 2019.
- [32] WSP Sverige AB, "Brandskyddsbeskrivning, Cityterrassen, Godisfinkan 2 - Nybyggnad, programhandling," 2020-06-60.

- [33] Räddningstjänsten Storgöteborg, "Brandskydd i höga byggnader, råd och anvisning nr: 120, rev 2019-06-14," Räddningstjänsten Storgöteborg, 2014.
- [34] Räddningstjänsten Syd, "Förutsättningar för insats i höga byggnader, utgåva 5, 2018-06-13," Räddningstjänsten Syd, 2018.
- [35] Uppsala Brandförsvär, "Höga byggnader dnr. RÄN-2020-00055," Uppsala brandförsvär, Uppsala, 2020.
- [36] Brandskyddsföreningen, "SBF 504:1 Regler för trycksatt stigarledning," Brandskyddsföreningens Service AB, Stockholm, 2019.
- [37] Bengt Dahlgren, "Trycksättning av trapphus - Risker och möjligheter, rapport nr 2017/01," SBUF, 2017.
- [38] Bengt Dahlgren, "Tekniska lösningar för utformning av räddningshissar, rapport nr 2020/01," SBUF, 2020.
- [39] Local Government Association, "Fire Safety in purpose-built blocks of flats," Local Government Association, London, 2012.
- [40] Scottish Government, "Response to the Grenfell Tower Inquiry Phase 1," Scottish Government, 2020.
- [41] BSI, "BS 8629:2019 - Code of practice for the design, installation, commissioning and maintenance of evacuation alert systems for use by fire and rescue services in buildings containing flats," BSI, 2019.
- [42] G. Genco, "Lacrosse Building Fire," City of Melbourne, 2015.
- [43] Wikipedia, "List of high-rise facade fires," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_high-rise_facade_fires. [Använd 21 12 2020].
- [44] OFR Consultants, BRANZ, "Tall building fire incident database," 2019. [Online]. Available: <https://ofrconsultants.com/tall-building-fire-incident-database>. [Använd 05 12 2020].
- [45] S. Lamont och S. Ingolfsson, "High Rise Buildings with Combustible Exterior Wall Assemblies: Fire Risk Assessment Tool," NFPA, Quincy, MA, 2018.
- [46] M. Strömgren, "Kan Grenfell hända i Sverige? Enkätundersökning presenterad på Brandskyddsföreningens seminarium," 2017.
- [47] Victoria Building Authority, "Rectifying my building," [Online]. Available: <https://www.vba.vic.gov.au/cladding/rectifying-my-building#>. [Använd 21 12 2020].
- [48] Fair trading NSW Government, "Fire safety and external wall cladding," [Online]. Available: <https://www.fairtrading.nsw.gov.au/housing-and-property/fire-safety-and-external-wall-cladding#owners>. [Använd 21 12 2020].
- [49] E. Almgren, T. Mårtensson och M. Strömgren, "Akut byte av brandfarlig fasad," *Brandsäkert*, vol. 2, 2020.
- [50] NIST, "Analysis of Needs and Existing Capabilities for Full-Scale Fire Resistance Testin, NIST GCR 02-843-1 rev. 2009," NIST, 2008.

- [51] Winberg, David, "International Fire Death Rate Trends, SP Rapport 2016:32," SP Technical Reserach Institute of Sweden, Borås, 2016.
- [52] M. Nilsson, "The impact of horizontal projections on external fire spread - A numerical comparative study, rapport 5510," LTH, Lund, 2016.
- [53] S. Lay, "When Consultations Go Rogue," OFR Consultants, 13 Augusti 2018. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/when-consultations-go-rogue-simon-lay/>. [Använd 21 12 2020].
- [54] N. Rowan, "Heigh of Ambition," *Fire Safety Matters*, pp. 39-41, 12 2020.
- [55] M. Arnott, D. Hopkin och M. Spearpoint, "Application of a judgement method to regulatory impact assessments for sprinkler protection to English high-rise residential buildings," i *Interflam 2019: Detection and suppression*, 2019.
- [56] J. L. Torero, "Challenging Attitudes on Codes and Safety," *CTBUH Journal* , nr III, pp. 36-37, 2011.
- [57] A. Cowlard, A. Bittern, C. Abecassis-Empis och J. L. Torero, "Some considerations for the fire safe design of tall buildings," *International Journal of High-Rise Buildings*, vol. 2, pp. 63-77, 2013.
- [58] A. Wood, "Viewpoint - Evacuating High Rises: A strong international non-consensus," *Fire Protection Engineering magazine*, vol. 2nd Quarter, nr 50, 2011.
- [59] ABCB, "Handbook Lifts Used During Evacuation," Australian Building Codes Board, Canberra, 2013.
- [60] L. Zhao, "Reliability of Stair Pressurisation & Zone Smoke Control Systems," Fire Code Reform Centre, Sydney, 1998.
- [61] N. Gravestock, "Effectiveness of Fire Safety Systems for Use in Quantitative Risk," New Zealand Fire Service Commission, 2008.
- [62] Boverket, "Utredning av alternativ för förbättrat brandskydd i trapphus i flerbostadshus," Boverket, 2011-05-10.
- [63] M. J. Spearpoint, I. Fu och K. Frank, "Façade fire incidents in tall buildings," *CTBUH Journal*, nr Issue II, pp. 34-39, 2019.
- [64] ABCB, "Regulation Impact Statement for Final Decision - Fire safety in new Class 2 and Class 3 residential buildings," The Australian Building Codes Board, 2018.
- [65] C. Pettersson, "Fire Safety in Timber Buildings - A review of existing knowledge," Brandforsk – Swedish Fire Research Foundation, 2020.
- [66] Law, A & Hadden, R , "We need to talk about timber," *The Structural Engineer*, vol. 98, nr 3, 2020.
- [67] Boverket, "BFS 2013:11 - BBRBE 1, Boverkets allmänna råd (2013:11) om brandbelastning," Boverket, Karlskrona, 2013.
- [68] SIS, "SS-INSTA 952:2019 Brandteknik - Granskning och kontroll i byggprocessen," SIS, 2019.
- [69] Boverket, "Möjligheternas byggregler - Ny modell för Boverkets bygg- och konstruktionsregler, Rapport 2020:31," Boverket, Karlskrona, 2020.

[70] NSW Government - Planning & Environment, "Building Fire Safety Regulation new and changed requirements - Planning circular BS 17-002," 28 08 2017. [Online]. Available: <https://www.planning.nsw.gov.au/-/media/Files/DPE/Circulars/building-fire-safety-regulation-new-and-changed-requirements-planning-circular-2017-08-28.pdf?la=en>. [Använd 21 12 2020].

BILAGOR

BILAGA A – SAMMANSTÄLLNING AV HÖGA BYGGNADER I SVERIGE

I Tabell 6 redovisas en sammanställning av höga byggnader i Sverige.

Tabell 6 Höga byggnader i Sverige. Rader som är markerade i grönt är byggnader under konstruktion medan blåmarkerade är i planskede. Källa: https://sv.wikipedia.org/wiki/Lista_över_Sveriges_högsta_byggnader

Rang	Byggnad	Ort	Höjd till tipp	Arkitektonisk höjd	Höjd till tak	Våningar	Färdigställd
1	Turning Torso	Malmö	190,0 m	190,0 m	190,0 m	57	2005
2	Kista Science Tower	Stockholm	162 m	123,9 m	123,9 m	32	2003
3	Norra tornen Innovationen	Stockholm	124,5 m	121,7 m	121,7 m	38	2018
4	Victoria Tower	Stockholm	119 m	117,6 m	116 m	35	2011
5	Kista Torn	Stockholm	119,3 m	117,5 m	117,2 m	40	2016
6	The Point	Malmö	110 m	110 m	110 m	29	2019
7	Gothia East Tower	Göteborg	100 m	100 m	100 m	29	2015
8	Malmö Live	Malmö	88 m	87,4 m	87,4 m	25	2015
9	Skatteskrapan	Stockholm	84 m	84 m	84 m	28	1959
10	DN-skrapan	Stockholm	88,0 m	85,2 m	82,0 m	26	1964
11	Lilla Bommen	Göteborg	86 m	86 m	79 m	23	1989
12	Söder Torn	Stockholm	82,8 m	82,8 m	71,8 m	24	1997
13	Gothia Crown Tower	Göteborg	82 m	82 m	82 m	24	2013
14	Kronprinsen	Malmö	82 m	82 m	80 m	27	1964
15	Tyresö View	Stockholm	82 m	82 m	82 m	23	2014
16	Quality Hotel Friends	Stockholm	81,5 m	81,5 m	81,5 m	24	2013
17	Skrapan	Västerås	93 m	81,4 m	81,4 m	26	1990
18	Gamlestads torg	Göteborg	79,6 m	79,6 m	79,6 m	17	2018
19	Kvarteret Lusten	Stockholm	78 m	78 m	78 m	24	2012
19	Gothia West Tower	Göteborg	77 m	77 m	77 m	23	2001
20	Kajen 5	Stockholm	76,2 m	76,2 m	75,0 m	25	2016
21	Folksamhuset	Stockholm	79 m	76 m	76 m	24	1959
22	Kajen 4	Stockholm	75,0 m	75,0 m	73,3 m	25	2014
23	Ideon Gateway	Lund	76 m	74 m	74 m	19	2012
24	Wenner-Gren Center	Stockholm	73,7 m	73,7 m	73,7 m	25	1961
25	Trade Center	Halmstad	73,5 m	73,5 m	73,5 m	24	1988
26	Scandic Infra City	Upplands Väsby	70 m	70 m	70 m	24	1991
27	Nejlikan	Borås	70 m	70 m	70 m	21	2014

Rang	Byggnad	Ort	Höjd till tipp	Arkitektonisk höjd	Höjd till tak	Våningar	Färdigställd
28	Scandic Triangeln	Malmö	70 m	69 m	69 m	22	1989
29	Scandic Talk Hotel	Stockholm	72 m	68 m	68 m	19	2006
30	Arenastaden 5	Stockholm	67 m	67 m	67 m	21	2014
31	Arenastaden 4	Stockholm	67 m	67 m	67 m	21	2015
32	Arenastaden 3	Stockholm	67 m	67 m	67 m	21	2016
33	Brf Icon	Växjö	67 m	67 m	67 m	20	2018
34	Otterhall	Göteborg	66 m	66 m	66 m	17	1929
35	Höjdpunkten	Helsingborg	66 m	66 m	66 m	22	2014
36	Kaninen Triangeln	Malmö	67 m	65 m	65 m	18	2014
37	ÅF-huset	Göteborg	67 m	65 m	64 m	17	2014
38	Forum Nacka	Stockholm	74 m	64 m	58 m	20	1989
39	Munksjötornet	Jönköping	65 m	65 m	65 m	16	2016
40	Tornet	Linköping	64 m	64 m	64 m	19	2009
41	Gröna skrapan	Göteborg	65 m	64 m	64 m	17	2010
42	Landmärket	Karlstad	62 m	62 m	62 m	21	2013
43	Nya Karolinska Solna	Stockholm	62 m	62 m	62 m	12	2016
44	Hötorgshus 1	Stockholm	61 m	61 m	61 m	19	1965
45	Hötorgshus 2	Stockholm	61 m	61 m	61 m	19	1965
46	Hötorgshus 3	Stockholm	61 m	61 m	61 m	19	1965
47	Hötorgshus 4	Stockholm	61 m	61 m	61 m	19	1965
48	Hötorgshus 5	Stockholm	61 m	61 m	61 m	19	1965
49	Södra kungstornet	Stockholm	61 m	61 m	61 m	17	1925
50	Kungsholmsporten västra	Stockholm	60,8 m	60,8 m	60,8 m	21	2012
51	Nyponet	Stockholm	60,1 m	60,1 m	59,9 m	21	1958
52	Point Hyllie Hus C	Malmö	60 m	60 m	60 m	18	2014
53	Bonnierhuset	Stockholm	62 m	60 m	59 m	18	1949
54	Norra kungstornet	Stockholm	60 m	60 m	60 m	16	1924
55	Kungsholmsporten östra	Stockholm	58,3 m	58,3 m	58,3 m	20	2012
56	Malmö Living	Malmö	58 m	58 m	58 m	20	2019
56 (1)	Karlatornet	Göteborg	245 m	245 m	245 m	73	2022
57 (2)	Tellus Tower 1	Stockholm	237 m	237 m	237 m	78	Samråd
58 (3)	Tellus Tower 2	Stockholm	177 m	177 m	177 m	58	Samråd
59 (4)	Citygate	Göteborg	144 m	144 m	144 m	36	2022
60 (5)	Playce 1	Stockholm	142 m	142 m	142 m	44	Granskning
61 (6)	Marievik 7	Stockholm	115 m	115 m	115 m	38	Samråd
62 (7)	Kineum	Göteborg	110 m	110 m	110 m	27	2022
63 (8)	Norra tornen Helix	Stockholm	108,7 m	106,0 m	106,0 m	33	2021

Rang	Byggnad	Ort	Höjd till tipp	Arkitektonisk höjd	Höjd till tak	Våningar	Färdigställd
64 (9)	Marievik 6	Stockholm	105 m	105 m	105 m	34	Samråd
65 (10)	Sthlm 01	Stockholm	102,5 m	102,5 m	102,1 m	27	2020
66 (11)	Marievik 3	Stockholm	102 m	102 m	102 m	33	Samråd
67 (12)	Hotell Draken	Göteborg	100 m	100 m	100 m	33	2023
68 (13)	Gårda Vesta	Göteborg	94 m	94 m	94 m	25	2021
69 (14)	Kv Myvatten	Stockholm	93,5 m	93,5 m	93,5 m	29	Granskning
70 (15)	Kajen 6	Stockholm	87,6 m	87,6 m	84,4 m	27	2021
71 (16)	Marievik 2	Stockholm	86,5 m	86,5 m	81 m	26	Samråd
72 (17)	Gasklockan	Stockholm	86,6 m	83,8 m	81,6 m	27	Laga kraft
73 (18)	Torrdockan	Malmö	85 m	85 m	85 m	25	Laga kraft
74 (19)	Playce 2	Stockholm	82 m	82 m	82 m	24	Granskning
75 (20)	Geysir Residential Tower	Stockholm	78,1 m	78,1 m	78,1 m	24	Granskning
76 (21)	Kajen 7	Stockholm	76,3 m	76,3 m	74,8 m	25	Laga kraft
77 (22)	Gamelstads Torg	Göteborg	74 m	74 m	74 m	17	2020
78 (23)	Marievik 1	Stockholm	71,5 m	71,5 m	71,5 m	22	Samråd

BILAGA B – ENKÄT

SURVEY QUESTIONS

Respondent name:

Nation:

Applicable code/standard:

1. Is there a set building height or number of storeys at which point the prescriptive design rules no longer apply or do the prescriptive rules encompass all buildings regardless of height?
2. What are **typical cut-off levels** at which there is a step-change in the fire safety requirements? (E.g. 8 or 16 storeys, 25 m, 50 m, 100 m etc.)
3. Which **evacuation strategy** is the prescriptive code in your jurisdiction based on for fire safety in tall buildings: stay-in-place, partial or complete evacuation?
4. Does the prescriptive code assume simultaneous evacuation, phased evacuation or progressive evacuation (phased evacuation but to a safe area/refuge floor)?
5. What is the **minimum number of fire stairs** required for buildings of different levels e.g. 8 storeys, 16 storeys and >16 storeys? At which height or number of storeys is more than one stair required?
6. Is it required that evacuating occupants can **re-enter** the fire compartment they've exited, or enter into another fire compartment on a different level, once they've entered into the fire stair? If so, is the re-entry requirement applicable on all levels or only at certain intervals, e.g. every other storey?
7. Are the fire stairs required to have **fire lobbies, smoke lobbies or similar enhanced fire compartmentation**? If so, from what height or number of storeys is this required?
8. What is the required level of **structural fire resistance** for an office, hotel or residential building of e.g. 8 storeys, 16 storeys and >16 storeys? At which heights or number of storeys are there step-changes in the required level of structural fire resistance?
9. Are there requirements on the **type of material** used in structural elements, fire compartmenting walls or slabs or in the façade/exterior walls (e.g. only non-combustible)? And, are the requirements different subject to building height/n.o. storeys?
10. Are dedicated **refuge floors** or similar constructions incorporating enhanced vertical fire separation required, and if so at which intervals?
11. Are **automatic fire sprinkler systems** required under the prescriptive design, and if so, at which height/no. storeys?
12. Are **fire alarm** and/or occupant warning systems/evacuation alarms required in and if so at which height do they become mandatory?
13. At what height are **standpipes/internal fire hydrants** required and when are they required to have a dedicated system for pressurization? (i.e. when no longer sufficient to pressurize the hydrants using the fire service appliance/fire trucks)

14. Are **firefighting equipment** e.g. internal fire hose reels required, and if so, at which height do they become mandatory?
15. At which height/no. storeys are **rescue lifts/firefighting elevators** required and how many?
Are the lifts required to have adjoining fire separated lobbies?
16. Are **evacuation lifts/elevators** ever required under prescriptive design? If so, when and how many?
17. Are **automatic door closers** required for fire doors to residential or hotel units, and if so, at which height or number of storeys is this required?
18. Are **stair pressurization systems** or other smoke control systems required in fire stairs, escape paths or other parts of buildings above a certain height?
19. Which additional provisions relating to the **fire services** are mandatory in tall buildings and under which circumstances are they required? E.g. WIP-phones, radio rebroadcasting systems for emergency services, fire control rooms/command centres etc.
20. Are there **departures** from the prescriptive code requirements that are commonplace in your jurisdiction [and are instead addressed using performance-based design]? E.g. omitting sprinklers, reducing the no. of fire stairs by improving other fire safety aspects etc.

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 50 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7

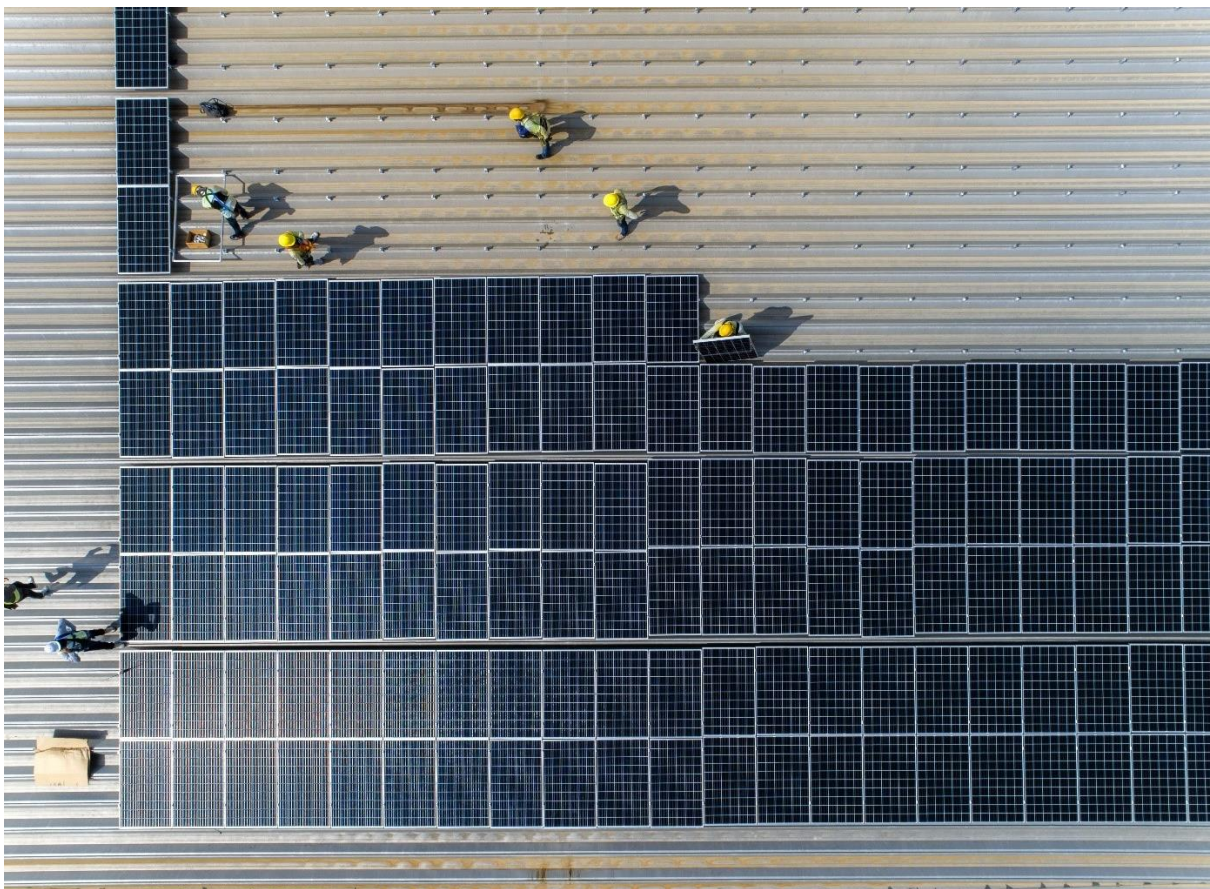
T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com



RISKER KOPPLADE TILL NY TEKNIK I BYGGNADER

KUNSKAPSUNDERLAG

2021-10-29



RISKER KOPPLADE TILL NY TEKNIK I BYGGNADER

Kunskapsunderlag

KUND

Boverket

KONSULT

WSP Brand & Risk

Ågatan 7

58222 Linköping

Besök: Ågatan 7

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

DANIEL RÅDEMAR

010-722 5932

daniel.rademar@wsp.com

UPPDRAGSNAMN

Brandrisker med nya tekniker

UPPDRAGSNUMMER

10325031

FÖRFATTARE

Daniel Rådemar

Sebastian Levin

Mattias Genberg

DATUM

2021-10-29

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av

Daniel Rosberg

SAMMANFATTNING

Boverket arbetar för närvarande med en bred översyn av byggreglerna inom projektet "Möjligheternas byggregler" där ambitionen bland annat är att reglerna ska renodlas, bli tydligare och enklare, samt att reglerna inte ska innehålla allmänna råd eller hänvisningar till standarder. I samband med denna översyn utreds också behovet av förändrad reglering på områden där det skett en stor samhällsutveckling.

WSP har därför på uppdrag av Boverket tagit fram detta kunskapsunderlag avseende riskerna med "ny teknik". I denna studie definieras "ny teknik" som och begränsas till användning av alternativa bränslen i fordon, installation av solpaneler och energilagringssystem i byggnader. Studien har genom litteraturstudie, omvärldsbevakning och analys renderat i en serie områden där svensk bygglagstiftning skulle behöva breddas och nyanseras. Litteraturgranskningen och omvärldsbevakningen har utgjorts av en genomgripande studie av fackstudier och artiklar, rekommendationer från myndigheter och organisationer, internationella normer samt en enkätstudie. Eventuellt kommande breddning och nyansering av lagstiftningen skulle skapa bättre förutsättningar för projektering av aktuella anläggningar och därigenom en jämnare skyddsnivå över landet. Resultatet skulle bli säkrare byggnader.

Utredningen har bland annat konstaterat att energilager medför en ökad konsekvens i händelse av brand och kan medföra både ökad risk för brandspridning inom byggnaden samt en större risk för utrymmande personer och räddningstjänst. Ett förslag som mynnat av denna studien är att energilager bör ges en avskild placering inom byggnaden, samt bör avskiljas brandtekniskt då energilagrets storlek överstiger ett föreslaget gränsvärde om 20 kWh. Angående solceller föreslås att byggnadsintegrerade solceller bör förläggas med brandteknisk avskiljning till övrig byggnadskonstruktion och att byggnadsapplicerade solcellanläggningar förläggs på obrännbar taktäckning.

Studier visar att det inte finns något samband mellan laddning av elfordon och uppkomst av brand, givet att laddning sker på ett korrekt sätt och utrustningen är hel. Laddningspunkter behöver därför förses med påkörningsskydd och det behöver även finnas tillräckligt med godkända uttag för att undvika att förlängningssladdar eller icke godkända uttag används.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	7
1.1	PROBLEMSTÄLLNING	7
1.2	MÅL	7
1.3	OMFATTNING	7
1.4	FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR	8
2	METOD	9
3	ORIENTERING	10
3.1	HISTORIK OCH DAGENS LAGSTIFTNING	10
3.2	BRANDHÄNDELSER I SVERIGE	11
3.3	BRANDHÄNDELSER I UTLANDET	12
3.3.1	Brandhändelse i Tesla Megapack, Moorabool, Australien. juli-augusti 2021	12
3.3.2	Brandhändelse i Jimei Dahongmen, Beijing, Kina. april 2020	12
3.3.3	APS' McMicken Energy Storage facility, Arizona, USA. april 2019	13
3.3.4	Märkisch-Oderland, Tyskland. juli 2021	13
3.3.5	Walmart butiker, USA mellan 2012-2018	13
3.3.6	Lagerbrand, Maryland USA. juni 2021	13
3.3.7	Brand i verkstadslokal, Norderney Tyskland. augusti 2013	14
4	RISKER MED NY TEKNIK	15
4.1	ELPRODUKTION I BYGGNADER	15
4.1.1	Förhöjd risk för brand	15
4.1.2	Brandspridning inom byggnad	16
4.1.3	Räddningstjänstens insats	18
4.2	ENERGILAGRING I BYGGNADER	18
4.2.1	Risk för explosion	18
4.2.2	Oförutsägbart och intensivt brandförlopp	19
4.2.3	Utsläpp av toxiska gaser	20
4.3	FORDON MED ALTERNATIVA BRÄNSLEN	21
4.3.1	Brandspridning inom byggnad	21
4.3.2	Förhöjd risk för brand	21
4.3.3	Räddningstjänstens insats	22
5	INTERNATIONELL JÄMFÖRELSE	23
5.1	ELPRODUKTION I BYGGNADER	23
5.2	ENERGILAGRING I BYGGNADER	25
5.3	FORDON MED ALTERNATIVA BRÄNSLEN	26
6	ANALYS	27
6.1	MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND	27
6.2	SKYDD MOT UPPKOMST AV BRAND	27

6.3	BRANDSPRIDNING MELLAN BYGGNADER	28
6.4	BRANDSPRIDNING INOM BYGGNAD	28
6.5	BÄRFÖRMÅGA VID BRAND	33
6.6	BRANDTEKNISKA INSTALLATIONER	34
6.7	RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATS	36
7	MÖJLIGHET TILL JUSTERAD KRAVNIVÅ	39
7.1	MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND	39
7.2	SKYDD MOT UPPKOMST AV BRAND	40
7.3	BRANDSPRIDNING INOM BYGGNAD	40
7.4	BRANDTEKNISKA INSTALLATIONER	41
7.5	BÄRFÖRMÅGA VID BRAND	41
7.6	RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATS	41
8	SLUTSATS	43
9	REFERENSER	44
10	BILAGOR	47

TERMINOLOGI

BIPV - Byggnadsintegrerade solceller	Solcellsanläggning som även uppfyller minst en konstruktionsfunktion, t.ex. regnskydd, termiskt skydd, solskydd, elektromagnetisk skärmning, eller bärförmåga.
BAPV - Byggnadsapplicerade solceller	Applieras på byggnad och genererar endast energi.
Likspänning (DC)	Elektrisk ström som alltid har samma riktning
Växelspänning (AC)	Elektrisk ström vars riktning växlar
Växelriktare	Anordning vilken omformar likström till växelström
Ljusbåge	Kontinuerlig kraftig elektrisk urladdning genom luft, där den elektriska spänningen joniserat luften
Primärbatteri	Ett icke uppladdningsbart batteri, exempelvis alkaliska batterier eller knappcells batterier. Ett litiumbatteri är ett primärbatteri där litiummetall används som anodmaterial
Sekundärbatteri	Ett uppladdningsbart batteri. Exempelvis ett litiumjonbatteri bestående av katod med metalloxid (metaller kan variera), anod samt elektrolyt. Vid laddning/urladdning vandrar litiumjoner mellan katod och anod
Battericell	En enskild battericell innehållande anod, katod och elektrolyt utformas och inkapslas på olika sätt beroende på användningsområde. Vanliga utformningar av litiumjonbatterier är; cylindrisk-, prismatisk- och "pouch"-cell. Litiumjonbatterier utförs oftast med en kapacitet om 4 V.
Batterimodul	Flera battericeller serie- och/eller parallellkopplas ihop till en batterimodul. Kapaciteten varierar men kan för ett litiumjonbatterier vanligtvis vara < 60 V. (1)
Batteripaket	Fler batterimoduler kopplas ihop till ett batteripaket tillsammans med säkerhetskomponenter för användning i exempelvis fordon. Kapacitet för ett batteripaket varierar beroende på användningsområde men kan förväntas ligga i spannet 300 V – 1000 V. (1)
BMS	Battery Management System. Övervakningssystem för batterier som kan reglera och förebygga exempelvis överladdning och förhöjd temperatur

1 INLEDNING

Antalet installationer av ny teknik kopplat till elproduktion, -lagring och -distribution i byggnader ökar snabbt i takt med allmänhetens stigande intresse och stöd från svenska myndigheter. Många fastighetsägare men även näringsidkare ser en möjlighet att reducera sina energikostnader samtidigt som de bidrar till en klimatnyttig industri. Allt eftersom antalet av installationerna blir fler, ökar dock även tillbud och bränder. En av de första aktörerna att uppmärksamma detta har varit räddningstjänsterna som öppet kommunicerat oron över sin arbetsmiljö och riskerna med den nya tekniken kopplat till möjlighet till räddningsinsats. Även av allmänheten och media uppmärksammade händelser och olyckor bidrar till den allmänna diskussionen.

Många gånger springer den stora uppmärksamheten från ett i allmänhet lågt kunskapsläge bland aktörerna. Inte heller kravbilden inom området är vare sig entydig eller heltäckande. Den oklara kravbilden och det otillräckliga kunskapsunderlaget kan medföra att byggnaders säkerhetsnivå är svår att bedöma eller verifiera med avseende på nya installationer. Följden av att det inte finns någon klar styrning eller reglering kan därmed innebära att risker värderas felaktigt.

WSP har av Boverket fått i uppdrag att granska och analysera risker och behov av reglering i linje med ovan, och kan ses som en delåtgärd för att motverka ovan utveckling och i slutändan ge bättre förutsättningar för ändamålsenlig lagstiftning och reglering inom området.

1.1 PROBLEMSTÄLLNING

Uppdraget grundas i följande frågeställningar:

- Vilka risker finns kopplade till introduktionen av ny teknik i byggnader och vad innebär risken
- Vilket behov finns av att anpassa byggreglerna i relation till dessa risker
- På vilket sätt kan byggreglerna anpassas för att hantera riskerna
- Hur hanteras/bedöms riskerna i andra länder

1.2 MÅL

Målet med denna utredning är att analysera risker kopplade till ny teknik, för att ge ett kompletterande kunskapsunderlag till Boverkets arbete med översyn av byggreglerna. Utredningen skall även bidra med förslag för om/hur ny teknik kan eller behöver regleras och hur verifierbara funktionskrav kan formuleras på ett sätt som är teknikneutralt och kan förväntas vara tillämpbara över en lång tid.

1.3 OMFATTNING

Uppdraget omfattar i huvudsak tre områden med avseende på ny teknik i byggnader. Respektive område samt ett antal förslag på relevanta frågeställningar för respektive område presenteras nedan. Redovisade förslag är exempel och baseras på bland annat tidigare erfarenhet från frågeställningar som varit aktuella vid projektering eller rådgivning i WSPs verksamhet.

- **Elproduktion i byggnader**
 - Behöver man skilja på utvändigt placerade eller integrerade solceller?
 - Behöver det ställas krav på nödbrytare och liknande för räddningstjänstens säkerhet?
 - Placering i förhållande till brandväggar och insats på tak?
 - Märkning, placering av likströmskabel och likriktare m.m.
- **Energilagring i byggnader**
 - Vad är en lämplig placering inom/utanför byggnaden samt vad är en lämplig placering i förhållande till insats och utrymning?
 - Föreligger ett behov för placering inom egen brandcell vid viss storlek/effekt?

- Bör utrymmet märkas eller och skyltas och i vilket omfattning?
- **Bilar med alternativa bränslen i garage**
 - Behöver placering i byggnaden regleras?
 - Bör brandgasventilation krävas?
 - Innebär de alternativa bränslena en eventuell ökad brandbelastning som påverkar krav på bärförmåga och avskiljande förmåga?

En sammanställning och utvärdering av respektive område utförs med hänsyn till de frågeställningar som presenterats. Identifierade risker inom respektive område analyseras med avseende på vilka konsekvenser dessa kan få för byggnadens säkerhetsnivå om de inte hanteras.

1.4 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR

Utvecklingen inom teknikområdena i rapporten går mycket fort, slutsatser som dras av historiska skeenden blir därför relativt fort föråldrade vilket författarna försökt att hantera genom att ej övertolka enskild litteratur eller händelser. Läsaren bör dock beakta denna dynamik, framförallt allt eftersom tiden och utvecklingen går framåt.

Elproduktion i byggnader kan tekniskt sett bestå av en mängd olika tekniker, föreliggande rapport fokuserar dock på solcellsanläggningar. Detta har sin grund i att solcellsanläggningar helt dominerar marknaden avseende elproduktion i byggnader samtidigt som de medför risker som på många vis är bristande reglerat i förhållande till andra tekniker. Inriktningen bedöms därför välgrundad.

Energilagring kan ske via olika medium och metoder, exempelvis via fasta bränslen, lagrad lägesenergi, rörelseenergi och kemisk eller elektrisk energi. För denna studiens syfte begränsas termen "energilagring" till elektrokemiskt lagrad energi i batterier. Olika typer av batterier kan användas för att lagra energi, men den i dagsläget vanligast förekommande typen samt med den störst växande marknaden är litiumjon-batterier, vilket har utgjort studiens huvudsakliga fokus. Traditionella bly-syra batterier, nickel-kadmiumbatterier och nickel-metallhydridbatterier kan användas i stationära energilagring och regleras redan i Sverige via IEC 62485-2 vilket behandlar exempelvis behovet av ventilation och placering inom ett avskilt utrymme. Även AFS 1988:4 reglerar laddning och underhåll av bly-syra batterier.

Lagring som syftar till förvaring av batterier, dvs icke driftsatta anläggningar behandlas inte specifikt i denna handling men råd och rekommendationer gällande exempelvis hantering, skyddsavstånd och avskiljning bör till stora delar även kunna tillämpas för detta syftet. Hantering och transport av skadade batterier omfattas ej av denna handlingen då detta redan regleras av MSBs föreskrift om transport av farligt gods, ADR-S.

Med alternativa bränslen åsyftas fordon som är gas- eller eldrivna. Litteraturstudien har främst inriktats mot eldrivna bilar då den mesta informationen som funnits tillgänglig har berört eldrivna bilar. Med eldrivna bilar avses laddhybrider, med bensin och litiumjonbatteri samt bilar som enbart drivs av litiumjonbatterier. Sannolikt beror detta på att utvecklingen av eldrivna fordon går väldigt fort framåt och säljs in som "det fossilfria alternativet" till bensin- eller dieseldrivna bilar, vilket medfört att gasdrivna bilar hamnat i skymundan.

2 METOD

Arbetsmetodiken utgår från en litteraturstudie av publicerad forskning för respektive ämnesområde samt rekommendationer och diskussioner från branschorganisationer. En enkätstudie har utförts i syfte att identifiera och jämföra hur riskerna med ny teknik bedöms, värderas och hanteras internationellt. Svarsfrekvensen av enkätstudien var dessvärre inte tillräckligt hög för att kunna presenteras på ett användbart sätt. De svar och rekommendationer som erhållits från enkätstudien har beaktats vid författandet av handlingen men redovisas inte explicit. Enkäten som tagits fram biläggs denna handling.

Litteraturstudie av olycksutredningar, statistiskt underlag och vetenskapliga artiklar har inhämtats via branschorganisationer och myndigheter t.ex. MSB, SFPE och NFPA, men även från exempelvis försäkringsbolag. Problemformuleringar och frågeställningar kopplade till ämnet baseras även till viss del på erfarenheter från projekt där WSP varit inblandade i en projekterande eller utredande roll.

En samlad bedömning av identifierade risker presenteras, samt hur dessa kan/bör regleras i byggreglerna.

Under arbetets gång har löpande avstämningar skett med boverket för diskussion om framdrift och eventuella avgränsningar.

3 ORIENTERING

3.1 HISTORIK OCH DAGENS LAGSTIFTNING

Projektering och råd vid installation av energilager i Sverige utgår i dagsläget den enskilde projektörens erfarenhet och bedömningar, exempelvis via en tolkning av PBF och de punkter som skall beaktas gällande egenskapskrav avseende säkerhet i händelse av brand. Till viss grad har även de allmänna råden ur BBR 5:427 och 5:216 kunnat användas som riktlinjer då man jämfört energilagret med ett avskilt pannrum eller verksamhetsklass 6.

BBR 5:427 *Avskilt pannrum* anger att en panna vars sammanlagda märkeffekt överstiger 60 kW bör installeras i avskilt pannrum. Pannrum skall enligt BBR 5:249 utföras som egen brandcell, golv och takyttskikt utförs i lägst klass B-s1,d0 samt golvyttskikt i klass A1_{fl}. Pannrum får endast stå i förbindelse med utrymningsvägar inom Vk3 och Vk1 via luftsluss.

Liknelsen med ett pannrum där energikällans sammanlagda effekt utgör kriteriet för att motivera en brandcellsindelning bedöms kunna vara tillämplig även för energilager. Skillnaden mellan ett traditionellt pannrum eller andra uppvärmningsanordningar är dock att ett energilager med batterier inte förlitar sig på någon form av förbränning, alstrar värme i någon betydande utsträckning eller producerar sot/avgaser vid normal drift. En stor mängd energi lagras dock i batterierna precis som för ett pannrum och bränslelager och med avseende på potentiell brandenergi är liknelsen användbar.

BBR 5:216 behandlar verksamhetsklass 6 (Vk 6), vilket omfattar *”lokaler med förhöjd sannolikhet för uppkomst av brand eller där en brand kan få ett mycket snabbt och omfattande förlopp”*. De tillhörande allmänna råden ger exempel på verksamheter som bör klassas som Vk 6 och exempel ges som lokaler där lättantändligt material tillverkas eller bearbetas i mer än ringa omfattning, vilket dock nödvändigtvis inte är en relevant liknelse med energilager.

Behovet av, eller metod för, att reglera energilager på ett likande sätt som andra särskilda utrymmen som kan medföra stor sannolikhet för uppkomst av brand eller få stora konsekvenser för utrymningssäkerheten är inte helt självklar. Ett storkök eller en lokal för heta arbeten är per definition ett utrymme där det aktivt pågår verksamhet som innebär en risk för uppkomst av brand. Den överhängande brandrisken som förknippas med ett energilager med litiumjonbatterier är då ett fel föranleder termisk rusning i batterierna, vilket kan leda till ett snabbt och omfattande brandförlopp som riskerar spridas vidare in i byggnaden.

Angående solcellsanläggningar så är det inte specificerat i detalj i BBR, men kan tolkas in i nedan avsnitt.

I BBR 5:62 finns krav på hur taktäckning skall utformas för att försvåra antändning, begränsa brandspridning samt endast ge ett begränsat bidrag till branden. En solcellsmodul som inte är en integrerad del av yttertakets är inte att betrakta som taktäckning, då den vanligaste definitionen är att taktäckningen är beklädnad på tak som utgör skydd mot yttre klimat. Därmed är BBR 5:62 inte direkt tillämpliga för paneler monterade på taket. Att det inte finns några detaljregler innebär däremot inte att det inte finns något krav, utan de övergripande kraven på brandskydd i lagstiftningen, tydligast i sammanhanget angivet i PBF 3 kap. 8 §, ska ändå uppfyllas.

Enligt Boverkets kunskapsbank bör man jämföra med en situation som då är mest lik, vilket innebär att solcellsmoduler bör uppfylla krav motsvarande krav i BBR 5:62. BBR 5:62 anger att taktäckning minst utformas med material av klass A2-s1,d0 alternativt med material av lägst klass B_{ROOF} (t2) på underliggande material av klass A2-s1,d0. Brännbar taktäckning, i lägst klass B_{ROOF} (t2), kan användas på brännbart underlag på byggnader som är belägna minst 8 meter från varandra. Se vidare i kap 4.1.2 för solpanelers beteende vid brand.

På liknande sett anges i BBR 5:551 att fasadbeklädnader får vid brand endast utveckla värme och rök i begränsad omfattning. Vilket kopplat till fasadmonterade solcellsanläggningar främst blir ett problem i Br1 byggnader, vilket också beskrivs vidare i kap 4.1 i föreliggande rapport.

Utanför BBR finns råd och rekommendationer från landets räddningstjänster där många av dessa har riktade råd mot just solcellsanläggningar. Omfattningen på råden och samstämmigheten varierar dock kraftigt (2).

År 2019 kom även svensk elstandard ut med en handbok inom området, SEK 457 *Solceller - Råd och regler för elinstallationen* (3), vilken har ett kortare avsnitt om "Önskemål från räddningstjänsten", men framförallt generella riktlinjer för säker installation.

År 2021 gav Boverket ut föreskrifter och allmänna råd om utrustning för laddning av elfordon. I denna framgår krav på laddningspunkter. En kort sammanfattning av dessa regler ges nedan:

- Uttag för laddningspunkter med växelström ska utrustas med anslutningsdon av typ 2
- Uttag för laddningspunkter med likström ska utrustas med anslutningsdon av typ Combo 2
- Laddningspunkter ska placeras så att de är lättåtkomliga och placeras på en höjd om max 1,2 meter över parkeringsplatsens yta.
- Ledningsinfrastrukturen ska vara dimensionerad för att möjliggöra installation av laddningspunkter för samtliga parkeringsplatser som omfattas av krav på ledningsinfrastruktur
- Kravet på ledningsinfrastruktur ska vara uppfyllt från elcentral till parkeringsplatserna.

Vidare har Storstockholms brandförsvaret tagit fram ett vägledande dokument under 2019 där de pekar på vilka risker som de anser är viktiga att beakta och ger förslag på hur dessa kan behandlas. Bland annat lyfts det fram att det behöver finnas en god tillgång till vatten, att rätt utrustning används vid laddning, att garage utförs som öppna garage, att laddningspunkterna placeras nära insatsvägar och att brunnar är kopplade till slamavskiljare för att kunna ta hand om stora mängder släckvatten (4).

3.2 BRANDHÄNDELSER I SVERIGE

Mellan 2018-2020 har 34 bränder och brandtillbud i el-personbilar anmälts i Sverige (5). Det är dock endast en mindre andel där batteriet bidragit i brandförloppet och den största påverkan som batteriet haft är att räddningsledaren har fått göra en riskbedömning i och med att det finns ett batteri (5). Detta kan jämföras med den totala mängden bränder i personbilar mellan 2018-2020 som uppgick till 3316 stycken (6). De 34 bränderna kan i sammanhanget verka litet men det ska också nämnas att andelen elbilar fortfarande är liten jämfört med andelen bensin- eller dieseldrivna bilar. Exempelvis fanns det år 2020 4 944 067 registrerade bilar i Sverige varav 308 485 är el-/hybridbilar (5). Flottan med el- och hybridbilar är också relativt ny jämfört med bensin- och dieseldrivna bilar.

Vidare har det under 2016 och 2017 varit flertalet fordon med olika typer av gas som drivmedel som exploderat eller brunnit. Bland annat började en gasbuss brinna i Göteborg sommaren 2016 där en av gastankarna exploderade och skadade två brandmän (7). En annan händelse uppkom i vintern 2016 där en personbil började brinna men där ägaren inledningsvis släcker branden, han blir ombedd av försäkringsbolaget att köra bilen till en verkstad och vid start av motorn så börjar bilen brinna kraftigt (7). Enligt uppgift ska gastankarna (CNG) varit tomma men efter att räddningstjänsten påbörjat insatsen exploderar bilen (7). Vidare finns ett uppmärksammat fall under våren 2021 i Göteborg där en gasdriven personbil exploderade i ett garage (8).

Gällande solcellsanläggningar har många myndigheter, försäkringsbolag och branschorganisationer som registrerar incidenter inte möjlighet att sortera ut inträffade händelser med grundorsak i solcellsanläggning, dessutom är det statistiska underlaget splittrat. RISE sammanställde dock en rapport (9) i slutet av 2019 där man via MSB identifierade 4 inträffade bränder i Sverige samt en mängd incidenter vilka lett till mindre bränder. Rapporten *Innovativa elsystem i byggnader* (10) refererar till ytterligare en inträffad brand i en villa utanför Borås, 2018.

3.3 BRANDHÄNDELSE I UTLANDET

Bakomliggande data beträffande frekvensen på bränder i solcellsanläggningar är i många fall knapphändig och problematisk att sammanställa, vilket innebär att risk för brand i dessa anläggningar är svårt att kvantifiera. Exempel på sammanställningar finns dock, t. ex. från Storbritannien där det mellan 2010-2016 inträffade 58 olika brandhändelser med solpaneler inblandade. I USA har butikskedjan Walmart över 240 solcellsanläggningar där det har inträffat totalt 7 bränder, senast 2019. Annan statistik från Tyskland tyder på lägre risk där brandfrekvensen uppgick till under 210 händelser på 1,3 miljoner anläggningar.

Nedan följer ett urval av studerade större brandhändelser i utlandet. Händelserna har till viss grad valts ut då en skaderapport har kunnat påvisa brister i utförandet eller där åtgärdsförslag har redovisats.

3.3.1 Brandhändelse i Tesla Megapack, Moorabool, Australien. juli-augusti 2021

Stora litiumjonbatterier om ca 13 ton, avsedda för energilagring förvaras i containrar. Branden startade i ett batteripaket och spreds till ett närliggande batteri. Orsaken till brandens uppkomst är för närvarande okänd. Insatsen omfattade över 30 brandbilar och 150 brandmän och pågick i 3 dagar, där den inledande metodiken innebar kylning och kontroll av närliggande batterier. Efter brandspridningen kunnat kontrolleras fortsatte övervakningen av batterierna i flera dagar för att förebygga risken för återantändning och mäta gasernas påverkan på omgivningen. Kommentarer från räddningspersonal belyser vikten av att utrymmet runt batterilagren behöver vara tillräckligt stort för att kunna utföra en säker insats. Stora mängder vatten kan behövas och tillgången till brandposter behöver säkerställas. En möjlig förbättrande åtgärd föreslås vara att installera rör på containrar, där räddningspersonal kan fästa vattenslangar för att dränka utrymmet på ett säkrare sätt. (11) (12)

3.3.2 Brandhändelse i Jimei Dahongmen, Beijing, Kina. april 2020

Ett omfattande batterilager kopplat till en solcellsanläggning om ca 1,4 MWh. Batterilagrets sammanlagda effekt var om ca 25 MWh fördelat över olika behov i byggnaden - laddning av elfordon via privata och publika snabbbladdstationer samt elförsörjning för byggnaden. Anläggningen driftsattes 2019 och var den största kommersiella anläggningen i Beijing. Brand utbröt i batterilagret och 47 brandbilar samt 235 brandmän involverades i insatsen. I samband med släckarbete uppstod en explosion i byggnaden för batterilager vilket ledde till att 2 brandmän omkom och 1 brandman samt en anställd skadades.

Skaderapporten (13) anger att orsaken till brandens uppkomst hittills är okänd men kan förväntas bero på batterier av dålig kvalitet eller överladdning av batterierna. En nationell standard för säkerhetstester av batterier (GB/T36276) blev gällande i Kina 2019 och det är okänt om berörda batterier uppfyllde dessa kraven. Rapporten anger även att kablar till systemet var förlagda väldigt nära det rekommenderade skyddsavståndet från batterierna och det är oklart om dessa var brandskyddade på något sätt eller om de bidrog till brandens utveckling. Risken för en explosion i stängda utrymmen förväntas kunna föreligga om gasblandningen når en tillräckligt hög koncentration i samband med förekomsten av öppen flamma. Explosionen som uppstod i batterilagret skedde i lagrets norra sida, medan den aktiva branden var i byggnadens södra sida. Explosionen kan förväntas vara orsakad av batterierna i byggnadens norra sida ventilerade ut brännbara gaser till följd av en förhöjd temperatur i utrymmet, vilket medförde en hög koncentration av gaser som antände och ledde till explosion. Även vattenpåföring vid insatsen i byggnadens södra sida kan ha orsakat en kortslutning i byggnadens norra sida vilket orsakade gnistbildning.

Lärdomar och råd för fortsatt arbete anges i skaderapporten som

- Klargör ansvarsområden och ta fram en beredskapsplan för att hantera incidenter. Ta till brandförebyggande åtgärder för att skydda personal och utrustning
- Arbeta fram ett kvalitetssäkringssystem för konstruktion, drift och underhåll av batterilager. Säkerställ att standarder och rekommendationer följs och tillse att nätanslutningar sker på ett säkert sätt.
- Mer forskning krävs för hur en brand utvecklas i ett batterilager och hur förebyggande åtgärder kan se ut. Utveckla metoder och system för att utvärdera risker, förbättra anpassningar till olika klimatförutsättningar där lagret placeras.
- Studera livscykeln av batterier och hur system kan förbättras för exempelvis online-integrering, diagnostik, metoder för tidig varning, branddämpande/hämmande metoder, värmeisolering och brandtekniska installationer.

3.3.3 APS' McMicken Energy Storage facility, Arizona, USA. april 2019

Explosion i batterilager, fyra brandmän skadade. Inget ventilationssystem var installerat i anläggningen, vilket bedöms kunna ha föranlett en större gasansamling som orsakade explosionen. Batterierna uppges inte som explosionskällan utan snarare själva utrymmet där gaserna samlades. Orsaken till brandens uppkomst är inte fastställd, men bedöms ha uppstått i samband med termisk rusning i en enskild battericell. (14) Anläggningen togs i drift 2017, och omfattades därmed ej av NFPA 855, vilken ännu inte var publicerad.

3.3.4 Märkisch-Oderland, Tyskland. juli 2021

Solcellsanläggning ansluten till energilager där brand uppstod i container där batterierna förvarades. Brandorsak okänd. 100 brandmän arbetade med insatsen under många timmar innan containern kunde konstateras vara helt släckt. Ett omfattande arbete med kontroll av utsläppen utfördes samt undersökningar av hur närliggande mark kan ha kontaminerats från utsläppen. (15)

3.3.5 Walmart butiker, USA mellan 2012-2018

Efter sju inträffade bränder i solcellsanläggningar på butiker tillhörande butikskedjan Walmart, drar företaget leverantören av solcellsanläggningarna inför rätta i domstol (16).

3.3.6 Lagerbrand, Maryland USA. juni 2021

I juni 2021 utbröt en brand i en solcellsanläggning på en lagerbyggnad i Maryland, USA (17). Branden var omfattande och krävde en insats från 60 brandmän under 80 minuter, innan situation var under kontroll.

3.3.7 Brand i verkstadslokal, Norderney Tyskland. augusti 2013

En brand utbröt i en solcellsanläggning på en verkstadslokal i Norderney Tyskland. Branden spreds hastigt och verkstaden och den närliggande fordonsdepån totalförstördes med stora egendomsförluster till följd. (18)



Figur 1. Brand i verkstadslokal Norderney, Tyskland (18).

4 RISKER MED NY TEKNIK

I detta avsnitt behandlas de mest framträdande identifierade riskerna med aktuella tekniker, som grundas i den utförda litteraturstudien.

4.1 ELPRODUKTION I BYGGNADER

4.1.1 Förhöjd risk för brand

Den utökade risken för brand kopplat till solcellsanläggningar är inte oproblematisk att kvantifiera. Många myndigheter, försäkringsbolag och branschorganisationer som nämnts tidigare inte möjlighet att till fullo sortera ut inträffande händelser och statistiken är dessutom splittrad. I rapport från RISE (9) kvantifieras risken till 0,16 promille baserat på de fyra registrerade fallen från MSB och de totalt 25 486 solcellsanläggningar som fanns i Sverige vid tillfället enligt data från statistiska centralbyrån. De fyra brandhändelserna inträffade mellan 2014 till 2018. Det kan dock konstateras att många av de övriga incidentrapporteringarna i rapporten även de ledde till brand i en eller annan omfattning (åtminstone 5 incidenter). Författarna drar också slutsatsen att mörkertalet i rapportering är mycket stort varför kvantifierad risk ska betraktas som ett indikativt och möjligen lågt värde.

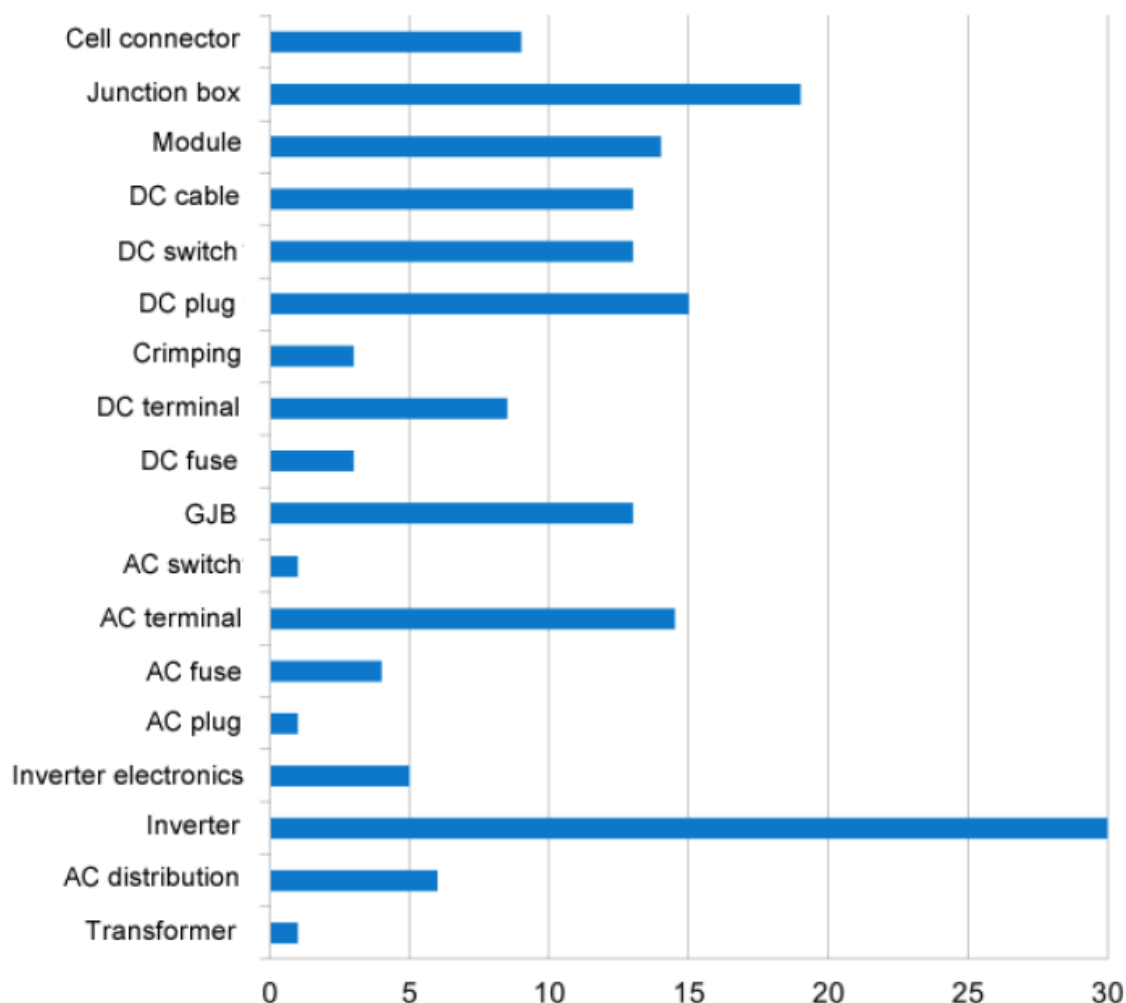
Vid en jämförelse med Storbritannien och Tyskland konstateras att exempelvis brandfrekvensen i Tyskland låg på 0,1 promille av det totala anläggningsantalet vid en större undersökning baserad på tillbud t.o.m. 2012 jämfört med 0,16 i Sverige för anläggningar fram till idag. En brittisk rapport anger 0,065 promille (BRE National Solar Centre). På det hela taget påminner den svenska statistiken om den i andra länder.

För att sätta risken för brand i solcellsanläggning i perspektiv skulle det vara givande att jämföra med andra typer av brandrisker i samhället. Till exempel skulle den kvantifierade risken kunna jämföras med risk för brand i exempelvis elutrymme, storkök eller panncentral som ofta föranleder olika typer av skydd vid brandteknisk projektering. Möjlighet till sådan jämförelse har dock inte funnits då jämförbar statistik inte kunnat hittas. Sammanställning av orsakerna till inträffade bränder i solcellsanläggningar finns bland annat i rapportering från Tyskland (18), där man anger att 39 % av inträffade bränder orsakas av installationsfel, 36 % av produktdefekter samt 18 % design-/konstruktionsfel. I artikel (19) från *IEEE Access* anges likande statistik där man anger att 36 % av bränder i solcellsanläggning orsakats av installationsfel, 15 % av bristande produktkvalitet samt 49 % av andra orsaker. Författaren drar slutsatsen att ljusbågar i likströmskomponenter är den vanligaste direkta orsaken till brand.

Orsaker till att ljusbågar är så förhållandevis vanliga anges bland annat vara ledningsförmågan i en del komponenter såsom kontaktdon, DC-brytare, säkringar och växelriktare sjunker med tiden, då oxidlager byggs upp i kontaktytorna pga. värmeutveckling. Andra orsaker kan vara skador på kablage på grund av väder och vind.

Bland annat på grund av att likström aldrig pendlar över 0-spänning likt växelspänning, upprätthålls ljusbågar i större utsträckning än i växelspänningssystem. När en ljusbåge väl uppstått krävs det inte mer än 0,1 sekunder, givet närvaron av bränsle och syre, innan brand kan uppstå. Detta då temperaturen kan uppgå till åtskilliga tusen °C.

I sammanställning ur (18) presenteras startföremål vid uppkomna bränder enligt nedan figur.



Figur 2. Antal fel per komponent ur (18). DC avser likströmskomponenter och AC växelströmskomponenter. Baserat på 210 inträffade bränder.

Statistiken visar på att framförallt växelriktaren är inblandad i flertalet uppkomna bränder, vilket inte är underligt med bakgrund av att detta är den komponent med flest enskilda beståndsdelar och felkällor. Ytterligare kan man se en svag förskjutning av brandorsaker till DC komponenter vilka ofta sitter i mer utsatt miljö och även, som många studier lägger stort fokus vid, är mer benägna att skapa och upprätthålla ljusbågar vilka kan leda till brand vid kontakt med brännbart material.

Enligt undersökning utförd av RISE på incidenter inträffade i Sverige anges även där att likströmskomponenter är speciellt benägna att utveckla fel över tid. Speciellt nämns kontaktdon på DC-sidan (9).

4.1.2 Brandspridning inom byggnad

De flesta solcellspaneler har ett bakstycke i någon form av polymermaterial som ska vara hållbart och beständigt över tid. Tillsammans med det laminatmaterial som används för att innesluta kiselplattorna och en del andra mindre plastdetaljer utgör de solpanelernas brännbara delar. Vid experimentella försök har värmeenergin från brand uppmätts till mellan 38-80 MJ/m² (10). Om en brand inträffar i en solcellsinstallation kan alltså det brännbara materialet i modulen ge upphov till värme och rök, men i begränsad omfattning.

Vid brand i takmonterade solcellsanläggningar (BAPV), finns det dock en betydande risk för brandspridning till takkonstruktion vid ogynnsamma förutsättningar. Samtliga vanligt förekommande

fabrikat av solcellsmoduler, vilka testades i (18), fattade eld vid applicering av pilotlåga och skulle sannolikt spridit brand vidare till omgivande solcellsmoduler. I ett annat test, redovisat i samma referens, studerades betydelsen av olika taktäckning. Det kunde där konstateras olika former av bitumen eller asfaltspapp brann ut totalt tillsammans med solcellsmodulen, trots att pappen var klassad i B_{roof} . Vid samma testkonfiguration med obrännbara taktäckningsalternativ begränsades skadan till solcellsmodul samt lokalt vid gaslågan utan vidare brandspridning.

Krav på obrännbar taktäckning är en återkommande rekommendation från många räddningstjänster (2) samt även en del internationella regelverk och även rekommendationer från försäkringsbolag.

Solcellernas förläggning är, på grund av återstrålning från panelerna mot taket, av stor betydelse för en brands utveckling i fråga om avstånd till taket och eventuell lutning. Försök har visat att en takbrand i brännbar i konstruktion propagerar med högre hastighet och till potentiellt större områden av konstruktionen vid ogynnsam distans och lutning relativt underliggande tak (18).



Figur 3 Uppställning av experiment för undersökning av brandbeteende. (18)

Byggnadsintegrerade solcellspaneler (BIPV) bör hanteras i ett separat spår. Mindre än 1% av solcellsbeståndet i Tyskland genererade 19 % av antalet skador på byggnader vid brand. Vid inträffad brand i denna typ av solcellspanel är startpositionen för branden, givet solcellspanelens konstruktion, inne i vägg- eller takkonstruktionen, varifrån den kan sprida sig vidare. Detta till skillnad från byggnadsapplikerade solcellspaneler där brandspridning först måste ske genom fasad eller taktäckning. Värt att notera är att den mindre marknadsandelen medför att det finns utrymme för teknikutveckling och säkerhetshöjande åtgärder från leverantörerna av dessa system allt eftersom tekniken blir vanligare.

En annan aspekt av byggnadsintegrerade solceller är klassning enligt SP-fire 105 och B_{roof} . I dagsläget är det få eller inga integrerade solcellsfasader som testas enligt SP-fire 105 och det är ej bevisat att dessa fasadsystem uppfyller BBR 5:551 vilket gör det problematiskt att uppföra högre byggnader med aktuella produkter (2). Trots bristen på verifierade lösningar uppförs ändå denna typ av byggnader/fasader och då med bristande verifikat och tveksamma lösningar. Gällande taktäckning finns i dagsläget krav på skydd mot flygbränder i BBR 5:61, byggnadsintegrerade solcellstak uppfyller ofta detta krav (B_{roof}), men kravet reglerar ej risken för uppkomst av brand i takkonstruktionen och spridning i densamma. Det finns därmed en lucka i kravställningen.

4.1.3 Räddningstjänstens insats

Många räddningstjänster runt om i Sverige uppfattade tidigt solcellsanläggningar som en arbetsmiljörisk vid insats, liksom andra starkströmsanläggningar, och inarbetade därför projektering av solcellsanläggningar i sina råd och anvisningar för byggnadsprojektering i kommunen. Även MSB har med samma bakgrund givit ut rekommendationer. Gemensamt för dessa råd är att de syftar till att i första hand skapa förutsättningar för ett effektivt och säkert släckarbete, inte att undvika brand- och rökspridning, att säkerställa bärigheten i konstruktionen vid brand eller möjliggöra säker utrymning.

Typiskt, men inte alltid, innehåller dessa råd rekommendationer om att,

- Säkerhetsbrytare för räddningstjänst ska finnas,
- Beskrivning av anläggningen och kontaktinfo ska finnas,
- Likströmskablage ska märkas ut, och
- Växelriktare bör placeras så nära solcellspanelerna som möjligt för att korta ner likströmskablage.

Omfattningen på råden och samstämmigheten varierar dock kraftigt (2).

Riskerna kan på övergripande nivå sammanfattas enligt nedan,

- Elchock - Elchock och brandskador vid direkt och indirekt kontakt med elkomponenter
- Halk- och fallrisk - Paneler är oftast lutande och har glatt yta
- Kollaps av konstruktioner - Taket kollapsar av extra last, eller moduler faller ner
- Skadliga brandgaser - Solcellsmodulkomponenter kan frigöra skadliga gaser

Ytterligare innebär solcellsanläggningar sämre tillgång till taket, vilket kan vara aktuellt vid tex håltagningar. Vanligt förekommande är förhållandevis stort fokus på maximal area solceller, vilket resulterat i att många räddningstjänster utfärdar skriftliga rekommendationer om att inte förse hela taksektioner med paneler så att exempelvis håltagning är fortsatt möjlig (20) (3).

4.2 ENERGILAGRING I BYGGNADER

Risken för uppkomst av brand i ett energilager är förknippat med många osäkerheter och brand kan potentiellt uppstå av en mängd orsaker. Den pågående forskningen och ständiga utvecklingen som tas fram via en växande marknad och ökat intresse för energilagring förväntas på sikt kunna medföra att batterierna kan konstrueras på ett mer säkert sätt där risken för brand förebyggs och minimeras. I dagsläget saknas dock mycket underlag och erfarenheter/resultat från fullskaleförsök.

Gemensamt för många inträffade brandhändelser där ett energilager med litiumjon-batterier varit inblandat är en felhändelse i en battericell som lett till termisk rusning och sedan orsakat en kedjereaktion med närliggande celler i batteriet. Olika typer av batterier kan medföra brandförlopp av skild karaktär beroende på batteriets konfiguration. Brand i litiumjon-batterier har visat sig kunna medföra olika brandbeteenden och skilja i intensitet beroende på vilken typ av material som används i exempelvis katoderna i batteriet (ex. järnoxid, nickeloxid, manganoxid) (21) (22). Studier pågår för att både effektivisera batterierna och att göra de säkrare (23) men även för att kunna producera mindre och lättare batterier med högre energiinnehåll. Risken för skadlig upphettning bedöms på sikt kunna förebyggas bättre genom att exempelvis andra material och kemikalier används i batteriets anod/katod och elektrolyter eller om isolerande material integreras i batterimodulerna (23).

4.2.1 Risk för explosion

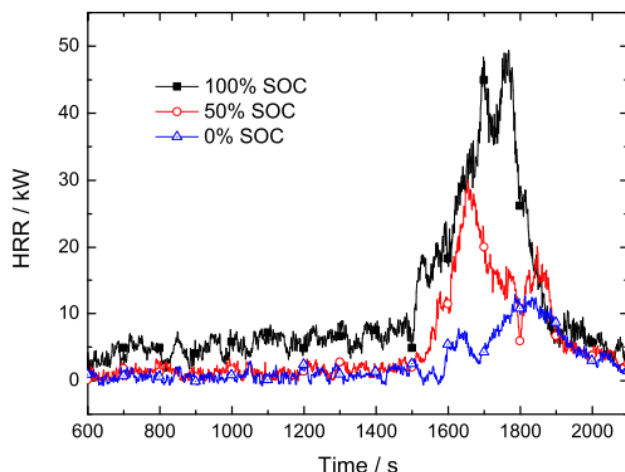
När batterierna ventilerar ut gas i samband med t.ex. termisk rusning eller upphettning kan gasblandningen ge upphov till explosiv atmosfär. Enskilda battericeller förväntas inte medföra en omedelbar risk för explosion (till viss grad beroende av utrymmets volym och mängden tillgängligt

syre) (24) men flera batterimoduler som ventilerar samtidigt eller över en tidsperiod kan medföra en risk för explosion i närvaro av en antändningskälla. Risken för explosion i samband med redan antänd gas förefaller vara lägre och ett enskilt brinnande batteripaket kan därmed förväntas medföra en lägre risk för explosion då gasen förbränns i samband med att den ventileras ut ur batteriet (25). Dock kan de varma brandgaserna vid brist på erforderlig ventilation i utrymmet föranleda att fler batterier börjar ventileras likt situationen i Beijing 2020 (se avsnitt 3.3.23.3) vilket i sin tur kan leda till en större gasansamling, som därmed utgör en risk för explosion.

4.2.2 Oförutsägbart och intensivt brandförlopp

Litiumjonbatterier som undergår termisk rusning kan producera syre genom de ingående komponenterna vilket medför att branden till viss del blir självunderhållande och inte kräver extern syretillförsel för att brinna. Därtill föreligger även risk för "spontan" antändning (26) och även återantändning av tidigare släckta batterier, vilket gör hanteringen av skadade batterier av denna typen problematisk.

En studie av FM Global (22) presenterar en serie försök där brand i batterier av typen litiumjärnfosfat (LFP) och litiumnickeloxid/ litiummanganoxid (LNO/LMO) studerades i olika konfigurationer och antal batterimoduler. Utöver syftet att studera brandspridning mellan moduler till följd av termisk rusning i en battericell utfördes även diverse mätningar. Mängden utfallande strålning från ett brinnande batterirack kontrolleras på olika avstånd med avsikt att bättre förstå skyddsbehovet för närliggande föremål. Även brandens effektutveckling beräknades och mättes. Resultaten visar en nästan tredubbelt högre effektutveckling från LNO/LMO batterierna jämfört med LFP. Vidare studier påtalar även effekten av vilken grad batteriet är laddat (state of charge, SOC %) i samband med brand (27) (28). Fullt laddade batterier (100% SOC) medför ett annorlunda och kraftigare brandförlopp jämfört med exempelvis 30 % SOC. En anledning till detta kan antas bero på att antalet och hastigheten av de kemiska reaktionerna som pågår i cellerna ökar i takt med laddningsgraden, vilket resulterar i en mer brännbar gas (större brännbarhetsområde) som ventileras ut. (29)



Figur 4. Exemplifierande graf för hur SOC påverkar HRR vid brandtester med LFP batterier. Figur från (29).

Beräkningsexempel kan även göras genom en korrelation mellan bland annat förbränningsvärmets från batteriets ingående komponenter och den förgasade elektrolyten vid en termisk rusning tillsammans med den förväntade mängden lagrad energi i batterierna (22). Produkten kan sen användas för att uppskatta exempelvis brandbelastningen/energiinnehållet i ett energilager. Som tidigare påpekats är dock denna metodiken problematisk då mängden ventilerad gas kan variera stort mellan olika typer av batterier och dess laddningsgrad. Studien av FM Global redovisar ett uppskattat energiinnehåll för både en enskild batterimodul och ett batterirack om 16 moduler för LFP samt LNO/LMO. En intressant observation gällande beräkningen av energiinnehållet är att tillskottet från den avgasade elektrolyten

och den lagrade energin utgör en mindre del än tillskottet från plaster och övriga delar av batteriet. Tabell nedan redovisar kortfattat resultaten från dessa beräkningar:

Tabell 1. Sammanfattning av uppskattat energiinnehåll för modul och rack av LFP samt LNO/LMO batteri enligt (22).

Komponent	LFP modul (Energi, MJ)	LNO/LMO modul (Energi, MJ)
En modul*	279 ± 28	509 ± 51
Ett rack (16 st moduler)	4464 ± 446	8142 ± 814

*Modulernas kapacitet (kWh) anges som 5,2 samt 7,8 för LFP respektive LNO/LMO.

Förbränningsvärmets för elektrolyten i beräkningarna har ansatts till 27 MJ/kg, plasterna till 38 MJ/kg och den lagrade energin har uppskattats genom att multiplicera kapaciteten (5,2 resp. 7,8 kWh) med 3,6. För att sätta det beräknade energiinnehållet i relation till något kan värdet jämföras med exempelvis en personbil, där energiinnehållet kan uppskattas inom spannet 4000-8000 MJ (30), eller en kvadratmeter med lådor av kopieringspapper (12 lådor á 12,5 kg) vilket motsvarar ca 3000 MJ.

En högst relevant skyddsbarriär för att förhindra intern skadlig uppvärmning eller överladdning, utöver batteriets ingående material, bedöms vara batteriets BMS som kan övervaka interna processer som exempelvis spänning, temperatur och tryckupbyggnad på cellnivå. Vid felindikation kan BMS stoppa laddning och göra systemet strömlöst till dess att normala driftförhållanden föreligger (21). Batteriets BMS skyddar dock endast mot fel som uppstår inuti och i anslutning till batteriet och kan inte skydda mot extern påverkan från exempelvis stötar, som kan medföra skador i batteriet och på sikt kan leda till felfunktion. BMS är dock ett integrerat system som kan falla och felfunktioner i BMS har angetts som en möjlig delorsak när brand uppstått till följd av överladdning (21).

Oberoende av mängden säkerhetssystem och skyddsbarriärer kopplat till batterierna tillhörande energilagret behöver även risken för, och konsekvenserna av, brandspridning från övriga delar av byggnaden beaktas. Ett energilager kan innehålla en stor mängd lagrad potentiell brandenergi och på samma sätt som hur andra utrymmen med ökad brandbelastning föranleder behovet av att avskiljas brandtekniskt t.ex. avfallsrum och bränsleförråd, bör även energilager skyddas mot brand som uppstår på en annan plats i byggnaden. Behovet av brandteknisk avskiljning bör dock ställas i relation till installationens storlek, där ett mindre energilager för småskalig användning inte nödvändigtvis behöver avskiljas brandtekniskt utan istället endast placeras inom ett avskilt utrymme. En gräns kopplad till installationens kapacitet eller energiinnehåll/brandbelastning och när utrymmet bör regleras diskuteras vidare under avsnitt 6.

4.2.3 Utsläpp av toxiska gaser

De gaser som produceras i samband med termisk rusning i litiumjonbatterier är både brännbara och toxiska. Utöver den ofta påtalade produktionen av vätefluorid (HF) förekommer även andra toxiska gaser som till exempel väteklorid (HCl) och vätecyanid (HCN). Många källor, däribland MSB (30) påtalar riskerna med exponering för HF och att även låga koncentrationer kan leda till kraftiga reaktioner, andningsbesvär och ögonirritation. Ett utrymme som exponeras för dessa gaser är inte lämplig att vistas i eller passera vid en utrymningsituation och kan utgöra en direkt fara för utrymmande personer. Placeringen av ventilationsöppningar tillhörande energilagret bör göras med hänsyn till omgivningen och bör inte mynna mot ytor där personer kan förväntas passera i samband med utrymning.

Även räddningstjänstens säkerhet skall beaktas med hänsyn till den förhöjda risken som de giftiga gaserna utgör. Om räddningstjänstens insats kan begränsas till ett energilager som mynnar direkt till det fria eller där andra delar av byggnaden inte behöver passeras för att nå utrymmet, förväntas insatsen ges större möjligheter att kunna utföras på ett säkert sätt.

Elsäkerhetsverket anger i sin handbok för innehavare av elanläggningar att placering av ett batterilager har betydelse för säkerheten och att det ska ske med hänsyn till BBR 5:53 (31). Det framgår dock inga andra krav utöver hänvisningen till BBR gällande brandteknisk avskiljning eller ventilation.

Skytning och beskrivning av potentiella risker kopplade till energilagret och vad en eventuell brand kan innebära bör finnas tydligt markerat i anslutning till utrymmet. Elsäkerhetsverket anger att information till räddningstjänsten bör finnas tydligt uppsatt i anslutning till energilager (information gällande batterityp, spänning och hur man frånskiljer anläggningen) (31). Skytning och information bör även finnas tillsammans med andra tekniska installationer som hör till byggnaden, ex. brandförvarstablån.

MSB hänför litium/litiumjonbatterier som transporteras på väg som farlig gods till riskgrupp 9 (övriga farliga ämnen och föremål) (32). MSBs åtgärdskalender föreslår för aktuell riskgrupp ett initialt riskavstånd om 50 meter respektive 100 meter i händelse av brand. (33)

4.3 FORDON MED ALTERNATIVA BRÄNSLEN

4.3.1 Brandspridning inom byggnad

Bränder i garage är ofta allvarliga oberoende av drivmedel då det ofta är stora ytor och svårt att ventilera om det är beläget under mark och/eller uppfört i flera plan, vilket kan medföra att stora mängder brandgaser kan ansamlas (34). En brand eller explosion i en elbil och dess batterier är ofta mindre allvarlig än en brand eller explosion i en bensin eller diesebil (35). Litium-jon batteriet bidrar inte heller med någon signifikant ökning av brandeffekten jämfört med en brand i bensin eller dieseldrivna bilar (35).

Gas i bilar förvaras i behållare på liknande sätt som en bensin- eller dieseltank. Gasen är försatt under tryck för att kunna få plats med tillräcklig mängd (34). En risk med gasbehållarna är att om vid upphetning börjar ventilera gas via säkerhetsventilen och om det då redan är en brand i närheten av bilen kommer gasen att antända, vilket leder till en jetflamma eller explosion (34). Det finns även en risk att gasbehållaren exploderar om inte säkerhetsventilen kan sänka trycket tillräckligt snabbt eller om den inte fungerar (34). Energin från en explosion i en 130 liters behållare fulltankad med CNG-gas med ett tryck om 200 bar motsvarar ca 1.85 kg dynamit, vilket kan ge dödliga skador inom 12 meter och krossa fönster inom 30 meter (34). En gasbehållare med LPG-gas som utsätts för upphetning och där säkerhetsventilen inte fungerar kan medföra en explosion och BLEVE, som i sin tur utsätter den närstående omgivningen för ett väldigt högt värmefflöde under ett par sekunder (34).

Gaser kan även spridas olika i ett garage beroende på dess densitet. Dimetyleter är en gas som har en högre densitet än luft och ett brett brännbarhetsområde och vid läckage kan täcka ett större område och fortfarande har en brännbar koncentration. Gasen kan flyta längs med golvet och ansamlas vid håligheter eller dylikt i marken och vägbanan (34). En lättare gas som används som drivmedel är vätgas som istället kan ansamlas vid taket om den läcker ut (34). Bilflottan som använder vätgas är relativt liten och därav är tillgängliga data gällande dessa begränsad. En risk med vätgas är att flammen är näst intill osynlig och brinner med en väldigt hög temperatur (34). Det är också väldigt lättantändligt och det är vanligt med självantändning vid vätgasutsläpp (34).

4.3.2 Förhöjd risk för brand

I media rapporteras ofta om att risken för bränder i eldrivna fordon är större än risken för uppkomst av brand i bensin- eller dieseldrivna fordon. I ett projekt som RISE utfört har man kommit fram till att det inte finns några konkreta bevis på att detta är fallet, snarare bedöms att risken för uppkomst av brand är lägre eftersom det inte finns några brandfarliga vätskor som kan läcka och antända (36). Vidare nämns att även om riskerna inte är större med eldrivna fordon så är dom annorlunda än vad räddningstjänsten är vana vid och kommer därför behöva behandlas med nya strategier (36).

I en annan studie har RISE i Norge utrett laddningen av eldrivna bilar i parkeringsgarage. I slutsatsen framkommer att det inte finns några direkta samband mellan laddning av elbilar och en ökad sannolikhet för uppkomst av brand i garage (35). I slutsatsen nämns att de föreskrifter som finns gällande laddning av fordon är tillräckliga för att undvika uppkomst av brand (35), dessa redovisas närmare i avsnitt 5.3. För att laddning ska kunna ske säkert behöver det finnas tillräckligt med uttag som uppfyller säkerhetskraven för att undvika att förlängningssladdar eller uttag som inte är dimensionerade för laddning används (35).

4.3.3 Räddningstjänstens insats

En brand i en eldriven bil kan medföra att batteriet får en så kallad termisk rusning. Detta sker när batteriet upphettas till ca 130-200 °C (35). När termisk rusning har uppstått är branden väldigt svårsläckt eftersom batteriet kan antända bilen på nytt och det krävs att batteriet kylls tillräckligt, vilket dels kan vara svårt på grund av batteriets placering och dels kräver det stora mängder vatten (35). Termisk rusning kan även uppstå "spontant" eller utan tidigare uppvärmning. Oftast beror detta på att batteriet blivit utsatt för yttre påverkan (35). I dessa fall måste föraren se till att batteriet byts ut, men problem kan uppstå om föraren inte uppmärksammar felet.

Ett skadat eller upphettat batteri kan börja avge gaser, dessa gaser kan ansamlas och leda till en explosion vid antändning (34). Explosionen bedöms vara relativt liten jämfört med dom som kan uppstå från exempelvis gasbilar, men kan fortfarande medföra personskador på grund av projektiler som trycks iväg (34).

En annan utmaning med brand i eldrivna fordon är brandgaserna. Vid en brand bildas flera olika giftiga gaser, däribland vätefluorid (HF). HF uppkommer även vid brand från konventionella bensin- eller dieseldrivna fordon men det bildas i en högre omfattning i eldrivna fordon om batteriet är med i brandförloppet (37). Simuleringar som baseras på prover visar dock att koncentrationen HF i brandgaserna inte är så hög som flera rapporter visat tidigare. Anledningen tros vara att HF reagerar på ytor som det kommer i kontakt med och koncentrationen som är kvar i gaserna avtar (37). I ett stängt garage medför detta att mycket av vätefluoriden fastnar på väggar, golv och tak och inte i brandgaserna. Utifrån simuleringarna bortsåg man dock från reaktionen med andra ytor men ändå erhöles relativt låga koncentrationer av HF (37). En jämförelse har gjorts mot ett test där räddningstjänstens utrustning utsattes för HF. I testet användes mycket högre koncentrationer av HF men ändå erhöles goda resultat (37).

5 INTERNATIONELL JÄMFÖRELSE

En internationell jämförelse utfördes med syfte att identifiera hur olika länder bedömer, värderar och hanterar riskerna kopplade till ny teknik. Svar från den enkätstudie som utfördes har beaktats när denna handlingen författades, men ingen sammanställning av inkomna svar har utförts då svarsfrekvensen var för låg för att kunna presenteras på annat sätt.

Den huvudsakliga frågeställningen och fokus för enkätundersökningen har varit hur riskerna hanteras och bedöms i respektive land, snarare än om/hur regelverk finns. En av anledningarna till den låga svarsfrekvensen kan dock antas vara att många länder fortfarande saknar en tydlig styrning för hur dessa frågor ska hanteras och att osäkerheten är stor nog att inte vilja uttala sig. Enkätfrågorna redovisas som bilaga till denna handling.

5.1 ELPRODUKTION I BYGGNADER

I examensarbete (38) från LTU 2019 refererat till i (10) genomfördes en jämförelse av regelverk mellan Tyskland, USA, Sverige och Dubai samt den europeiska konfederationen för nationella brandskyddsorganisationer inom Europa, CFP-A-E.

Det kan noteras att kravställningen skiljer sig markant åt mellan studerade länder.

Gällande elkablage framgår av tabell 1 att Tyskland har delvis högre krav än övriga jämförda länder. Värt att nämna är att SEK 457 anger rekommendationer på att brännbara produkter inte ska placeras i närheten av brandavskärmning.

I Tyskland finns även längre gående krav angående placering av växelriktare och brytare, där växelriktare ska placeras på obrännbart underlag på utsidan eller vid ingången till byggnaden. I Sverige rekommenderar de flesta räddningstjänster att växelriktaren ska placeras så att likströmskablage inne i byggnaden får så kort sträckning som möjligt. Gällande strömbrytare för räddningstjänst märker Tyskland ut sig med att inte kravställa sådan anordning. Värt att notera är att alla kopplingspunkter oavsett syfte/funktion innebär viss risk för kortslutning/ljusbåge. En brytare för räddningstjänst bör alltså endast installeras där solcellsanläggningen har en förhållandevis lång sträckning av likströmskablage mellan solcellsmodulerna och växelriktaren.

Beträffande taktillgänglighet har Sverige inte lika långt gående reglering som övriga jämförda länder, detta innebär att en brand kan potentiellt propagera till större områden vid stora solcellsanläggningar samt innebära större utmaningar för räddningstjänsten. Det stöd som finns i Sverige finns i SEK 457 i form av en generell skrivning om att räddningstjänst ofta vill ha tillgång till taket och att detta därför inte bör beläggas med allt för stor yta av solcellspaneler.

Sverige har förhållandevis höga krav på skyltning och information, detta beskrivs i både räddningstjänst rekommendationer och SEK 457.

Tabell 2 Jämförelse av regler och förordningar i olika länder (38).

Rekommendationer för delkomponenter	CFPA-E	Tyskland	USA	Sverige	Dubai
Elkablar					
Elkablar på tak ska inte dras över brandväggar utan brandskydd	X	X			
DC-kablar > 1m ska brandskyddas och placeras utomhus.		X			
Inga DC-ledningar ska placeras i nödutgång eller räddningstjänst åtkomst		X			
DC-ledningar i slutna utrymmen ska skyddas (metallrör).			X		
Växelriktare och strömbrytare					
Växelriktare ska placeras vid ingången eller på utsida.		X			
Växelriktaren ska vara tillgänglig för räddningstjänsten		X		X	
Växelriktaren ska installeras på obrännbar vägg		X			
Krav på strömbrytare för räddningstjänstens behov	X		X	X	X
Rekommendationer angående installationen, passage och skyltning (BAPV).	CFPA-E	Tyskland	USA	Sverige	Dubai
Taktilgänglighet och sektioner för PV installationer					
Avstånd mellan PV-moduler och brandväggen	X (2.5m)	X (1.25m)			
Brandgata för räddningstjänst	X	X	X	X	
Maximal bredd på solcellsinstallationer.	X (40m)	X (40m)			
Minimalt avstånd mellan PV installationer.	X (5m)	X (1m)			
Avstånd mellan solcellsektioner och ventilationskanaler.	X		X	X	X
Återvändsgräns ska regleras (gångstig).			X		
Storleken på gångar		X	X		
Avstånd mellan modul och tak					X
Paneler ska installeras på obrännbart tak.					X
Rekommendationer angående installationen av elkomponenter	CFPA-E	Tyskland	USA	Sverige	Dubai
Skyltning					
Skyltning	X	X	X	X	X
Särskild plan vid nödsituationer.		X		X	
Kontaktinformation vid nödsituation			X	X	
Övriga rekommendationer	CFPA-E	Tyskland	USA	Sverige	Dubai
Solcell installerade på fasad.					
Installationen ska uppfylla samma krav som övriga delar av fasaden.	X			X	
Modul					
Relevanta provningar av PV moduler			X		X
Uppföljningskontroll.				X	

5.2 ENERGILAGRING I BYGGNADER

Amerikanska NFPA publicerade 2020 den första utgåvan av standarden för installation av energilager NFPA 855 (39). Dokumentet behandlar exempelvis toxiska och brännbara gaser, ökad brandbelastning och s.k. "stranded energy", dvs energi som finns kvar i batterier efter urladdning av skadade batterier. NFPA 855 anger ett antal riktlinjer och rekommendationer gällande utformningen av både utrymmet där batterierna lagras samt tekniska egenskapskrav för själva batterierna. NFPA 855 är applicerbar för energilager där energin i batterierna överstiger en viss nivå (kWh), exempelvis 70 kWh för bly-syra batterier och 20 kWh för litiumjonbatterier. Ett urval av kraven som föreskrivs för energilager med litiumjonbatterier i byggnader avsedda för ändamålet anges nedan:

- Utrymmen som utgör batterilagring skall avskiljas mot angränsade delar av byggnaden i lägst 1-2 h beroende på byggnadstyp
- Brännbart material som hör till systemet placeras på skyddsavstånd, övrigt brännbart material får inte förvaras i samma utrymme
- "Återvunna" batterier skall undvikas om de ej testats enligt särskild standard
- Övervakningssystem skall finnas i batterier för att undvika termisk rusning
- Där vattenbaserade släcksystem används skall uppsamlingskapacitet beaktas
- Sprinkler dimensioneras baserat på effekt (installationer understigande 50 kWh kan dimensioneras schablonmässigt med ca 12 mm över rumsarean)
- Utrymme skyltas (typ av anläggning, typ av fara, släcksystem)
- Ett dedikerat frånluftssystem krävs ej specifikt för energilager med litiumjon-batterier, men risken för explosion behöver beaktas och andra krav gällande ventilationskontroll kan vara aktuella.

Utöver ovan anges även separata riktlinjer för en-/tvåbostadshus där det framgår att placeringen av energilager endast får ske i separata utrymmen som garage, apparatskåp eller utomhus. Installation av energilager tillåts endast inom boytan om energilagret monteras i ett apparatskåp eller dylikt. Enskilda batterienheter får ej överstiga 20 kWh per modul/batteripaket och får ej överstiga totalt 40 kWh vid montering i skåp samt totalt 80 kWh vid montering utomhus eller i separata garage.

Det multinationella försäkringsbolaget FM Global har publicerat ett s.k. "loss prevention" (40) dokument med riktlinjer som behöver beaktas vid installation av energilager. Dokumentet publicerades först 2017 och har därefter kontinuerligt reviderats. Exempel på punkter för energilager innehållandes litiumjon-batterier anges nedan

- Utrymmet för batterilagring placeras företrädesvis i en fristående byggnad. Om utrymmet måste placeras inom en byggnad sker detta helst i byggnadens hörn med tillträde direkt från det fria.
- Om flera batteri-rack placeras bredvid varandra skall dessa avskiljas med obrännbart material
- Skyddsavstånd utförs med 2 m till övrigt obrännbart material och 3 m till brännbart material. Brännbart material inom utrymmet bör begränsas
- Avskiljande konstruktion för utrymmet utförs i lägst motsvarande EI 60
- Det skall finnas möjlighet till både fjärrbrytning samt brytning i anslutning till lagringsutrymmet
- Ventilationsdon placeras i eller nära tak och utformas med icke-brännbart material. Frånluft sker via fläkt, frånluft bör mynna till det fria och placeras så det ej sprids till tilluften eller i närheten av dörrar och andra öppningar.
- "Återvunna" batterier från t.ex. bilar bör undvikas
- Sprinklerinstallation 12 mm/min över rumsarean rekommenderas
- BMS med funktioner som övervakar temperatur, termisk rusning och har en möjlighet att göra installationen strömlös vid avvikande beteende.

5.3 FORDON MED ALTERNATIVA BRÄNSLEN

I Norge är andelen elbilar större jämfört med många andra länder, vilket har medfört att deras regelverk har kommit relativt långt vad gäller utformning av garage och laddningspunkter. Relevanta krav redovisas nedan.

Parkeringsgarage ska vara försedda med brandlarm eller sprinkler om arean är större än 1200 m². Om minst 1/3 av väggytan är öppen krävs inte dessa system om öppningar placeras så att goda ventilationsförhållanden erhålls. (35)

I norska standarden för lågspänning (NEK 400) finns även regler för hur laddningsutrustning ska byggas. Följande krav ställs (35):

- Allmänt tillgängliga uttag för laddning ska ha utrymme för två inkopplingar per uttag.
 - Industriella uttag och vanliga jordade uttag (även kallade Schuko) är inte tillåtna.
- Alla inkopplingspunkter måste ha överspänningsskydd
- Vid nybyggnation ska laddplatser ha dedikerade kretsar. Vissa tillägg finns för laddplatser på befintliga kretsar.
- Schuko uttag är tillåtna i privat bruk men det måste finnas en dedikerad krets med 10 A överspänningsskydd och en viss typ av jordfelsbrytare.
- Förlängningssladdar får inte användas.
- Olika adapttrar får inte användas om dom är kompatibla enligt leverantörens (både bilen och adapttern) anvisningar.

I ett norskt projekt där man uppgraderade ett befintligt garage bedömde man att sprinkler inte behövdes eftersom garaget var friliggande och hade gott om avstånd till närmsta byggnad. Det bedömdes därför att risken för personskador och skador på tredjeparts fastighet var låg. (35)

I USA åtskiljs öppna och stängda garage. Med ett öppet garage menas att det är öppet i minst två sidor. Stängda garage ska förses med sprinklersystem detta krävs inte i öppna garage då den naturliga ventilationen anses vara tillräcklig. (35) Det finns dock inga särskilda krav på garage som har fordon med alternativa bränslen.

I Storbritannien krävs att obrännbart material ska användas i garage. Brandskyddet bygger främst på brandgasventilation och det delas in i tre typer; öppet, naturlig ventilation och mekanisk ventilation. Det finns dock inte närmare regler för hur en laddstation ska se ut eller någon övrig instruktion rörande olika bränslens påverkan på brandskyddet. (35)

I Kulmbach i Tyskland har eldrivna bilar förbjudits från att köras ned i undermarksgarage efter att en brand i en bensindriven bil utbrutit. Undersökningen efteråt visade på att släckarbetet inte skulle kunnat genomföras om bilen hade varit eldriven eftersom räddningstjänsten inte har verktygen till att släcka en brand i en el-bil utan kan endast kyla branden. Detta medför att bilen tillåts brinna ut istället och kan då påverka andra bilar och bärverket i byggnaden. Ett alternativ hade varit att bogsera ut bilen, men på grund av den låga takhöjden skulle det inte kunna genomföras på ett säkert sätt. (41)

6 ANALYS

I detta avsnitt analyseras information inhämtad från litteraturstudien, den övergripande riskidentifieringen samt den internationella jämförelsen i relation till problemformuleringen.

6.1 MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND

Energilager

Utrymmen där en brand riskerar ge upphov till utsläpp av giftiga gaser bör inte placeras i anslutning till eller ingå i en utrymningsväg. De brandgaser som produceras i samband med batteribränder är till viss del jämförbara med brand i plaster avseende produktionen av CO, HCl, HF, och HCN (43). Utsläppshastigheten i samband med termisk rusning är dock betydligt större än för en "normal" brand. På grund av att termisk rusning i batterierna kan ske snabbt och intensivt bör inte energilagret placeras inom eller i direkt anslutning till ett utrymme där personer vistas stadigvarande. Öppningar (ventilation/dörrar) bör mynna mot en del av byggnaden som inte utgör utrymningsväg eller mot luftintag för ventilationssystemet. Utformningen av utrymmet för energilager bör vara utfört så att spridning av brand och brandgaser förhindras under utrymningsförloppet.

Om placeringen av energilagret inte är möjlig utan att ansluta mot ett utrymme som ingår i en utrymningsväg kan ett förslag till åtgärd vara installation av en luftsluss/brandsluss samt dörrstängare för att avskilja utrymmena. Funktionen som avses med denna installationen kan härledas till hur andra särskilt känsliga utrymmen skyddas enligt nuvarande lagstiftning (exempelvis för Vk 1 och Vk 3 i anslutning till pannrum eller vid ett Tr1-trapphus). Syftet med installation av sluss är att minska risken för brand/brandgasspridning till utrymningsvägen via exempelvis en dörr som lämnats öppen. En indirekt konsekvens av att kravställa luftsluss kan i praktiken förväntas vara att andra placeringar inom byggnaden ses som mer fördelaktiga.

Behovet av luftsluss bör ställas i relation till energilagrets storlek och en placering inom ett separat utrymme (exempelvis ett sammanbyggt garage i ett småhus) bör kunna vara tillräckligt för en mindre installation.

Byggnader som förses med energilager bör skyltas för att göra personer som vistas där medvetna om riskerna samt informeras om hur de förväntas agera i händelse av brand.

Alternativa bränslen

Studier har visat att riskerna inte nödvändigtvis är högre med varken eldrivna eller gasdrivna fordon, däremot kan riskerna vara annorlunda. Exempelvis bildas andra typer av gaser som kan påverka en utrymning negativt men det bildas dock inte mer brandgaser. Individrisken bör därför inte vara högre i ett garage enkom för att gas- eller elfordon finns parkerade i garaget och inga särskilda åtgärder utöver vad som redan finns beskrivet i BBR bedöms behövas för att tillgodose utrymningen.

6.2 SKYDD MOT UPPKOMST AV BRAND

Alternativa bränslen

Studier har visat att risken för uppkomst av brand inte ökar vid laddning av elfordon, givet att laddning sker korrekt och att utrustningen är hel. Därför bör laddningspunkter förses med påkörningsskydd och det bör även finnas laddningspunkter i tillräcklig omfattning så att förgrenings- och förlängningssladdar undviks. Vidare bör inte uttag som inte är avsedda för laddning finnas i närheten av parkeringsplatserna.

6.3 BRANDSPRIDNING MELLAN BYGGNADER

Hantering av risk för brandgasspridning mellan byggnader bör kunna hanteras på motsvarande sätt som i dagsläget. Ökad risk för brandspridning mellan byggnader bör inte föreligga för garage med fordon med alternativa bränslen eller vid installation av ett energilager eller solcellsanläggning som placeras i/på byggnad (förutsatt att rekommenderade avstånd följs). Vid placering av energilager i en fristående container eller dylikt bör risken kunna hanteras på motsvarande sätt.

6.4 BRANDSPRIDNING INOM BYGGNAD

Solceller

Byggnadsintegrerade solceller (BIPV) installerade som en del av takkonstruktionen behöver i dagsläget, enligt BBR, uppfylla krav för att förhindra flygbränder (B_{roof}). Det är dock inte spridning av flygbränder som är den primära risken med solcellsanläggningar av denna typ, utan snarare den förhöjda risken för uppkomst och spridning av brand till intilliggande konstruktion jämfört med en byggnad utan solcellsanläggning.

En parallell till befintlig teknik med kopplade risker kan vara utrymmen för elutrustning. I standard för starkströmsanläggningar (42) är det en vanlig tolkning att utrymmen för sådan utrustning bör placeras i separat brandcell. Solcellsanläggningar arbetar i spänningsområde upp till 1000 V varför jämförelsen är relativt aktuell. En skillnad i sammanhanget är dock att solcellsanläggningar till stor del är placerade i ett avsevärt mer krävande klimat vilket ökar risken för incidenter.

Risken för uppkomst och brandspridning till omkringliggande byggnadskonstruktion är mångfalt större för BIPV än för BAPV, vilket beskrivits i tidigare avsnitt. Åtgärder för att minska risken förknippad med BIPV kan dels vara att minska risken för uppkomst av ljusbågar, vilka får större konsekvens om de uppstår inuti en takkonstruktion, eller dels reducera konsekvensen av uppkommen brand.

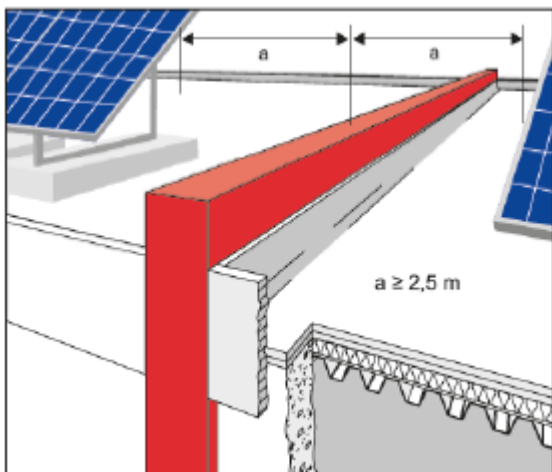
Risk för ljusbågar kan reduceras avsevärt med så kallade Arc Fault Circuit Interruptor (AFCI), vilka kontinuerligt analyserar strömfrekvensen i kretsen och slår till/från brytare vid identifierad avvikelser/ljusbåge, vilket eliminerar kortslutningen. Denna typ av lösning är kravställd för anläggningar i USA med märkspänning över 50 V i enlighet med NFPA 70 (43) samt även i Dubai i BIPV-anläggningar om dessa inte är avskilda i egen brandcell (44).

Reducering av konsekvens kan uppnås genom exkludering av brännbara material samt/eller brandcellsavskiljande barriär mellan solcellsmoduler och övrig byggnadskonstruktion.

Säker förläggning av kablage, vilket nämnts i kap 5.1, beskrivs knapphändigt både i SEK 457 och bland räddningstjänsternas råd. Det finns flertalet metoder för att både förhindra och lindra konsekvens av brand i sådant kablage, vanligt är olika skydd och begränsningar i placering, men också val av obrännbar taktäckning.

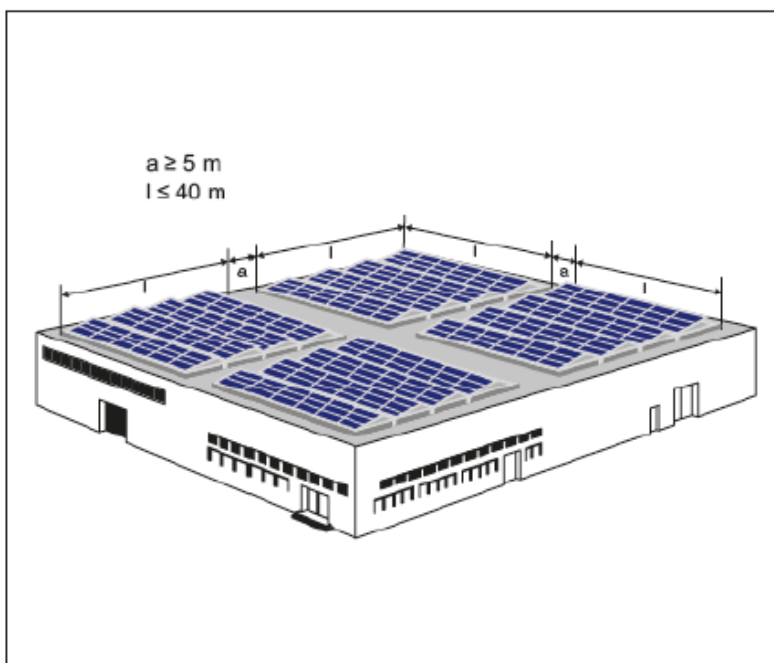
Både BAPV och BIPV kombinerat med en underliggande konstruktion isolerad med brännbar isolering ska betraktas som en riskkonstruktion, se (45). Sådan konstruktion bör ej tillåtas utan riskanalys med erforderliga åtgärder, såsom exempelvis brandavskiljning.

Flertalet internationella publikationer (43) (44) (46) föreskriver säkerhetsavstånd till brandtekniska installationer och brandcellsavskiljande konstruktioner men även inbördes avstånd mellan grupper av solcellsmoduler. Mest relevant bedöms guideline från CFPA-E (46) vara vilken även Svensk elstandard 457 (3) delvis hänvisar till. Här anges minsta avstånd till brandcellsavskiljande konstruktion till 2,5 meter.



Figur 5 Bild från CFPA-E (46)

Det anges också att kablage och annat brännbart material inte ska förläggas över brandcellsgränser samt att det bör vara minst 5 meter mellan grupper av solcellsmoduler och att ytan av grupper får uppgå till maximalt 40 x 40 meter.



Figur 6 Bild från CFPA-E (46)

I tidigare avsnitt (4.1.1) kunde konstateras att växelriktaren utgör en förhållandevis stor risk i en solcellsanläggning. För att reducera konsekvens av brand i växelriktare kan denna monteras på obrännbart underlag, vilket är krav i Tyskland (18) (10). Växelriktare kan också byggas in i skal av plåt.

Ur perspektivet risk kopplat till åldrande av solcellsanläggningar är det problematiskt att ge rättvis bild då utbyggnadstakten har ökat framförallt på senare tid. En trend som är tydlig i statistik från Tyskland (18) är att bränder framförallt inträffar under anläggningens första år vilket troligen kan kopplas till installationsfel eller komponentfel. Troligen ökar risken även i åldrade anläggningar när till exempel isolermaterial och plast börja brista i täthet samt när oxidlager byggs upp i brytare och kontakter, så att en badkarskurva erhålls.

Det går till viss del att ifrågasätta om tillräckligt underhåll och tillräckliga kontroller utförs i samband med installation men även över tid. Det ökade intresset och mängden riktlinjer från försäkringsbolag inom området tillsammans med statistik presenterat tidigare i denna rapport visar att bränder och

tillbud inträffar som möjligen skulle kunna undvikas med korrekt utförda kontroller och underhåll. Detta är lagstadgat och beskrivs bland annat i BBR kap 2.2 men även elsäkerhetslagen (2016:732) §17. I och med redan befintlig reglering i lag skulle möjligen ökad tillsyn eller annan myndighetskontroll vara skäligt.

En sammanfattning av aktuella åtgärder för att förebygga brand kan summeras i att planering, metodik, och montage av solcellsanläggningar utgör de främsta åtgärderna för att undvika uppkomst av brand. Sådana åtgärder beskrivs bland annat SEK 457 (3) men också i annan litteratur (18). Nedan följer en övergripande beskrivning av sådana förebyggande åtgärder.

Förebyggande av ljusbågefenomen och skadlig uppvärmning

- Använd för ändamålet avsedda komponenter (ex. kontaktdon, kablage, kopplingsplintar).
- Design av system för att undvika ljusbågefenomen och uppkomst av brand. Här avses tekniska skyddssystem som optimerare, bypass dioder, avskiljare och ljusbågedetektorer men även att skuggning av panelerna bör undvikas. Om ljusbåge ändå uppstår bör inte lättantändligt material finnas i närheten, vilket är aktuellt för samtliga delar av installationen.

Fackmannamässig installation

- Tillräckliga säkerhetsavstånd till brandcellsavskiljande konstruktioner/brandväggar samt andra installationer såsom brandgasventilation men även avstånd mellan grupper av solcellspaneler
- Korrekt förläggning av kablage och komponenter samt i övrigt installation enligt (3) och tillämpliga standarder. Brännbara delar av installationen bör inte förläggas över brandväggar eller brandcellsavskiljande konstruktioner.

Kontroll och underhåll

- Kontroll och provning före idrifttagning
- Periodiskt underhåll
- För att förebygga brand är det rimligt att integrera solcellsanläggningen i befintliga SBA kontroller.

Specifika åtgärder för att minimera konsekvensen av brand och för att möjliggöra effektiva släckinsatser

- Manöverdon till brytare vilken bryter likspänning till växelriktare, även kallade "brandkårsbrytare". Kan vara motiverat där det är förhållandevis långt mellan växelriktare och solcellspaneler med långa sträckor likströmskablage i byggnaden. Brytaren medför dock ytterligare kopplingspunkter vilka även medför en ökad risk för brand.
- Tydlig, centralt belägen och övergripande information om solcellsanläggningen samt lokal markering av likströmskablage.
- Exkludering av brännbart material. Taktäckning bör vara obrännbar.

Energilager

Energilager kan utföras med varierande storlek och inneha varierande typer av batterier med varierande SOC, vilket gör spannet av det förväntade energiinnehållet relativt stort. I takt med att nya batterityper introduceras på marknaden kan även effektutvecklingen och även det förväntade förbränningsbeteenden komma att ändras - öka, eller minska.

För att underlätta bedömning av erforderad skyddsnivå för ett energilager kan batteriernas förväntade energiinnehåll eller kapacitet utgöra ett av kriterierna. En lägstanivå baserad på kapacitet medför en tydligare koppling till energilagret/batteriernas storlek och följaktligen även förväntad risk i händelse av brand. NFPA anger en lägstanivå för när energilager bör regleras som 20 kWh. Det framgår inte av NFPA 855 varför just 20 kWh har valts eller varför detta har bedömts utgöra en skälig nivå. Risker

med att ansätta ett specifikt värde är även att tekniken kommer fortsätta utvecklas och kapaciteten som erfordras kommer öka med följden att regleringen stryper utvecklingen inom området. Sett till dagens behov av energilagring kopplat till en solcellsanläggning är dock 20 kWh högt ansatt givet den nivån som kan förväntas förekomma för småskalig produktion. Vid dimensionering av ett energilager rekommenderas ca 1 kWh batterikapacitet per kW solceller (49). Kopplat till vilken effekt som rimligtvis kan uppnås vid installation av solceller i Sverige för småskalig användning på villor och dylikt och vad som erbjuds på marknaden bedöms gränsen 20 kWh tillämplig. Exempelvis erbjuder EON i nuläget en "stor" installation av 40 solpaneler med uppskattad effekt 13,2 kW, vilket även kan kompletteras med ett energilager motsvarande 10,2 kWh. (50)

Gränsen 20 kWh är ansatt godtyckligt men utgör ändå ett riktmärke för när energilagret bör betraktas som "mindre" och därmed inte föranleda krav på exempelvis brandteknisk avskiljning och ett "större" energilager som placeras i anslutning till en annan typ av verksamhet.

Kravställningen kopplad till detta kriterium enligt NFPA medför exempelvis uppförande av brandteknisk avskiljning mot utrymmet och installation av sprinkler. Storleken på ett energilager avsett för större omfattning än för småhus kan variera stort men kan av tidigare erfarenheter från projekt i dagsläget exemplifieras som åtminstone 80 kWh för en större kontorsbyggnad.

Man bör skilja på batterier som ingår i ett energilager och batterier som klassas som "lös inredning", exempelvis batterier för power-tools, elcykelbatterier eller andra mindre applikationer i detta hänseendet. Även om dessa mindre batterier i sig kan innebära en brandfara och hälsorisk i händelse av brand bör ansvaret för säker hantering, laddning och förvaring snarare åligga respektive nyttjare/fastighetsägare i ett privathushåll, snarare än en reglering via byggreglerna. Ansvar för säker hantering bör på samma sätt åligga nyttjanderättshavare när det gäller företag och andra verksamheter.

För att ställa olika typer av litiumjonbatterier i relation till varandra kan följande exempel med handberäkning användas, där batteriets kapacitet (kWh) beräknats genom att multiplicera amperetimmarna (Ah) med spänning (V) och dividera detta med 1000. Tabellen syftar till att tydliggöra skillnaden mellan ett energilager för småskalig användning och andra typer av litiumjonbatterier som kan förväntas förekomma i en bostad.

Tabell 3. Exempel av handberäkningar för olika litiumjonbatterier.

Typ av batteri	Amperetimmar (Ah)	Spänning (V)	Kapacitet (kWh)
Cykelbatteri	11	36	0,396
Samsung telefonbatteri (2021)	3,9	3,87	0,01509
Ryobi one+ power-tool batteri	4	18	0,072
Tesla power-wall (småskaligt energilager)			14
Andra småskaliga energilager (Nissan, LG, Box of Energy etc.)			Ca 3-28

Även om exempelvis 20 kWh kan förväntas vara en skälig nivå för när brandteknisk klass av fasta installationer ska regleras via byggreglerna bör även installationer som understiger denna effekten fortfarande företrädesvis placeras i ett separat och avskilt utrymme. Om möjlighet finns (via exempelvis leverantören/tillverkarens anvisningar) rekommenderas att placeringen av ett mindre energilager för enskilt bruk sker utomhus. Rekommendationer för säker installation och placering av ett småskaligt energilager (< 20 kWh) bör dock regleras av exempelvis Elsäkerhetsverket, snarare än via BBR.

Ett exempel på hur energiinnehållet kan beräknas redovisas i avsnitt 4.2, där en batterimodul med effekten 5,2 kWh respektive 7,8 kWh motsvarar ca 250-500 MJ beroende på batterityp. Om antalet moduler ökar för att motsvara 20 kWh uppgår energiinnehållet till ca 1000 MJ. I relation till vad som kan förväntas förekomma i ett vanligt bostadsförråd bedöms därmed inte installationen av ett energilager för småskaligt bruk medföra en orimligt stor ökad brandbelastning till följd av energiinnehållet. Det är snarare andra risker än den ökade brandbelastningen som medför det största behovet av reglering och avskiljning, som förbränningsbeteendet, förmågan till självunderhållande brand, utsläpp av brännbara och toxiska gaser samt risken för explosion.

Risken förknippad med explosion till följd av de brännbara gaserna som ventileras är ofta inte momentan och risken förväntas till viss del kunna förebyggas om utrymmet förses med passiv ventilation och tryckavlastning. Om explosion uppstår inom energilagret kan detta förmodas leda till skador på avskiljande konstruktion och att risken för vidare brandspridning inom byggnaden ökar. Utrymmen för energilager bör förses med möjlighet till ventilation, men en lägstanivå är svår att föreslå schablonmässigt. En bedömning av ventilationsbehovet i ett energilager bör kunna dimensioneras analytiskt genom att uppskatta ett scenario där en andel av installationens batterier ventilerar ut gas samtidigt. Baserat på utrymmets volym och typ av batteri (och vilken kemisk sammansättning gaserna förväntas ha) kan sedan den nedre brännbarhetsgränsen beräknas för att dimensionera exempelvis flätkapacitet. Inga sådana beräkningar presenteras i denna handlingen, då variablerna är för många och beräkningen bör utföras för varje specifikt fall.

Alternativa bränslen

Olika typer av energibärare har olika brandförlopp beroende på dess egenskaper och riskerna kan därför variera beroende på vilket drivmedel som det aktuella fordonet har. För ett gasdrivet fordon finns en risk att säkerhetsventilen öppnar om trycket i tuberna ökar. Om denna tryckökning beror på en temperaturökning till följd av en brand kommer gaserna att antändas, vilket ger upphov till en jetflamma. Beroende på riktningen finns en ökad risk för spridning till andra fordon och kan på så sätt sprida branden. Börjar flera fordon brinna ökar brandens effekt och även mer toxiska gaser produceras, vilket kan ge ohållbara arbetsförhållanden för räddningstjänsten. För att minska risken för att branden sprider sig kan ett vattensprinklersystem eller brandlarm med kopplat direkt till räddningstjänsten installeras. Vattensprinklersystemet kan kyla både tanken för att minska risken att tryckuppbyggnad sker i gastuberna samt kyla närliggande fordon för att på så sätt minska risken att dessa antänds. Ett vidarekopplat brandlarm kommer tillse en snabbare räddningsinsats och kan medföra att räddningstjänstens personal kan kyla både branden och närliggande bilar. Brandlarmet bör även innehålla adresserbara detektorer så att räddningstjänsten kan välja den insatsväg som ger kortast väg in till branden, räddningstjänstens insats diskuteras närmare i avsnitt 6.7.

En annan åtgärd för att minska risken att branden sprider sig är att öka storleken på respektive parkeringsplats för att öka avståndet mellan fordonen. För att undvika ansamling av större mängder brandgaser eller oförbrända drivmedelsgaser, exempelvis vätgas, behöver taket utformas så att gaserna inte fastnar i fickor, vid balkar eller dylikt. Detta bör kunna lösas genom en god ventilationslösning och tillse att det alltid finns en luftcirkulation i någon riktning.

Det bör även tillses att ansamling av varma brandgaser inte ansamlas i någon större mängd och krav på brandgasventilation bör finnas på garagen beroende på om det är öppet eller stängt.

Studier har visat att om laddning av elbilar sker på ett korrekt sätt är risken för uppkomst av brand inte större än för konventionella bensin- eller dieseldrivna bilar. Uttag för laddning bör därför förses med skylt för att minska risken att fel uttag används. Vid mekaniska skador på batteri, laddningskabel eller laddningsuttag kan däremot risken för uppkomst av brand öka. Laddningspunkter bör därför förses med påkörningsskydd.

Vissa studier pekar på vikten av ett bra ventilationsbrandskydd på grund av den ökade risken för toxiska gaser.

Idag ställs redan relativt höga krav på större garage vad gäller brandspridning inom byggnad och nivå bör kunna anses vara tillräcklig, dock behövs andra risker omhändertas och kan därför behöva andra åtgärder för exempelvis bärförmågan eller brandtekniska installationer. Riskerna kan även bli större om byggnaden är sammanbyggd med en annan eller om garaget är beläget under mark. Brandtekniska installationer så som vattensprinkler och brandlarm bör därför vara rimligt att installera om garaget t.ex. är beläget under en annan byggnad eller placerat under mark.

6.5 BÄRFÖRMÅGA VID BRAND

Solceller

Byggnadsapplikerad solceller, BAPV, vilar i regel på ett bärverk. Bärverket kan vid brandpåverkan kollapsa vilket leder till att solcellsmoduler kan falla ner från tak eller fasad om placeringen medger detta. Nedfallande byggnadsdel på grund av kollaps av brandpåverkat bärverk regleras på ett övergripande plan i EKS 11 i form av den indelning som sker i brandsäkerhetsklasser i tabell C-2. Det finns dock inget exempel i tabell C-3, C-4, C-5 som anger att nedfallande byggnadsdelar ska beaktas. I BBR kap 5:551 anges krav på beaktande av nedfallande byggnadsdelar från yttervägg.

9 av 21 kontrollerade räddningstjänster reglerar bärförmåga vid brand i sina rekommendationer beträffande solcellsanläggningar. Man kan därför sluta sig till att räddningstjänsterna uppfattar frågan som ett potentiellt problem om inte för utrymmande personer så åtminstone för räddningstjänstpersonal.

Energilager

Krav gällande bärverk tillhörande energilager bör utföras på motsvarande sätt som resterande byggnadsdelar med hänsyn till föreskriven brandteknisk klass. Inget ytterligare behov av reglering med hänsyn till installationen av energilager bör vara aktuell inom ramarna för BBR eller EKS. Risken för explosion i ett energilager bör kunna hanteras via brandgasventilation snarare än att dimensionera bärverken för explosionslast, då risken till största del kan förväntas förebyggas om de brännbara gaserna inte kan ansamlas i en tillräcklig omfattning för att skapa en explosiv atmosfär.

Alternativa bränslen

För gasdrivna fordon finns det en risk för kärlsprängning om säkerhetsventilen inte fungerar till gastuberna. För att minska konsekvensen av en sådan explosion bör explosionslasten beaktas vid dimensionering av bärverket. Det kan även krävas att garage ska ha en tillräcklig volym eller tillse att det finns öppningar till det fria i tillräcklig omfattning för att minska tryckupbyggnaden. Det finns även en risk att det sker en explosion vid en termisk rusning i batterierna för eldrivna bilar men effekten av dessa är mindre än en tryckkärlexplosion, vilken därför bör ses som dimensionerande.

6.6 BRANDTEKNISKA INSTALLATIONER

Energilager

Vid analytisk dimensionering av ett energilager bör en riskanalys utföras som utvärderar robustheten i föreslagna lösningen och konsekvensen av om ett eller flera av de tekniska systemen fallerar.

Släcksystem:

Effekten av vattensprinklersystem som monteras i ett energilager har visat sig vara effektiv för att begränsa temperaturutvecklingen och fördröja ytterligare spridning av brand till angränsande batterier. Även om flammor kan släckas av dessa system så kan fortfarande gasutsläpp ske, vilket kan ge upphov till gasansamlingar om dessa inte "tvättas ned" i tillräcklig omfattning. Flammor och sticklågor från batterierna kommer med största sannolikhet att släckas och kontrolleras av vattensprinklern, men återantändning kan fortfarande förväntas vara möjlig när vattenpåföringen avslutas. Kyleffekten av vattensprinklern på batterier som placerats i väderskyddade skåp är relativt begränsad och sprinklerinstallationen är mer effektiv för att minska risken att närliggande (icke-branddrabbade) batterier utsätts för skadlig upphettning till följd av direkt flampåverkan eller varma brandgaser (47). Att ersätta energilagrets brandcellsindelning via ett tekniskt byte med installation av automatisk vattensprinklerinstallation bedöms vara olämpligt, men installationen kan med fördel ingå i en analytisk dimensionering för att exempelvis motivera en reducerad klass på avskiljande konstruktion.

Vid installation av vattensprinkler bör omhändertagande av kontaminerat släckvatten beaktas. NFPA rekommenderar att en uppsamlingsvolym motsvarande vatten som genereras via 10 minuters aktiverad sprinkler.

Den förväntade effekten som kan uppnås med ett gassläcksystem är mer osäker, jämfört mot vad som uppnås via ett vattensläcksystem. Dels är den primära effekten av att kväva branden hämmad av att reaktionen i battericellerna till viss grad är självunderhållande genom syreproduktion och kan återantända efter gasen i släcksystemet är förbrukad. Även den kylande effekten av närliggande installationer och batterier går till stor del förlorad då ett gassystem används. (40)

Alternativa släcksystem förekommer även där skyddet förläggs direkt i respektive batterimodul och antingen "dränker" cellerna eller isolerar batterimodulen mot närliggande batterier. Denna metodik förväntas till större del kunna begränsa brandspridningen inom ett batterirack, men rapporter, fullskaleförsök och forskning på ämnet är i dagsläget begränsade.

Ventilationsbrandskydd:

Brandgasventilation kan installeras inom energilagret för att ventilera ut gaser som uppstår vid exempelvis termisk rusning. Systemets kapacitet dimensioneras för att i tillräcklig omfattning kunna ventilera ut brandgaser så att en explosiv atmosfär inte skall kunna uppstå. Installationen bedöms kunna utföras manuellt eller antingen med ett kontinuerligt flöde eller som ett system som aktiveras via brandlarm/gaslarm. Installationen av brandgasventilation i ett energilager bedöms även kunna underlätta vid en utrymningssituation då brandgaserna på ett mer kontrollerat sätt kan styras mot ett område där personer inte vistas och även minskar risken för vidare spridning in i byggnaden. Även räddningstjänstens insats underlättas om energilagret brandgasventileras då det medför både en lägre risk för exponering samt bidrar till bättre siktförhållanden.

Utförda studier (48) där respektive ingående komponent i den ventilerade gasen studerats och kvantifierats för att kunna dimensionera mekanisk brandgasventilation i förhållande till den lägre brännbarhetsgränsen kan vara ett teoretiskt hjälpmedel. Denna metoden kräver dock att lösningen anpassas från fall till fall, då både batterityp och utrymmets geometri har en betydande påverkan på resultatet. Om energilagret måste placeras inom en byggnad utan annan möjlighet till ventilation kan denna metodiken vara användbar.

Larmsystem och övervakning:

Energilagret bör vara försett med interna övervakningsfunktioner som skickar larm till (jourhavande) servicetekniker eller dylikt vid detekterade fel. Dessa kan efter undersökning på plats vid behov larma räddningstjänsten. En brand som uppstår i annan utrustning än batterierna kan snabbare detekteras vid installation av ett automatiskt brandlarm. Om installationen av ett brand-/utrymningslarm i övrigt utgör en förutsättning för byggnadens brandskydd bör även utrymmet för energilager anslutas till denna. Vid installation av ett småskaligt energilager i en/tvåbostadshus bör det avskilda utrymmet där lagret placeras förses med brandvarnare, som med fördel kan seriekopplas till bostadens övriga brandvarnare.

Specifika tekniska komponenter tillhörande energilagret, exempelvis BMS är förmodligen olämpligt/svårt att styra via byggreglerna, men förekomsten av ett integrerat säkerhetssystem bör dock hanteras av annan relevant myndighet som t.ex. Elsäkerhetsverket.

Övriga installationer/åtgärder:

Gemensamt för majoriteten av de utländska regelverk som studerats är behovet av separering/skyddsavstånd eller barriärer mot övrig utrustning eller material och batterierna inom utrymmet för energilager. Mängden brännbart material och samförvaring bör undvikas inom samma utrymme som batterierna förvaras. Även risken kopplad till återanvända bilbatterier belyses och att denna användning bör undvikas om inte omfattande säkerhetstester först utförts för att säkerställa batteriernas tillstånd.

Alternativa bränslen

För att minska risken för att en brand sprids till flera bilar kan ett automatiskt vattensprinklersystem installeras. Systemets syfte kommer i första hand vara att släcka en brand innan den påverkar gastuber eller batterier i bilarna. Det sekundära syftet är att kyla dels gastuberna och dels närstående bilar för att försöka undvika att branden sprids till andra bilar. Andra släcksystem så som gassläcksystem är inte tillämpliga eftersom de inte kommer ha samma effekt och kan påverka människorna som finns i garaget.

I denna undersökning har ingen undersökning rörande kostnad/nytta utförts, men utifrån litteraturstudien bedöms att installation av vattensprinkleranläggning i stängda garage sannolikt ger ett positivt resultat.

Ett annat alternativ är att installera ett brandlarm med multifunktionsdetektorer som kan detektera olika typer av gaser och på så sätt larma redan vid ett gasutsläpp. Brandlarmet medför att räddningstjänsten larmas tidigare och kan därför påbörja insatsen tidigare. Vid en snabbare insats kan räddningstjänsten påbörja insatsen innan branden hunnit påverka gastuber eller batterier. En studie visar på att batterierna i eldrivna bilar, på grund av att de är isolerade, ofta inte bidrar till branden inom de första 30 minuterna. En tidig insats kommer därför avsevärt underlätta insatsen.

6.7 RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATS

Solceller

Solcellsanläggningar kan försvåra och innebära risker för räddningstjänstpersonal ur olika perspektiv. Det finns en naturlig risk för elchock vid direkt eller indirekt kontakt med strömförande delar, givet inträffat fel i anläggningen. Elchocken är farlig i sig men också leda till sekundära risker såsom fall från höjd eller desorientering i rökfyllt utrymme. Risk för strömgenomgång via vattenstråle vid släckning har studerats i många länder, MSB har givit ut råd till Sveriges räddningstjänster i frågan (49).

Solcellsanläggningar kan även innebära risk för räddningstjänsten i fråga om nedfallande material, se även kap 6.5.

För att minska risken föreskriver många räddningstjänster möjlighet att elektriskt bryta bort stora delar av anläggningen med så kallade brandmansbrytare, vilka består av ett centralt beläget manöverdon (gärna vid brandlarmstablå eller annan central plats) samt en brytare placerad så nära solcellsmodulerna som möjligt (20), detta rekommenderas även i svensk elstandards handbok 457 (3).

För att vidare reducera risk och underlätta för räddningstjänst är information om anläggningen av vikt. Informationen ska bestå i märkning av anläggningen, beskrivning av anläggningen inklusive översiktsritningar för kablage och komponenter, åtgärder vid brand, kontakt till anläggningsskötare.

Bristande beskrivet i svenska normer är dock räddningstjänstens tillgång till takytor och begränsningen av storleken på sektioner av solcellspaneler, vilket beskrivs i högre utsträckning internationellt.

Energilager

En stor osäkerhet kopplad till brand i Litiumjonbatterier är risken för återantändning. Den vanligast förekommande insatsmetodiken innebär i dagsläget att kyla batteriet och närliggande ytor med vatten och således kontrollera och begränsa vidare spridning (30). Traditionellt släckarbete med vattenpåföring/kylning för att kontrollera branden har i vissa fall endast fördröjt brandförloppet, då batteriet återigen kan självantända efter insatsen avslutats (1) (30). I de fall där batterierna inte kan kylas eller branden kontrolleras kan metodiken därmed innebära att kyla närliggande installationer/batterier och låta det branddrabbade batteriet brinna ut helt. Problematiken med att låta batterierna brinna ut är att det förutsätter att batteriet kan brinna på ett säkert sätt där brand och brandgaser har en begränsad risk för påverkan av omgivningen. Anläggningar där batterilagret är placerat svåråtkomligt eller då batterierna är fastmonterade eller svåra att flytta försvårar möjligheterna att på ett enkelt sätt forsla ut skadade batterier ur byggnaden.

Produktionen av exempelvis vätefluorid medför att insats som omfattar litiumjon-batterier utgör en arbetsmiljörisk som är svår att hantera för räddningspersonalen. Nuvarande vägledning från MSB gällande insatsmetodik vid energilager avråder personalen att vistas i rum där batterierna finns, utom i de fall där livräddande insatser krävs. (30) Vid en placering av energilagret som mynnar mot det fria och i övrigt inte är åtkomligt från resten av byggnaden förväntas även räddningstjänstens insats underlättas, då livräddande och eftersökande insatser kan minimeras i anslutning till det största riskområdet.

Åtgärder som förväntas underlätta räddningstjänstens insats i ett energilagrar är:

- En placering som mynnar mot det fria och medger tillräckligt utrymme att manövrera utanför
- Skyltning av lagret med potentiella risker, förekomsten av (och typen av) släcksystem, placering av nödbrytare, vilken sorts batterier som förekommer samt omfattningen av dessa.
- Kontaktinformation till servicetekniker eller andra ansvariga personer som kan ha kännedom om installationen
- Möjlighet att fjärrbryta strömmen till energilagret, exempelvis placerad vid BFT eller annan relevant utrustning
- Tillgång till släckvatten via brandposter är säkerställd
- Samförvaring av annan utrustning eller installationer med batterierna i energilagret bör undvikas

Exempel på lämplig skyltning nedan från NFPA 855.

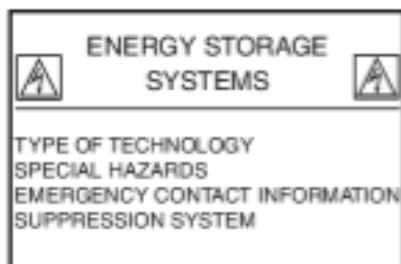


FIGURE 4.3.5.2 Example of ESS Signage.

Figur 7. Exempel på lämplig skyltning i anslutning till ett energilagrar.

Alternativa bränslen

För att en insats ska kunna ske på ett effektivt sätt i större garage som är belägna under mark, sammanbyggda med andra byggnader eller där det på annat sätt är svårt att lokalisera branden utifrån bör ett adresserbart brandlarm installeras. Normala insatsmetodiken vid en brand i ett garage är att ta vägen in som fordonen åker, om det istället går att nyttja utrymningsvägar/trapphus med tillträde på varje plan så underlättas rökdykarinsatsen markant. Detta ställer dock krav på att utrymningsvägar även är tillgängliga för räddningstjänsten, vilket bör kunna lösas genom att ha strömlöst upplåsta dörrar eller att dörrarna låser upp vid aktiverat brandlarm alternativt att nyckel placeras i brandförsvarstablån. Det bör även finnas insatsplaner i brandförsvarstablån.

En stor fråga gällande elbilar har varit förekomsten av vätefluorid (HF) i brandgaserna, studier har dock visat att mängden vätefluorid inte nödvändigtvis är högre än i bränder i bensin- eller dieseldrivna fordon. Som tidigare nämnts kan det också ta ca 30 minuter innan batteriet bidrar till brandförloppet, givet att branden inte startar i batteriet. Vidare binder sig vätefluoriden till ytor och inne i ett garage kommer stora mängder fastna på byggnadsdelar och andra bilar. En studie visade även att larmställen har testats med en högre koncentration än vad som erhöles vid provning och simulering av en brand i en elbil.

En annan osäkerhet som lyfts är en elbil som laddas. Tillförandet av energi kan medföra att branden återantänder eller att det finns risk för elchocker. För laddningspunkter bör det därför finnas en så kallad brandmannabrytare för att bryta strömmen till dessa.

I och med att riskerna skiljer sig beroende på drivmedel så finns det även osäkerhet gällande vilken strategi som räddningstjänsten ska använda vid insatsen. Det kan därför vara en fördel att märka upp platser för olika typer av bränslen så räddningstjänsten enkelt kan förstå vilken typ av uppgift de ställs inför. Storstockholms brandförsvarsförbund rekommenderar att laddningspunkter och elbilar placeras nära insatsvägen eller infarten för att underlätta insatsen och bortforsling av fordonet. På grund av den giftiga gasen som bildas vid brand föreslås även att elbilar inte placeras nära entréer eller

ventilationsintag till andra byggnader. Detta kan dock vara svårt att följa upp över tid. Det finns även frågan om hur funktionsnedsatta ska hanteras som behöver parkera nära entréer om de har svårt att gå.

Vid en brand i ett elfordon där batteriet har bidragit till brandförloppet kommer det krävas stora mängder vatten för att kyla batteriet och säkerställa att det inte återantänder. Omhändertagandet av kontaminerat släckvatten behöver därför kunna ske på ett korrekt sätt. Brunnar med uppsamlade slamavskiljande funktion bör därför installeras i erforderlig omfattning.

7 MÖJLIGHET TILL JUSTERAD KRAVNIVÅ

Detta avsnitt beskriver, baserat på föregående analys, möjligheterna till en justerad kravnivå i BBR. Tabell nedan redogör kortfattat om behov förväntas föreligga, vilket diskuteras vidare i nedanstående avsnitt. Delar som inte bedöms ligga inom ramarna för BBR kommenteras dock där ett behov har identifierats, med en hänvisning till relevant norm.

	Energilagring	Elproduktion	Alternativa bränslen
Aspekter	Behov av reglering/justerad kravnivå i BBR		
Möjlighet till utrymning vid brand	Ja	Nej	Nej
Skydd mot uppkomst av brand	Nej	Nej	Ja
Brandspridning mellan byggnader	Nej	Nej	Nej
Brandspridning inom byggnad	Ja	Ja	Nej
Bärförmåga vid brand	Nej	Ja	Ja
Brandtekniska installationer	Nej	Nej	Nej
Räddningstjänstens insats	Ja	Ja	Ja

Ett potentiellt problem som framförallt påträffats inom området solceller, men som även till stor del är gällande för energilager och laddningsinfrastruktur, är att när det saknas nationella övergripande krav vilka ansätter en lägsta nivå gällande projektering av dessa anläggningar, är det framförallt rekommendationerna från kommunal räddningstjänst som blir styrande. Studier har visat att dessa rekommendationer skiljer sig åt avsevärt beroende vilken räddningstjänst som utfärdat dem (2), vilket skapar olika förutsättningar för etablering och därigenom ojämna konkurrensvillkor mellan olika delar av landet.

7.1 MÖJLIGHET TILL UTRYMNING VID BRAND

Energilager där en brand riskerar ge upphov till utsläpp av giftiga gaser bör inte placeras i anslutning till, eller ingå i en utrymningsväg eller ett utrymme där personer stadigvarande vistas.

- Dörrar/öppningar och avskiljande konstruktion angränsande energilagret utförs täta mot brandgaser
- Placering av energilagret bör om möjligt vara i markplan och endast mynna mot det fria, där utrymnande personer inte förväntas passera
- Vid placering inom en byggnad där energilagret mynnar mot utrymme som ingår i eller leder till utrymningsväg föreslås anslutningen avskiljas via en luftsluss/brandsluss samt dörrstängare

7.2 SKYDD MOT UPPKOMST AV BRAND

För att minska risken för uppkomst av brand bör laddningspunkter förses med påkörningsskydd det ska även finnas tillräckligt med uttag för att undvika användandet av icke godkända uttag, förgrenings- och förlängningssladdar.

7.3 BRANDSPRIDNING INOM BYGGNAD

Byggnadsintegrerade solcellstak (BIPV) bör förläggas med brandteknisk avskiljning mot underliggande takkonstruktion, så att en brand inte obehindrat sprider sig ner i byggnadskonstruktionen. Det finns idag ingen svensk norm som föreskriver detta och Boverkets föreskrifter skulle därför kunna breddas inom detta område. Huruvida kravet skulle differentieras mellan olika typer av byggnader är inte självklart. Jämförelsevis placeras starkströmsanläggningar i egen brandcell oberoende av byggnadsklass, varför rekommendationen blir densamma för solcellsanläggningar.

Skydd mot spridning av brand i yttervägg är reglerad i BBR 5:551. Detta avsnitt i BBR bedöms även tillämpbart på solcellsintegrerade fasadsystem, BIPV. Ytterligare reglering torde in vara nödvändigt.

Krav på obrännbar taktäckning i som lägst A2-s1,d0 bedöms ge god effekt och utgöra skälig skyddsnivå för BAPV. Det är därför rimligt att kravställa obrännbar taktäckning, åtminstone under solcellspaneler och vid kopplingspunkter (såsom kontakter och kopplingsboxar) i anslutning till taktäckningen. Kravet har i dagsläget en ostadig grund bland svenska normer, då det endast vilar på lokala rekommendationer från vissa räddningstjänster. Kravet förekommer bland 7 av 21 kontrollerade räddningstjänster enligt (2), och bör därför framgå i Boverkets föreskrifter.

Kombinationen BAPV på en takkonstruktion isolerad med brännbar isolering är en riskkonstruktion då både sannolikheten för uppkomst av brand och konsekvensen av brand ökar, vilket nämnts i tidigare avsnitt. Sådan konstruktion bör ej tillåtas utan riskanalys med erforderliga åtgärder, såsom exempelvis brandavskiljning. Det finns idag ingen reglering av denna konstruktion i svenskt regelverk.

För att förhindra spridning av brand över brandcellsavskiljande konstruktioner är det rimligt att kravställa att brännbara komponenter (såsom kablage) inte förläggs över sådana konstruktioner samt avstånd mellan moduler och brandcellsavskiljande konstruktioner. Detta kan uppnås med en referens till SEK 457 (3).

Energilager

Energilager med en kapacitet överstigande exempelvis 20 kWh föreslås regleras avseende brandteknisk klass. Krav gällande integritet och isolering för skydd mot brand och brandgasspridning bör som en lägsta nivå motsvara byggnadens övriga skyddsbehov. Även en brand som startar på annan plats i byggnaden och sprids till energilagret kan innebära ett mycket kraftigare brandförlopp och medföra ytterligare risker.

Dörrar till energilagret bör utföras täta mot brandgaser. Om utrymmet för energilager placeras så det angränsar mot eller leder till en utrymningsväg föreslås utrymmet förses med en luftsluss/brandsluss. Vid placering av ett energilager inom en byggnad bör en placering i markplan som mynnar mot det fria alltid eftersträvas.

Ingående material, beklädnader och ytskikt inom ett utrymme avsett för energilager bör utformas för att ge ett minimalt bidrag till brandens utveckling och bör endast kunna avge en mycket begränsad mängd brandgaser. En brand som uppstår i ett batteri eller batterirack kan snabbt spridas till närliggande batterier och annan utrustning. Att reglera ytskiktens potentiella bidrag till brandförloppet inom utrymmet tjänar därför till att försvåra brandspridning och temperaturökning.

- Ytskikt på väggar och tak utförs i lägst klass B-s1,d0
- Ytskikt på golv utförs i lägst klass A1_{fl}.

Utöver ovanstående bör placeringen av varje batterirack ske med ett skyddsavstånd till annan utrustning och övriga batterirack. Förvaring av brännbart material bör undvikas inom energilagret.

Utrymmen för energilager bör försees med möjlighet till brandgasventilation. Storleken på ventilationsöppningar eller fläktkapacitet bör bestämmas med hänsyn till utrymmets volym och energilagrets kapacitet och/eller mängd/typ av batteri.

7.4 BRANDTEKNISKA INSTALLATIONER

Energilager

Vid installation av vattensprinkler bör omhändertagande av kontaminerat släckvatten hanteras.

Vid installation av småskalig energilagring i en-/tvåbostadshus bör även brandvarnare monteras i anslutning till energilagret.

Ett system (ex. BMS) för övervakning av batteriernas tillstånd med möjlighet att förebygga kritiska fel i systemet bör finnas. Larm ska kunna skickas till ständigt bemannad plats i händelse av detekterade (kritiska) fel. Kravställning för denna typen av installationer bedöms inte falla inom ramarna för BBR men bör regleras av annan relevant myndighet som t.ex. Elsäkerhetsverket.

Alternativa bränslen

I större garage där det är svårt att lokalisera en brand bör försees med ett adresserbart brandlarm för att underlätta en insats. I garage som är sammanbyggda med andra byggnader bör även nyttan med vattensprinkler ses över.

7.5 BÄRFÖRMÅGA VID BRAND

Solceller

Det finns i dagsläget inga exempel i EKS 11 avd. C vilka anger brandsäkerhetsklass för byggnadsdelar vilka riskerar att kollapsa och rasa ner vid brandpåverkan. Det rekommenderas att ett generellt exempel läggs till i tabell C-3, C-4, och C-5 som täcker in nedfall av delar från solcellsanläggning.

Alternativa bränslen

På grund av de nya risker som det innebär vid en ökad mängd gasdrivna fordon bör garaget utformas så att tryckupbyggnaden begränsas. Detta bör göras genom att kravställa en viss öppningsgrad i fasaden eller att brandcellen har en viss volym. Alternativt att bärande byggnadsdelar dimensioneras för att klara en tryckkärlsexplosion.

7.6 RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATS

Solceller

Möjligheten för räddningstjänsten att bedriva en effektiv insats regleras främst i dagsläget i de lokala rekommendationerna från räddningstjänst. Detta innebär ett problem då kravställningen skiljer sig över landet, vilket beskrivs i kap 7. Till viss del överlappar dessa rekommendationer med SEK 457, men det bedöms ändå fattas stöd och ytterligare reglering enligt nedan borde därför införas.

- Maximal storlek på sektioner av solcellspaneler och avstånd mellan dessa.
- Fria ytor för räddningstjänst att förflytta sig över.

På detta område kan riktlinjer från CFPA-E (46) utgöra en förlaga. Angående nödbrytare och märkning/information är detta beskrivet i SEK 457.

Energilager

Information till räddningstjänsten bedöms vara en viktig åtgärd som kan utföras utan större kostnader. Skyltning och markering av utrymmet som utgör energilager bör förekomma både i byggnadens dokumentation och fysiskt i anslutning till utrymmet. En sammanställning av åtgärder som förväntas underlätta räddningstjänstens insats vid ett energilager är:

- En placering som mynnar mot det fria och medger tillräckligt utrymme att manövrera utanför
- Skyltning av lagret med potentiella risker, förekomsten av (och typen av) släcksystem, placering av nödbrytare, vilken sorts batterier som förekommer samt omfattningen av dessa.
- Kontaktinformation till servicetekniker eller andra ansvariga personer som kan ha kännedom om installationen
- Möjlighet att fjärrbryta strömmen till energilagret, exempelvis placerad vid BFT eller annan relevant utrustning i byggnaden
- Säkerställd tillgång till släckvatten

Alternativa bränslen

Insatsvägar behöver finnas på samtliga våningsplan och kan utgöras av utrymningsvägar. Dörrar i fasad till trapphusen behöver vara tillgängliga för räddningstjänsten. I garage som dessutom är placerade under mark eller som är sammanbyggda med andra byggnader bör föras med ett brandlarm med adresserbara rökdetektorer för att underlätta lokaliseringen av branden och på så vis underlätta insatsen.

Ett ökat fokus behöver ställas på omhändertagande av släckvatten. I och med att det krävs stora mängder vatten för att kyla batteriet i ett eldrivet fordon där termisk rusning uppstått kommer brunnarna behöva kunna ta om hand ett ökat flöde. Brunnarna bör också ha en uppsamlade slamavskiljande funktion för att undvika att kontaminerat släckvatten kommer ut i naturen.

Det bör även finnas en så kallad brandmannabrytare till samtliga laddningspunkter som kan bryta strömmen och på så sätt minska risken för elchocker och ta bort den tillkommande energin. Brytaren bör vara väl skyltad och placeras förslagsvis vid eventuell brandförvarstablå om detta ej finns bör samråd ske med räddningstjänst om en bra placering.

8 SLUTSATS

Behovet att reglera förekomsten av energilager i byggnader bedöms föreligga. Ett energilager medför en ökad konsekvens i händelse av brand och kan medföra både ökad risk för brandspridning inom byggnaden samt en större risk för utrymmande personer och räddningstjänst. Regleringen som föreslås utgörs av en avskild placering av energilagret inom byggnaden, samt en brandteknisk avskiljning då energilagrets storlek/kapacitet överstiger (exempelvis) 20 kWh. Utrymmet ska vara försett med möjlighet till brandgasventilering. Information till räddningstjänst i form av skyltning bör finnas i anslutning till utrymmet.

Det finns ett behov av att införa en heltäckande nationell reglering av solcellsanläggningar på byggnader. Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar bör förläggas med brandteknisk avskiljning till övrig byggnadskonstruktion. Byggnadsapplikerade solcellanläggningar bör förläggas på obrännbar taktäckning. EKS 11 avd. C bör kompletteras med exempel på brandsäkerhetsklass för byggnadsdelar vilka riskerar att rasa ner vid brandpåverkan. För att begränsa konsekvens av brand och möjliggöra effektiva släckinsatser bör det införas bestämmelser för maximal storlek på solcellssektioner och minsta avstånd mellan dessa sektioner inbördes samt till brandcellsavskiljande konstruktioner. Det bör även regleras om minsta yta avsedd för räddningstjänst.

Risken med alternativa bränslen i garage medför andra risker än vad som funnits tidigare. Studier visar dock på att risknivån inte nödvändigtvis är högre än tidigare. Men då riskerna är annorlunda krävs en viss justering av kraven. Kraven för garage är idag redan relativt höga med syftet att minska konsekvensen av en brand och den största risken som identifierats är en tryckkärlsexplosion eller en explosion från eldrivna fordon. Med den ökande mängden bilar som drivs på gas och el bör därför garage dimensioneras på ett sådant sätt så att tryckuppbyggnaden begränsas. Studier visar att det inte finns något samband mellan laddning av elfordon och uppkomst av brand, givet att laddning sker på ett korrekt sätt och utrustningen är hel. Laddningspunkter behöver därför förses med påkörningsskydd och det behöver även finnas tillräckligt med godkända uttag för att undvika att förlängningssladdar eller icke godkända uttag används.

9 REFERENSER

1. Bisschop, Roeland, Willstrand, Ola och Rosengren, Max. *Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events*. Borås : Fire Technology, 56, 2671–2694, 2020.
2. Spångberg, Ludvig. *Brandsäkerhet i solcellsinstallationer*. Luleå : LTU, 2020.
3. *SEK Handbok 457 utgåva 1 Solceller - Råd och regler för elinstallation*. u.o. : SEK Svensk elstandard, 2019.
4. Holgersson, Lina. *Vägledning Laddningsplatser för el- och hybridbilar*. Stockholm : Storstockholms brandförsvär, 2019.
5. Bergholm, Ulf. *Sammanställning av bränder i elfordon och eltransportmedel år 2018-2020*. Karlstad : Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2021.
6. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Bränder i bilar. *Myndigheten för samhällsskydd och beredskap*. [Online] den 06 10 2021. [Citat: den 06 10 2021.] <https://ida.msb.se/ida2#page=41a6e4ed-9be6-4251-b855-c5416b011085>.
7. Brodin, Emil. *Förenklad olycksutredning Explosion, gasdriven personbil*. Sundsvall : Medelpads Räddningstjänstförbund, 2017.
8. Börjesson, Christian och Bergh, Linda. Explosion i garage - bil började brinna. *Expressen*. [Online] den 22 04 2021. [Citat: den 12 08 2021.] <https://www.expressen.se/gt/explosion-i-frolunda-brand-i-garage/>.
9. Olleper, Hemlin. *Sammanställning av incidenter i svenska solelanläggningar*. u.o. : RISE Research Institutes of Sweden AB, 2019.
10. Andersson, et al. *Innovativa elsystem i byggnader – konsekvenser för brandsäkerhet*. u.o. : Brandforsk, 2019.
11. CFA. [Online] [Citat: den 26 Augusti 2021.] <https://news.cfa.vic.gov.au/firefighters-bring-large-battery-fire-near-geelong-under-control>.
12. CNBC. [Online] [Citat: den 26 Augusti 2021.] <https://www.cnbc.com/2021/08/05/tesla-megapack-fire-highlights-early-stage-issues-with-big-batteries.html>.
13. Institute of energy storage and novel electric technology. *Accident analysis of Beijing Jimei Dahongmen 25 MWh DC solar-storage-charging integrated station project*. u.o. : China Electric Power Technology Co., Ltd., 2021.
14. Spector, Julian. *The Arizona Battery Explosion Is Changing Conventional Wisdom on Safety*. [<https://www.greentechmedia.com/articles/read/arizona-battery-explosion-conventional-wisdom-safety>] 2019.
15. rbb24. [Online] den 18 07 2021. [Citat: den 07 09 2021.] <https://www.rbb24.de/studiofrankfurt/panorama/2021/07/brand-solarspeicher-flugplatz-neuhardenberg.html>.
16. Penn, David Yaffe-Bellany and Ivan. New York times. [Online] den 22 08 2019. [Citat: den 28 09 2021.] <https://www.nytimes.com/2019/08/20/business/walmart-tesla-lawsuit-fires.html>.
17. Aitken, Peter. Foxnews. [Online] den 10 06 2021. [Citat: den 28 09 2021.] <https://www.foxnews.com/us/amazon-warehouse-fire-maryland-solar-panels>.
18. *Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization*. u.o. : Tüv Rheinland, Översättning från 2018.

19. Wu, Zuzu. *A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications*. 2020.
20. *Råd och anvisning 122 Projektering och installation av solcellsanläggningar och batterilagersystem*. Göteborg : Räddningstjänsten Storgöteborg, 2019.
21. *A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies*. Wang, Qingsong, o.a. u.o. : Progress in Energy and Combustion Science, 2019, Vol. 73, (95–131).
22. Ditch, Benjamin och Zeng, Dong. *Fire Hazard of Lithium-ion Battery Energy Storage Systems: 1. Module to Rack-scale Fire Tests*. u.o. : Fire Technology, Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature, 2020.
23. *Progress on the research of fire behavior and fire protection of lithium ion battery*. Sun, Jinhua, Mao, Binbin och Wang, Qingsong. u.o. : Fire Safety Journal, 2021, Vol. 120. 103119.
24. *Lower explosion limit of the vented gases from Li-ion batteries thermal runaway in high temperature condition*. Chen, Shichen, o.a. u.o. : Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, Vol. Volume 63. 103992.
25. Bisschop, Roeland. <https://www.firescienceshow.com/>. 005 - Battery fires with Roeland Bisschop. u.o. : Wojciech Wegrzynski, den 16 Juni 2021.
26. *Risk management over the life cycle of lithium-ion batteries in electric vehicles*. Christensen, Paul A., o.a. 148, u.o. : Renewable and Sustainable Energy Reviews , 2021. 111240.
27. Larsson, Fredrik. *Lithium-ion Battery Safety, Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation*. Göteborg : Chalmers University of Technology, 2017.
28. Chen, Haodong, o.a. *An experimental study on thermal runaway characteristics of lithium-ion batteries with high specific energy and prediction of heat release rate* . u.o. : Journal of Power Sources 472, 2020. 228585.
29. Ping, Ping, o.a. *Study of the fire behavior of high-energy lithium-ion batteries with full-scale burning test*. u.o. : Journal of Power Sources 285, 2015.
30. Spearpoint, M.J., o.a. *Fire load energy densities for risk-based design of car parking buildings*. u.o. : Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 2015.
31. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). *Vägledning, räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer*. 2020. MSB1615.
32. Elsäkerhetsverket. *Handbok för innehavare av elanläggningar*. 2021.
33. Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps författningssamling. *ADR-S 2021. Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng*. 2021. MSB1618.
34. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). *Först på plats vid händelser med farliga ämnen CBRNE*. 2019. 978-91-7383-960-0.
35. Gehandler, J., Karlsson, P. och Vylund, L. *Risks associated with alternative fuels in road tunnels and underground garages* . Borås : RISE, 2017.
36. Brandt, A. W. och Glansberg, K. *Charging of electric cars in parking garages*. Trondheim : RISE, 2020.
37. *A lower risk of fire with electric cars? RISE*. [Online] RISE, den 19 02 2020. [Citat: den 12 08 2021.] <https://www.ri.se/en/our-stories/a-lower-risk-of-fire-with-electric-cars>.

38. Willstrand, Ola, o.a. *Toxic gases from Fires in Electric Vehicles*. Borås : RISE, 2020.
39. BERGROTH, E. & TORSTENSSON, G. *Solar Photovoltaic Fire Risks: FE-analysis of fire exposed solar photovoltaic systems and comparison of current legislation and recommendations from different countries*. Luleå : LTU, 2019.
40. National Fire Protection Association (NFPA). *Standard 855 for Energy Storage Systems*. 2020.
41. FM Global. *Property loss prevention data sheets 5-33, Electrical energy storage systems*. 2017, reviderad 2020.
42. Motor Biscuit. *Fire Danger: Underground parking Lot Bans Electric Vehicles*. [Online] Motor Biscuit, den 21 02 2021. [Citat: den 12 08 2021.] <https://www.motorbiscuit.com/worldwide-there-have-been-an-increasing-string-of-ev-fires/>.
43. DNV GL. *Considerations for ESS Fire Safety*. 2017.
44. Elstandard, Svensk. *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC*. u.o. : Svensk Elstandard, 2011.
45. *NFPA 70 National Electrical Code*. u.o. : National fire protection agency, 2020.
46. *PV ON BUILDINGS AND FIRE SAFETY: RECOMMENDATION FOR DRRG SOLAR PV SYSTEMS*. u.o. : Dubai Electricity & Water Authority, 2015.
47. *Analysis of Fire Risk Associated with Photovoltaic Power Generation System*. al., Zhao et. u.o. : Advances in Civil Engineering, 2018.
48. *CFPA-E Guideline No 37:2018 F Photovoltaic systems:Recommendations on loss Prevention*. u.o. : CFPA Europe, 2018.
49. NYHOLM, EMIL. *The role of Swedish single-family dwellings in the electricity system*. u.o. : Chalmers university of technology, 2016.
50. EON. *Batteripaket till solceller*. [Online] den 21 10 2021. <https://www.eon.se/solceller/solcellspaket/solcells batteri>.
51. UL. *UL 9540A Installation Level Tests with Outdoor Lithium-ion Energy Storage System Mockups*. 2021.
52. Yuan, Liming, o.a. *Experimental study on thermal runaway and vented gases of lithium-ion cells*. u.o. : Process Safety and Environmental 144, 2020.
53. *Råd - Räddningsinsats i samband med brand i solcellsanläggning*. u.o. : Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), 2014.

10 BILAGOR

Bilaga A – Underlag till enkätundersökning

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 48 700 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB
Ågatan 7
58222 Linköping
Besök: Ågatan 7

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
wsp.com



NY MODELL FÖR AVSTÅND TILL UTRYMNINGSVÄG

MÖJLIGHETERNAS BYGGREGLER

2022-05-10

NY MODELL FÖR AVSTÅND TILL UTRYMNINGSVÄG

Möjligheternas byggregler

KUND

Boverket

KONSULT

WSP Brand & Risk

Birger Svensson väg 28

432 40 Varberg

Besök: Ågatan 7

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Erik Lundström

010 7228575

erik.lundstrom@wsp.com

UPPDRAGSNAMN

Ny modell för avstånd till
utrymningsväg

UPPDRAGSNUMMER

10337528

FÖRFATTARE

Erik Lundström

Sebastian Levin

DATUM

2022-04-10

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av

Daniel Rosberg

INNEHÅLL

1	INLEDNING	4
1.1	BAKGRUND	4
1.2	FÖRUTSÄTTNINGAR	4
2	METOD	4
3	FÖRSLAGET I KORTHET	5
4	ANALYS	5
4.1	BERÄKNING AV GÅNGAVSTÅND	5
4.2	KRAV PÅ GÅNGAVSTÅND	7
4.2.1	Gångavstånd till utrymningsdörr	8
4.2.2	Utrymning från/genom fönster	8
4.2.3	Sammanfallande gångavstånd	8
4.3	RELEVANTA FAKTORER	9
4.3.1	Gångavstånd vid risk för mycket snabb initial brandspridning	9
4.3.2	Gångavstånd vid låg risk för snabb brandspridning och med god överblickbarhet	10
4.3.3	Gångavstånd vid sprinkler	10
4.4	UTRYMNINGSVÄGARS OBEROENDE (5 METERS-REGELN)	11
4.5	NIVÅSKILLNADER	15
4.6	FAST OCH LÖS INREDNING	16
4.7	ÖVRIGA OBSERVATIONER	17
4.7.1	Koppling till övriga föreskrifter	17
5	DISKUSSION	18
6	SLUTSATS	19
7	REFERENSER	20

BILAGA 1 GRANSKNINGSTABELL

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Boverket arbetar med att göra en översyn av verkets regler i syfte att det ska gå snabbare att bygga, byggandet behöver bli mer kostnadseffektivt och företag i byggsektorn ska få större möjlighet att hitta nya innovativa lösningar som ökar effektiviteten i byggandet. I samband med översynen av brandskyddsavsnittet och anpassningen till den nya strukturen görs flertalet förändringar av hur brandskyddet regleras i föreskrifterna där avsikten fortfarande är att reglerna ska ge samma säkerhetsnivå som tidigare.

Som del i arbetet har Boverket uppdragit WSP att utreda de nya bestämmelserna beträffande gångavstånd med målet att ge förslag på förbättringar i Boverkets utkast och att utredningen ska fungera som underlag till konsekvensutredningen av regelförändringen.

1.2 FÖRUTSÄTTNINGAR

Underlag för utredningen utgörs av Boverkets utkast till föreskrifter för möjligheten till utrymning vid brand, Möjligheternas byggregler – delprojekt brandskydd daterat 2022-02-23 med dnr 31/2022.

I enlighet med uppdraget omfattar granskningen följande föreskrifter i det aktuella utkastet:

- 7PAD §
- 7PAE §
- 7PAF §
- 7PAG §

Utöver de enskilda paragraferna omfattas även kopplad författningskommentar med beskrivning av föreskriften, konsekvensbeskrivning och bakomliggande motiv.

Granskningen av 7PAD-7PAE har gjorts mot bakgrund av kraven i BBR 29, det vill säga inte mot utkastet i övrigt.

I utkastet finns inga krav för Vk0, Vk5C, Vk5D eller Vk6 och därav har inga jämförelser gjorts mot dagens krav för dessa verksamhetsklasser.

2 METOD

Granskning av Boverkets "Utkast till föreskrifter för möjligheten till utrymning vid brand" görs genom analys av förslaget till föreskrifter och tillhörande författningskommentarer (konsekvensutredning). Parallellt med detta görs en jämförelse med kraven och i förekommande fall det redovisade syftet med nuvarande regler.

I analysen tillämpas de reglerna i utkastet på olika planlösningar och jämförs med motsvarande tillämpning av dagens regler. Beaktade planlösningar inkluderar både extremfall och verkliga planlösningar. Tillämpning på ytterligheter (icke nödvändigtvis vanligt förekommande byggnader/planlösningar) görs i syfte att identifiera de mekanismer som utgör de största skillnaderna mot nuvarande kravbild. Vid tillämpning av föreskrifterna på mer vanligt förekommande planlösningar är syftet att identifiera de mer praktiska konsekvenserna.

Då uppdragets omfattning är begränsad har endast en delmängd av studerade planlösningar presenteras i denna rapporten och inom ramen för uppdraget har det inte varit möjligt att studera alla tänkbara planlösningar för de olika verksamhetsklasserna. De schablonfall som redovisas i rapporten

bedöms dock ge en tydlig indikation om för vilka utformningar som de största skillnaderna mot dagens krav föreligger.

Efter genomförd analys presenteras slutsatser om påverkade byggnads- och verksamhetstyper samt förslag på justeringar av Boverkets utkast. Slutsatserna grundar sig förutom på analysen även i en strukturerad genomgång och tolkning av formuleringar i Boverkets utkast. Detaljerade kommentarer på enskilda stycken eller begrepp i Boverkets förslag redovisas i bilaga 1.

3 FÖRSLAGET I KORTHET

De aktuella ändringarna i 7PAD-7PAG §§ i relation till dagens krav kan summeras till följande punkter.

- Förändrade begrepp – Gångavstånd mäts till utrymningsdörr respektive utrymningsöppning
- Ny modell för gångavståndsberäkning (separat reglering av totalt och sammanfallande avstånd)
- Ny modell för redovisning av krav på gångavstånd för olika verksamhetsklasser
- Anpassning av gångavståndsberäkningar utifrån brandspridningshastighet, överblickbarhet och automatisk vattensprinkleranläggning
- Ny beräkningsmetod för gångavstånd vid nivåskillnader (trappor, ramper o.dyl.)
- Precisering av när utrymningsvägar ska räknas som sammanfallande (5 meters-regeln)
- Borttaget krav på rätvinklig mätning av gångavstånd

Utöver förändringarna i föreskriften finns tillhörande författningskommentarer till alla delar som bl.a. preciserar kraven och förtydligar syftena med dem.

De förändringar som bedömts vara mest relevanta av dessa analyseras närmare i kapitel 4. Där lyfts även vissa tolkningssvårigheter eller inneboende problem med befintliga regler som Boverket uppmanas att beakta i det fortsatta arbetet med den nya författningen.

4 ANALYS

4.1 BERÄKNING AV GÅNGAVSTÅND

Boverkets förslag omfattar en delvis ny modell för beräkning av gångavstånd. I dagens BBR regleras endast avståndet till utrymningsväg i absoluta tal och risken kopplad till sammanfallande gångavstånd hanteras implicit genom att det totala gångavståndet till utrymningsväg reduceras. Detta görs genom att sammanfallande väg räknas upp med en faktor 1,5 eller 2 beroende på verksamhetsklass.

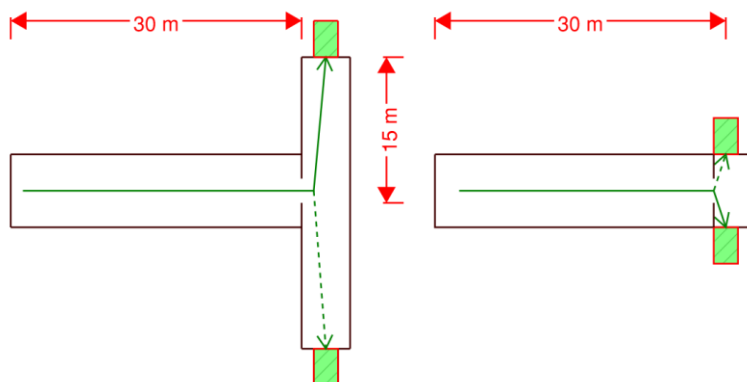
Den nya modellen i Boverkets utkast innebär att gångavstånd till utrymningsväg (utrymningsdörr/utrymningsöppning) respektive sammanfallande gångavstånd regleras separat. Det vill säga, av det totala gångavståndet får x meter vara sammanfallande, exempelvis max 45 m gångavstånd till utrymningsväg varav max 30 m sammanfallande väg. Avsikten med att särreglera totalt gångavstånd och gångavstånd i sammanfallande väg är att det är två olika risker som ska hanteras, dels att begränsa den totala förflyttningen, dels begränsa risken att bli instängd av branden.¹

Denna typ av reglering används i flera andra länder, bl.a. i USA [1] [2] och i Australien [3]. I det australiensiska regelverket, BCA, beskrivs denna sträcka som *"a point from which travel in different directions to 2 exits is available"*, tidigare *"distance to a point of choice"*. Med den föreslagna modellen måste projektören dels kontrolleras att det totala gångavståndet till utrymningsvägen inte överskrids, dels kontrollera att den sammanfallande sträckan inte överskrids. Till viss del kan detta förenkla beräkningsgången eftersom det sannolikt kommer upplevas enklare att kontrollera

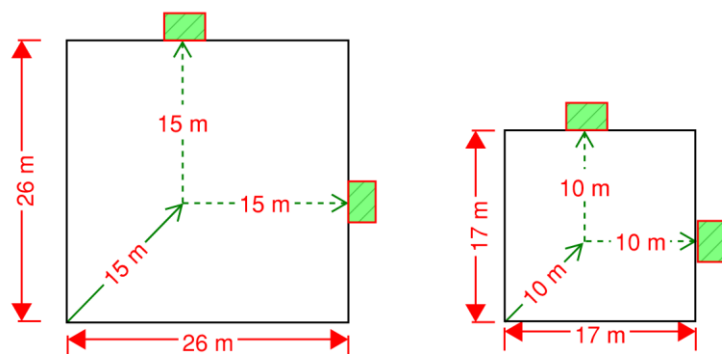
¹ Information från möte mellan WSP och Boverket 2022-04-06

avståndskomponenterna separat utan att blanda in multiplikationsfaktorer för en delmängd av sträckan.

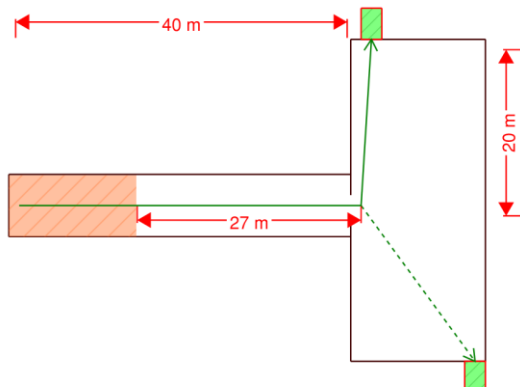
Utgångspunkten i översynen av reglerna är att kravnivån som följer av förslaget i huvudsak inte ska ändras jämfört med nuvarande regler [4]. Med angivna gångavståndsbegränsningar enligt §§ 7PAD-7PAE innebär dock den nya modellen generellt utökade möjligheter att bygga djupare nischer eftersom det totala gångavståndet inte belastas av att delar av vägen är sammanfallande, vilket dagens modell gör, se exempel nedan.



Figur 1 Möjlig utformning av djup nisch i lokal i Vk1 med nya förslaget (t.v.), Med beräkning enligt gällande regler (t.h.) begränsas det totala avståndet till ca 30 m eftersom nästan hela vägen är sammanfallande.



Figur 2 Möjlig utformning av lokal i Vk2A/B med de nya reglerna (t.v.) respektive enligt gällande regler (t.h.). Med de nya reglerna kan lokalen bli drygt dubbel så stor (676 m^2 istället för 289 m^2) eftersom gångavståndsreduktionen med faktor 2 i sammanfallande väg enligt dagens regler signifikant reducerar det totala gångavståndet.



Figur 3 Möjlig utformning av nisch för sprinklad lokal i Vk1. Orange yta representerar den extra sträcka som tillåts enligt de nya förslaget.

4.2 KRAV PÅ GÅNGAVSTÅND

10337528 • Ny modell för avstånd till utrymningsväg | 7

4.2.1 Gångavstånd till utrymningsdörr

I 7PAD § anges det maximala avståndet till utrymningsdörr eller alternativ utrymningsdörr. En jämförelse med kraven i dagens BBR redovisas i Tabell 1.

Tabell 1 Maximalt gångavstånd till utrymningsdörr

Verksamhetsklass	Maximalt gångavstånd [m]		Kommentar
	BBR 29*	BBR XX	
Vk1	45	45	
Vk2A	30	30	
Vk2A - garage	45 / 30	45 / 30	45 m förutsätter god överblick, annars 30 m. Även i dagens regler har gångavstånd om 45 m vanligen bedömts ligga inom ramen för förenklad dimensionering då garage normalt har god överblickbarhet och brister i lokalkännedom delvis kompenseras genom kravet på belysta/genomlysta vägledande markeringar.
Vk2B	30	30	
Vk2C	15	20	5 m längre gångavstånd tillåts i Vk2C med de nya reglerna
Vk3A	45	45	
Vk3B	45	45	
Vk4	30	30	
Vk5A	30	30	
Vk5B	45	45	

* Kraven för BBR 29 baserar här på exemplen i Tabell 5:331.

4.2.2 Utrymning från/genom fönster

För de fall fönsterutrymning är en möjlig utrymningsväg gäller enligt dagens krav att det maximala gångavståndet (till fönster) bör minskas till en tredjedel. I det nya förslaget har begreppet *utrymningsöppning* införts som samlingsbegrepp för fönster, lucka, balkong eller liknande avsedd att passera genom vid utrymning (5 §). Kraven på gångavstånd till en sådan utrymningsöppning är dock likvärdiga med dagens krav, d.v.s. gångavståndet till utrymningsöppningen får vara maximalt en tredjedel av avståndet som gäller för verksamhetsklassen (§ 7PAD).

Nytt är att ett fönster för räddningstjänstassisterad utrymning inte kan tillgodoräknas i beräkningen av gångavstånd till utrymningsväg. Motivet till detta är att avstånd till en utrymningsöppning inte är relevant med hänsyn till de risker som föreskriften avser att hantera.

Detta får till följd att gångavstånd till utrymningsdörr i en bostadslägenhet i Vk3A, vars utrymningsstrategi baseras på utrymning till trapphus samt räddningstjänstassisterad utrymning via fönster, alltid ska räknas som sammanfallande. Med dagens regler är det teoretiskt möjligt att bygga större lägenheter eftersom gångavståndet kan uppgå till 45 m till dörren förutsatt att det inte sammanfaller med gångvägen till fönstret. I praktiken bedöms dock denna förändring inte ha någon reell påverkan på möjliga utformningar då lokalens storlek (Vk1) och personantal (både Vk1 och 3A) ändå begränsas genom 5:323.

4.2.3 Sammanfallande gångavstånd

Krav på maximala sammanfallande gångavstånd anges i 7PAE §. En jämförelse med kraven i dagens BBR redovisas i

Tabell 2. Eftersom sammanfallande gångväg till utrymningsväg inte är explicit begränsad i dagens regler redovisas istället maximalt avstånd för fallet att hela vägen är sammanfallande.

För Vk1 och 3 får det totala gångavståndet även fortsatt uppgå till 45 meter i normalfallet. Ihop med att sammanfallande gångavstånd får uppgå till 30 meter, innebär det att gångavståndet i extremfallet kan bli 15 meter längre jämfört med nuvarande byggregler.

För Vk2A, 2B, 3, 4, 5A verksamheter där maximalt gångavstånd även fortsatt får uppgå till 30 meter och sammanfallande gångavstånd kan uppgå till 15 meter blir den teoretiska maximala differensen ca 8,6 meter.

För Vk2C är förslaget att gångavståndet får uppgå till 20 meter varav 10 meter får vara sammanfallande, detta utgör en förlängning av tillåtet gångavstånd relativt nuvarande byggregler. Den teoretiska maximala differensen uppgår till ca 7,5 meter.

Tabell 2 Maximalt avstånd i sammanfallande väg

Verksamhetsklass	Maximalt gångavstånd [m]		Kommentar
	BBR 29*	BBR XX	
Vk1	30 (30x1,5=45)	30	
Vk2A	15 (15x2=30)	15	
Vk2A - garage	22,5 (22,5x2=45) / 15 (15x2=30)	30 / 15	I garage med god överblick får 7,5 m djupare nischer byggas med de nya reglerna
Vk2B	15 (15x2=30)	15	
Vk2C	7,5 (7,5x2=15)	10	Nischer får byggas 2,5 m djupare i Vk2C med de nya reglerna
Vk3A	30 (30x1,5 =45)	30	
Vk3B	30 (30x1,5 =45)	30	
Vk4	15 (15x2=30)	15	
Vk5A	15 (15x2=30)	15	
Vk5B	22,5 (22,5x2=45)	30	Nischer får byggas 7,5 m djupare i Vk5B med de nya reglerna

* Kraven för BBR 29 baserar här på exemplen i Tabell 5:331.

4.3 RELEVANTA FAKTORER

Likt dagens regler finns ett antal faktorer kopplade till byggnadens och verksamhetens förutsättningar som styr vilka gångavstånd som tillåts. Detta inkluderar

- Brandspridningshastighet
- Överblickbarhet
- Automatisk vattensprinkleranläggning

Hur hänsyn ska eller får tas till dessa faktorer beskrivs i § 7PAD respektive 7PAF. Vad gäller faktorerna i § 7PAD stycke 3-5 så får dessa inte kombineras med varandra. Exempelvis får inte gångavståndet i garage i Vk2A som har god överblickbarhet utökas med mer än en tredjedel även om brandspridningshastigheten bedöms vara liten.

4.3.1 Gångavstånd vid risk för mycket snabb initial brandspridning

Om verksamheten sannolikt kan medföra mycket snabb initial brandspridning ska avstånden i 7PAD § avstånd minskas med en tredjedel. En motsvarande regel saknas i dagens krav men de verksamheter som enligt författningskommentaren kan tänkas ha förutsättningar för mycket snabb initial brandspridning är sådana som i dagens regler sorterar under Vk6 och därmed har höga krav på gångavstånd till utrymningsvägen.

Principiellt bedöms kravet om reducerade gångavstånd kopplad till brandspridningsrisken snarare än den enskilda verksamhetsklassen vara en bra komplettering. Det är dock oklart hur reglerna för Vk6 kommer att se ut och om det finns verksamheter som kan komma att sortera under andra verksamhetsklasser än Vk6 men ändå omfattas av risken för mycket snabb initial brandspridning. Det är därför svårt att uttala sig om konsekvenserna av den nya regleringen.

Observera dock att reduktionen av gångavstånden till en tredjedel enbart avser 7PAD § och inte sammanfallande gångavstånden i 7PAE §. En lokal som tillhör Vk6 i dagens regler får därmed ha max 10 m sammanfallande gångavstånd till utrymningsväg medan en lokal som omfattas av regleringen i utkastet får ha 15 m sammanfallande gångavstånd.

4.3.2 Gångavstånd vid låg risk för snabb brandspridning och med god överblickbarhet

För verksamheter som sannolikt inte kan medföra snabb initial brandspridning och där överblickbarheten är god tillåts att avstånden i 7PAD § ökas med en tredjedel. Resultaterande gångavstånd blir principiellt desamma som anges i Tabell 3 med skillnaden att även avstånden i Vk5B (teoretiskt) kan förlängas. Baserat på författningskommentaren till 7PAD § kan dock verksamheter som inte kan medföra snabb initial brandspridning troligen bara förekomma i Vk1 och Vk2.

4.3.3 Gångavstånd vid sprinkler

För verksamheter som skyddas av automatisk vattensprinkleranläggning bibehålls möjligheten till längre gångavstånd till utrymningsväg. Gångavstånd till utrymningsväg får generellt utökas med en tredjedel och det får även avståndet i sammanfallande väg göras. För Vk2C får istället avståndet dubbleras. Det senare innebär en viss lättnad mot tidigare eftersom ett maximalt avstånd om upp till 40 m medges med bara ett tekniskt byte.

Som följer av Tabell 3 är tillåtna gångavstånden vid installation av automatisk vattensprinkleranläggning i princip identiska med dagens krav. För Vk3B tillåts dock längre gångavstånd då det inte finns motsvarande undantag som i BBR 29.

Tabell 3 Tillåtna gångavstånd med sprinkler

Verksamhetsklass	Maximalt gångavstånd [m]		Kommentar
	BBR 29	BBR XX	
Vk1	60	60	
Vk2A	40	40	
Vk2A - garage			
Vk2B	40	40	
Vk2C	30	30	I BBR 29 får gångavstånd i samlingslokaler i Vk2C beräknas som för samlingslokaler i Vk2B. "Hoppsa-steget" (tillämpning av två tekniska byten) möjliggör förlängning till 40 m enligt dagens krav.
Vk3A	60	60	
Vk3B	45	60	I BBR 29 får inte gångavstånd för Vk3B förlängas m.h.t. sprinkler. De nya reglerna innebär att 15m längre avstånd tillåts i Vk5B vid installation av automatisk vattensprinkleranläggning jämfört med dagenskrav. Avståndet ska dock mätas till utrymningsdörr eller utrymningspassage och inte till entrédörren i varje boenderum.
Vk4	40	40	
Vk5A	45	45	
Vk5B	60	60	

* Kraven för BBR 29 baserar här på exemplen i Tabell 5:331.

Maximalt tillåtna sammanfallande gångavstånd vid sprinkler är även de snarlika dagens krav. För Vk3B och 5B tillåts dock längre sammanfallande väg och för Vk5A blir det tillåtna avståndet något kortare, se Tabell 4.

Observera att kolumnen BBR XX endast avser maximal sammanfallande väg, med den nya beräkningsmodellen där totalt gångavstånd utvärderas separat från den sammanfallande vägen tillåts generellt längre total väg till utrymningsvägen med de nya reglerna, se avsnitt 4 och exemplet i Figur 3.

Tabell 4 Tillåtna gångavstånd i sammanfallande väg med sprinkler

Verksamhetsklass	Maximalt gångavstånd [m]		Kommentar
	BBR 29	BBR XX	
Vk1	40 (40x1,5=60)	40	
Vk2A	20 (20x2=40)	20	
Vk2A - garage			
Vk2B	20 (20x2 =40)	20	
Vk2C	15 (15x2=30) alt. 20 (20x2=40)	20	"Hoppsa-steget" möjliggör förlängning till 20 m enligt dagens BBR (20x2=40 m). Det förbrukade dock 2 tekniska byten och de föreslagna reglerna innebär därmed en viss kravlättnad.
Vk3A	40 (40x1,5=60)	40	
Vk3B	30 (30x1,5=45)	40	Det går att bygga 10 m djupare nischer i Vk3B med de nya reglerna jämfört med dagens krav eftersom det inte finns något undantag för Vk3B att förlänga gångavstånd vid sprinkling. Avståndet ska dock mätas till utrymningsdörr eller utrymningspassage och inte till entrédörren i varje boenderum.
Vk4	20 (20x2=40)	20	
Vk5A	22,5 (22,5x2=45)	20	De nya reglerna innebär något hårdare krav på sammanfallande gångavstånd vid installation av sprinkler. Det är dock ganska ovanligt att det installeras i utrymmen i Vk5A utom där Vk5A utgör en mindre del av en helsprinklad byggnad.
Vk5B	30 (30x2=60)	40	Det går att bygga 10 m djupare nischer i Vk5B med de nya reglerna jämfört med dagens krav

* Kraven för BBR 29 baserar här på exemplen i Tabell 5:331.

4.4 UTRYMNINGSVÄGARS OBEROENDE (5 METERS-REGELN)

I förslaget har regleringen om utrymningsvägars oberoende av varandra bibehållits men omformulerats till *"Med sammanfallande väg för utrymning avses väg för utrymning där alternativa vägar för utrymning passerar inom 5 m från varandra"*. Vidare anges i författningskommentarerna att vägar som inledningsvis går åt olika håll ska betraktas som sammanfallande om det längre fram är nödvändigt att passera inom fem meter passera en och samma punkt.

Detta innebär en ganska betydande förändring i hur gångavstånd till utrymningsväg mäts och i förlängningen hur lokaler kan utformas. Enligt dagens regler ska den sammanfallande sträckan i princip räknas fram till den punkt där den utrymmande *måste* välja att gå till den ena eller den andra utrymningsvägen, medan förslaget innebär att utrymningsvägen i praktiken bara ska ses som sammanfallande till den punkt utrymmande *kan* välja att gå mot den ena eller den andra utrymningsvägen, under förutsättning att man inte senare måste passera inom 5 m från den alternativa vägen.

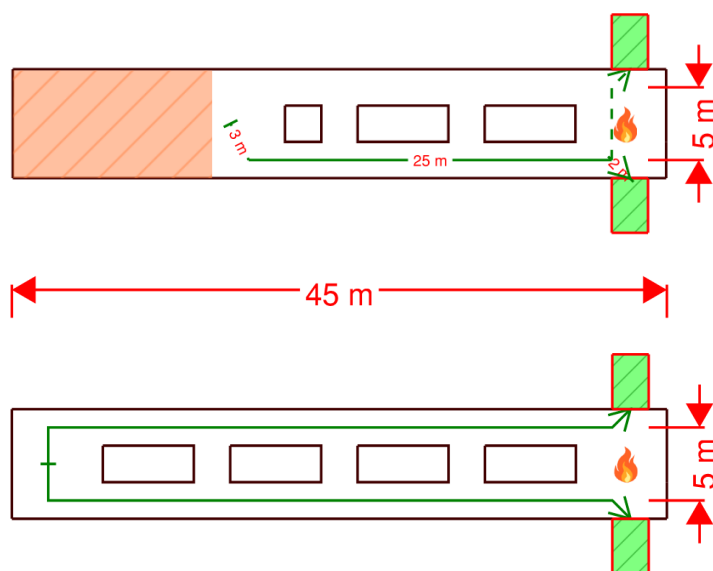
Detta öppnar upp för flera typer av planlösningar som inte tidigare varit möjliga eftersom den sammanfallande sträckan i många fall blir betydligt kortare. Exempel på möjliga utformningar där 5 m avstånd efterlevs, men som av olika skäl kan anses vara kontroversiella, ges i

Figur 5 - Figur 7. Med dagens regler är ingen av dessa utformningar möjliga då det är först i nära anslutning till utrymningsvägarna som den utrymnande *måste* välja väg. Hur stor skillnaden blir i praktiken är dock svår att uttala sig om eftersom branschen inte nödvändigtvis beräknat gångavstånden på det mest konservativa sättet i samtliga fall.

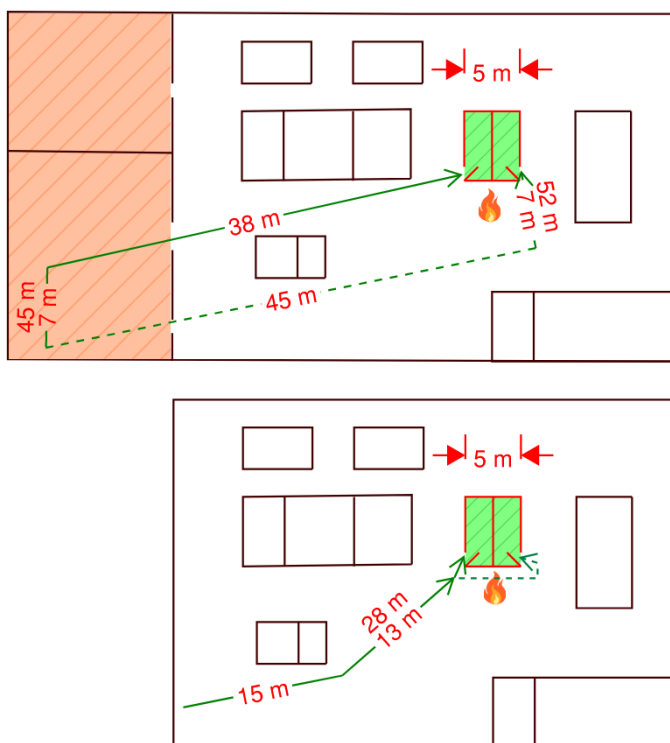
I författningskommentarerna påpekas även att avståndet fem meter används som referens för hur stor yta en brand i det inledande skedet förväntas blockera. Det är dock inte uppenbart att 5 meters-regeln uppfyller syftet i samtliga fall eftersom ytan kan tänkas blockeras (eller uppfattas som blockerad) innan dess att utrymning har skett. Det gäller i synnerhet för lokaler i t.ex. Vk1 och eventuellt 2A då brand- och utrymningslarm främst är krav för avskilda mötesrum men inte lokalerna i allmänhet.

Både nuvarande formulering och förslaget är dock till viss del problematiskt eftersom avståndet 5 m kan antas vara för litet i stora lokaler samtidigt som ett högre krav kan slå oproportionerligt hårt mot mindre lokaler. Exempelen i

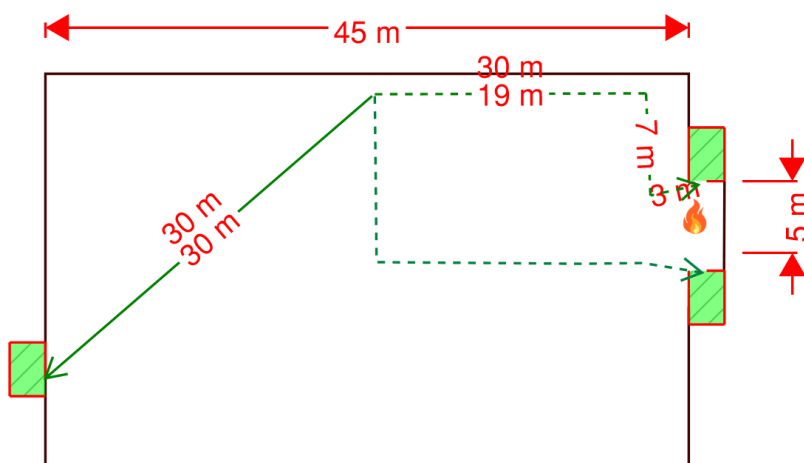
Figur 5 - Figur 7 är extremfall men pekar på den sannolikt oönskade effekten att risknivån i vissa avseenden ökar i takt med ökande storlek på lokalen.



Figur 5 Lokal i Vk1. Det nya förslaget för bedömning av utrymningsvägars oberoende (nederst) möjliggör större lokaler/djupare nischer än med dagens modell (överst). Den orangeskrifferade ytan illustrerar den extra area som tillåts med beräkning enligt förslaget.

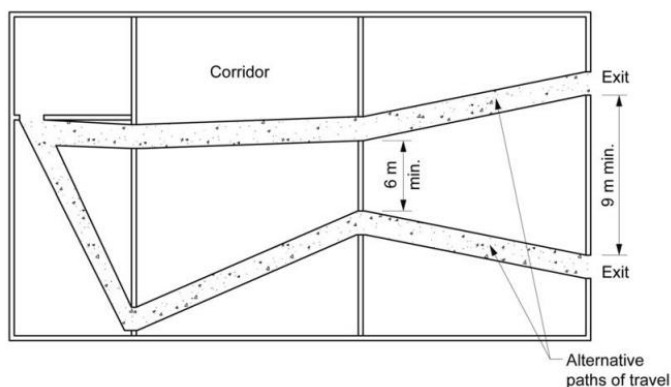


Figur 6 Kontor i Vk1 med centralt placerad saxtrappa. Den orangeskräfferade ytan illustrerar den extra area som tillåts med beräkning enligt förslaget. Detta är en konsekvens av att ingen del av sträckan överst i figuren blir att betrakta som sammanfallande, medan nästan hela sträckan är det med dagens beräkningsmodell.



Figur 7 Större samlingslokal med krav på tre utrymningsvägar, varav två är närbelägna men >5 m. Ett exempel på en lokal där 5 m avstånd mellan utrymningsvägar eventuellt kan vara otillräckligt.

Ett sätt att hantera problematiken med ett absolut mått om 5 meter kan vara att tillämpa ett större avstånd eller tillämpa olika avstånd för olika lokalstorlekar, verksamhetsklasser, brandtekniska systemet (sprinkler/utrymningslarm) eller en kombination av dessa. Som exempel ställer BCA [5] krav på minst 9 m avstånd mellan utrymningsdörrar och att det ska vara minst 6 m avstånd mellan alternativa vägar till utrymningsväg (converging paths of travel), se Figur 8. Även 6 m avstånd kan spontant tyckas lite men i gengäld är kraven i BCA både vad gäller gångavstånd och brandtekniska installationer generellt högre än i BBR.



Figur 8 Krav avseende avstånd mellan utrymningsvägar och gångväg till utrymningsdörr i BCA [3]

Ett alternativt sätt att hantera utrymningsvägarnas oberoende är att reglera avståndet mellan utrymningsvägarna i relation till lokalens storlek och layout. En modell för detta finns i NFPA 101 [1] där minimiavståndet mellan utrymningsvägarna (förenklat sett) ska vara minst halva utrymmets diagonalmått mätt i en rak linje mellan utrymningsvägarna, se exempel i .

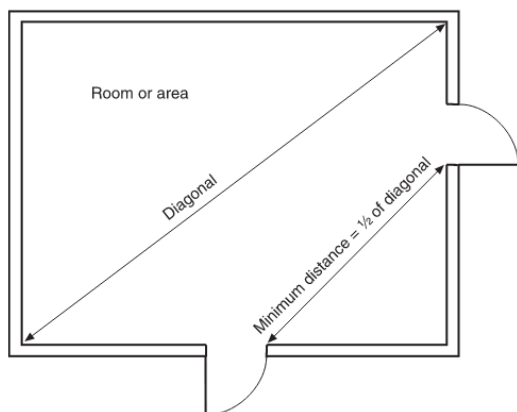
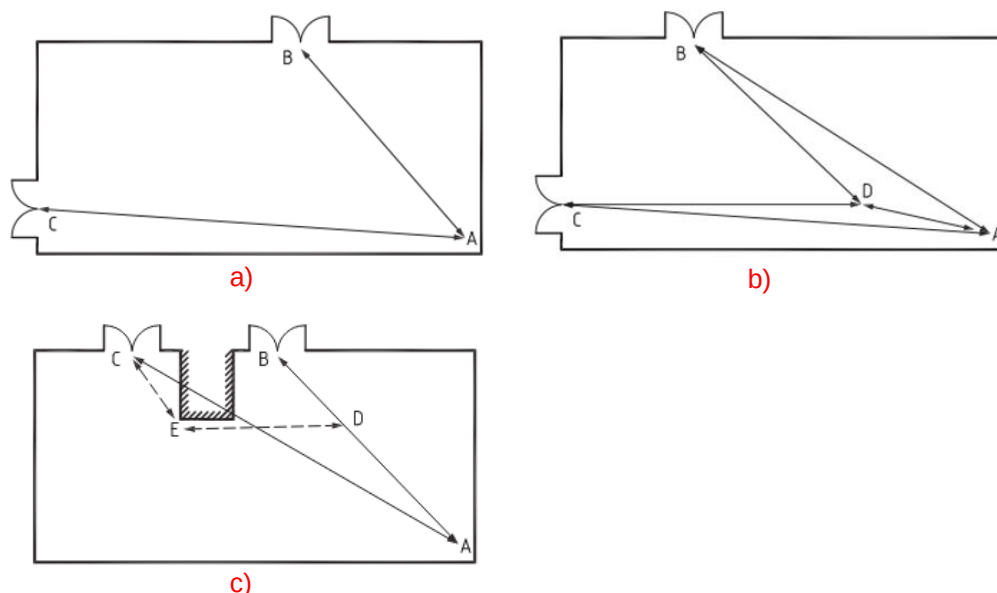


FIGURE A.7.5.1.3.2(a) Diagonal Rule for Exit Remoteness.

Figur 9 Exempel på reglering av avstånd mellan utrymningsvägar från NFPA 101 [1]

En liknande modell tillämpas i England genom Approved Document B [6] där kravet är att den alternativa utrymningsvägen ska vara i minst 45° vinkel (eller separerade med avskiljande konstruktion). Se exempel i Figur 9.



Figur 10 Separering av alternativa utrymningsvägar enligt AD B. Figuren baseras på [7].

I a) är vinkeln större än 45° och ingen del av sträckan är sammanfallande. I b) är sträckan AD sammanfallande väg eftersom det är först i punkten D som vinkeln uppgår till 45° . I c) är sträckan AD sammanfallande men vid D uppgår vinkeln till 45° och utrymningsvägarna avskiljs med en brandresistent konstruktion.

Någon av dessa typer av geometrisk reglering skulle kunna utgöra en tydligare referensnivå till det allmänna rådet i BBR 5:321 om att utrymningsvägar bör placeras så långt ifrån varandra att utrymning kan ske även om en utrymningsväg blockeras av branden.

4.5 NIVÅSKILLNADER

Utkastet innehåller även förändrade regler för hur hänsyn ska tas till trappor, ramper eller andra nivåskillnader vid beräkning av avstånd till utrymningsväg. Istället för att som i dagens regler multiplicera nivåskillnaden med faktor 4, är förslaget i utkastet att reducera de tillåtna gångavstånden enligt 7PAD–7PAF §§ med två gånger nivåskillnaden samt även räkna med avståndet längs trappans eller rampens förflyttningslinje.

För trappor på läktare och gradänger inom verksamhetsklass 2 samt trappor som ingår i väg för utrymning från utrymmen där man endast vistas tillfälligt finns dock ett undantag och för dessa fall behöver endast avståndet i gånglinjen beaktas, d.v.s. inget avdrag om dubbla nivåskillnaden.

Beräkningsgången för de fall som nivåskillnaden måste beaktas blir därmed att först identifiera om vägen till utrymningsdörr eller alternativ utrymningsdörr innehåller en nivåskillnad och därefter identifiera hur stor nivåskillnaden är. Vid en nivåskillnad om t.ex. 5 m ska då avstånden i 7PAD–7PAF §§ reduceras med 10 m. Det framgår inte explicit av föreskriften men det förutsätts att det endast är avståndet till den utrymningsdörr som innehåller nivåskillnaden som ska beräknas på detta sätt.

Inom ramen för utredningsuppdraget har det funnits begränsat med utrymme att utreda alla tänkbara varianter och placeringar av trappor i kombination med faktorer för sammanfallande väg, sprinkler m.m. Ett antal observationer har dock gjorts vad gäller mätning av gångavstånd i trappor.

- Trappors utformning avseende antal vilplan/branthet och ibland bredd är sällan fastställd i det tidiga projekteringsskedet och ibland inte för än i bygghandlingsskedet. Det skapar vissa problem med bedömning av gångavstånd i trappans gånglinje. I synnerhet gäller detta för spiraltrappor.

- Det är okänt om avståndet i gånglinjen ska mätas i mitten av trappan eller t.ex. 45 cm in från räcket (motsv. halva utrymningsbredden för en person i en 0,9 m bred trappa). Vid mätning i mitten av trappan straffas bredare trappor eftersom vilplanen då blir längre.
- Brantare trappor med få vilplan gynnas av att mäta avståndet i gånglinjen.
- Genomförda stickprov pekar på att Boverkets bedömning om att kravnivån i den nya modellen i stort motsvarar kraven i BBR är korrekt.

4.6 FAST OCH LÖS INREDNING

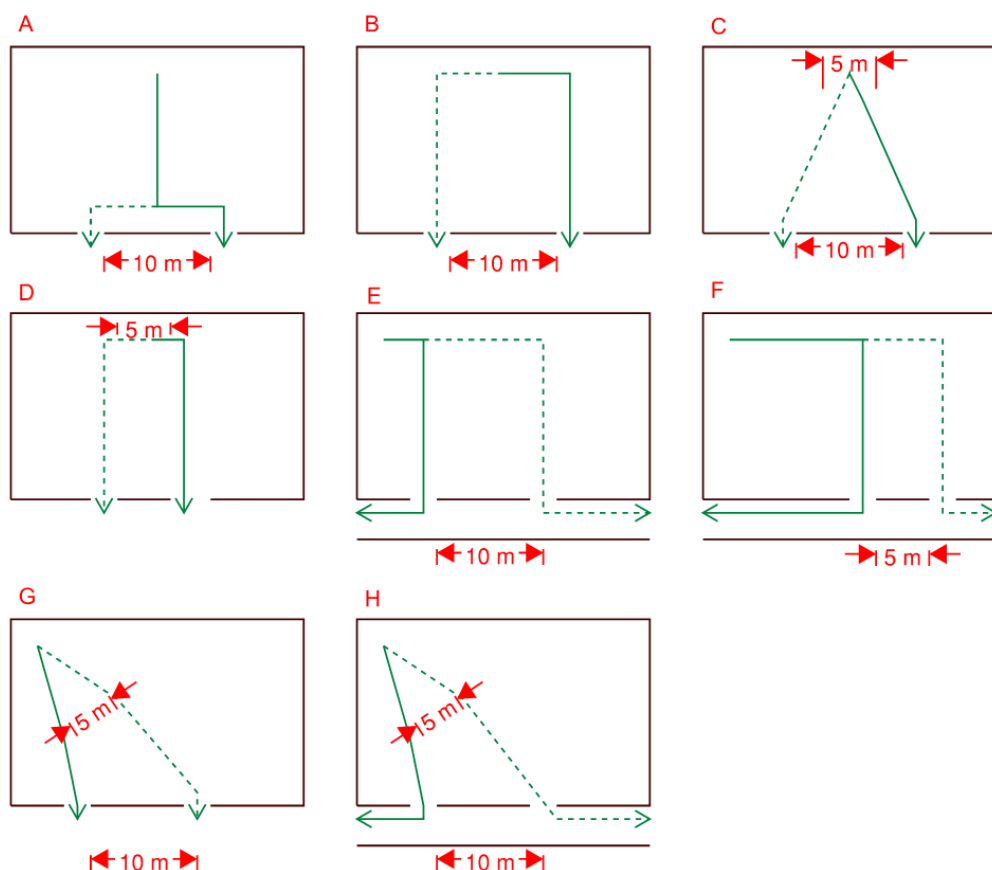
I kommentarerna till 7 PAD § ägnas ett stycke till att beskriva hur gångavstånd ska mätas kopplat till olika slag av inredning såsom mellanväggar och fast inredning och att möbler och lös inredning normalt inte behöver beaktas vid projektering. Det vill säga ortogonal mätning av gångavstånd är inte alltid nödvändig och det allmänna rådet i dagens regler om rätvinklig mätning har utgått i förslaget.

Exakt hur man ska tolka detta är svårt att avgöra. Möjligheten att dimensionera vissa lokaler genom att mäta faktiskt gångavstånd finns även i nuvarande byggregler, givet att projektören vet om hur lokalen ska inredas och att den konfigurationen inte rimligen kan förändras. Om tanken har varit att på något vis öppna upp ytterligare för dimensionering av gångavstånd utefter faktisk gångsträcka bör detta möjligen förtydligas i förslagstexten. Att krav på rätvinklig mätning har utgått bedöms i stort vara positivt men förslagsvis införs en rekommendation i författningskommentar eller på PBL Kunskapsbanken om att rätvinklig mätning kan vara lämpligt för att medge en mer flexibel användning av lokalerna över tid eller om den tilltänkta planlösningen inte är känd i detalj.

Att krav på rätvinklig mätning har utgått aktualiserar dock en ytterligare fråga, som dessutom är tätt kopplad till kravet på utrymningsvägars oberoende, och det behovet av att avgöra när gångvägen ska betraktas som sammanfallande eller inte. Frågeställningen kan i stora drag kokas ner till om vägen ska betraktas som sammanfallande till dess att de utrymmande *kan* välja en oberoende väg eller när de *måste* välja väg. I författningskommentaren till 7PAE § definieras sammanfallande väg för utrymning som "den del av ett utrymme där personer som utrymmer inte har möjlighet att välja olika vägar och därigenom nå olika utrymningsvägar". Detta tolkas som att det är den förstnämnda tolkningen som är korrekt, d.v.s. när man *kan* välja en annan väg så är vägen inte längre att betrakta som sammanfallande. Att döma av den dialog WSP haft med Boverket är det dock inte uppenbart att det är denna tolkning som varit Boverkets avsikt.

I Figur 11 ges exempel på olika utformningar som kan tänkas tolkas på olika sätt av olika projektörer och som kan få stor betydelse vid beräkning av gångavstånden. Pilarna representerar de faktiska möjliga gånglinjerna. Den streckade linjen är tänkt att representera den alternativa utrymningsvägen. Delar av denna sträcka ska åtminstone i vissa fall anses vara sammanfallande (t.ex. fall C) medan den i andra fall bör kunna anses vara oberoende (t.ex. fall A).

Frågan har dessutom en stark koppling till när en utrymningsväg får ses som oberoende. Är det exempelvis tillräckligt att det i hela sträckningen finns ett avstånd om minst 5 m till den alternativa vägen? (se exempel G i Figur 11 samt de övriga exemplen i kapitel 4.4 Figur 6). Boverket uppmanas därför förtydliga vilka tolkningar som är korrekta, t.ex. på PBL Kunskapsbanken eller genom en tydligare definition i författningskommentaren.



Figur 11 Exempel på fall där bestämning av vilka delsträckor som utgör sammanfallande respektive oberoende väg är eller kan vara otydlig.

4.7 ÖVRIGA OBSERVATIONER

4.7.1 Koppling till övriga föreskrifter

Ändringarna i kraven på gångavstånd får även indirekta konsekvenser för andra delar av byggnads brandskydd.

- För Vk5 finns idag explicita regler avseende längd på räddningstjänstens tillträdesvägar men för övriga verksamhetsklasser är detta endast indirekt reglerat genom kraven på gångavstånd. Eftersom den nya modellen för gångavstandsberäkning medger generellt djupare nischer/återvändsgränder innebär den således att längre tillträdesvägar tillåts och bör därmed föranleda en sänkt kravnivå avseende räddningsmanskapets säkerhet.
- I dagens regler är gångavstånd till utrymningsplatser inte reglerat explicit eftersom avståndet till närmsta utrymningsdörr inte behöver beräknas till en "frångänglig" utrymningsväg eller utrymningsplats. De faktiska avstånden kan därför i vissa fall tänkas bli ännu längre i och med att större lokaler i Vk2 generellt blir möjliga med den föreslagna beräkningsmetoden.

5 DISKUSSION

Utifrån den genomföra analysen kan följande observationer göras kopplade till frågeställningarna i uppdragsbeskrivningen:

- *Innebär förslaget än ändrad säkerhetsnivå jämfört med nuvarande regler? Om ja: i vilken omfattning och för vilka byggnader, verksamheter eller planlösningar?*

Ja, den nya modellen för beräkning av gångavstånd, där det totala gångavståndet inte reduceras till följd av att delar av sträckan är sammanfallande, innebär en reducerad säkerhetsnivå i lokaler där delar av avståndet till en utrymningsdörr är sammanfallande. För lokaler där hela utrymningssträckan kan ske i olika riktningar bedöms säkerhetsnivån principiellt vara densamma. Undantag utgörs i det fallet av Vk2C och sprinklade lokaler i Vk3B som båda tillåts ha något längre gångavstånd, se Tabell 1 och Tabell 3.

Hur stor sänkningen i säkerhetsnivå blir går inte att säga men utifrån t.ex. Figur 1 kan konstateras att lokalerna kan tillåtas bli större (djupare). Beroende på verksamhet, persontäthet/antal, lokalens dimensioner (volym), brandens placering m.m. så blir konsekvensen mer eller mindre stor. Förhållandet är inte heller linjärt mellan olika lokaler eller för varje extra meter gångavstånd. För att kunna bedöma den relativa sänkningen av säkerhetsnivån krävs fortsatt utredning inkl. simuleringar av brand- och utrymningsförlopp för olika verksamheter och lokaler.

Utkastet innebär även vissa mindre skillnader för enskilda verksamhetsklasser, exempelvis Vk2C och 5B. I dessa fall bedöms dock den förändrade risknivån vara mer begränsad.

Avseende förändringarna vid mätning av gångavstånd vid nivåskillnader är bedömningen att säkerhetsnivån troligen inte förändras i någon större grad. Bedömningen baseras dock på ett begränsat antal stickprov så det är svårt att bedöma med större säkerhet.

- *Är det några byggnader, verksamheter eller planlösningar som särskilt påverkas? Till exempel eventuella planlösningar som nu blir möjliga och planlösningar som eventuellt inte längre skulle bli möjliga inklusive olika ytterligheter (extremer).*

Ja, lokaler där betydande delar av sträckan är sammanfallande påverkas i särskilt hög grad, se exemplen i Figur 1 och

Figur 5.

- *Om ja på någon av punkterna ovan: På vilka sätt kan förslaget justeras för att minska skillnaderna jämfört med nuvarande regler?*

Det kan sannolikt finnas flera olika modeller men den mest uppenbara är att anpassa de tillåtna avstånden i 7PAE § för att kompensera för att det totala gångavståndet inte reduceras som följd av att delar av sträckan är sammanfallande. En sådan reglering, exempelvis att tillåten sammanfallande väg i Vk1, 3 och 5B justeras till 20 m, skulle reducera en del av skillnaden för en utformning som den i Figur 1 men i gengäld "förhindra" lokaler med t.ex. 22 m sammanfallande gångavstånd, vilket fortsatt skulle vara acceptabelt enligt dagens regler (givet att resterande sträckan inte var mer än 12 m). Det är möjligt att det går att hitta kombinationer av totalt gångavstånd och sammanfallande gångavstånd som ger samma utformningsmöjligheter som idag, utan att för den delen sänka säkerhetsnivån, men risken är att sådan modell snarare blir mer komplicerad än dagens metod.

6 SLUTSATS

Utifrån granskningen av Boverkets utkast och tillhörande författningskommentarer kan följande slutsatser dras:

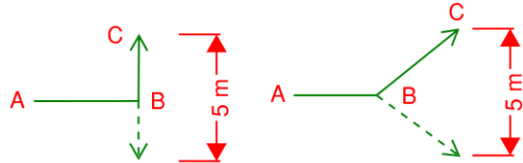
- Den förändrade modellen för att reglera gångavstånd, där totalt respektive sammanfallande avstånd till utrymningsväg särregleras, bedöms överlag vara positiv eftersom reglerna blir mer transparenta och det bedöms blir enklare för projektören. Det blir också tydligare vad som ska verifieras när analytisk dimensionering tillämpas.
- De föreslagna avstånden till utrymningsväg och i sammanfallande väg innebär en generellt sänkt säkerhetsnivå eftersom de möjliggör att bygga djupare nischer eller djupa nischer med längre gångavstånd till utrymningsväg. För vissa typer av planlösningar (se t.ex. Figur 2) blir det en mycket stor skillnad i hur stora lokaler som kan utformas vilket, allt annat lika, bör innebära en påtagligt sänkt säkerhetsnivå. I lokaler där ingen del av avståndet till utrymningsvägen är sammanfallande är dock skillnaden väsentlig mindre och främst kopplad till enskilda verksamhetsklasser (t.ex. Vk2C) eller om det finns trappor i väg till utrymningsvägen.
- Skillnaden i säkerhetsnivå kopplad till den nya modellen för beräkning av nivåskillnader i trappor är sannolikt begränsad.
- Regleringen av utrymningsvägar oberoende (5 meters avstånd) är i stort oförändrad men även den befintliga regeln är behäftad med tolkningsproblem och Boverket uppmanas förtydliga hur regeln ska tillämpas. Motsvarande tolkningsproblem föreligger vad gäller bedömning av vilken komponent av utrymningssträckan som ska betraktas som sammanfallande och Boverket bör därför tydliggöra även denna aspekt.
- Tillåtna gångavstånd blir förutom i Vk5 dimensionerande även för längden på räddningstjänstens tillträdesvägar. Eftersom längre gångavstånd generellt möjliggörs med den nya regleringen innebär det en sänkt säkerhetsnivå för räddningsmanskaper.

7 REFERENSER

- [1] National Fire Protection Association (NFPA), "NFPA 101 Life Safety Code," NFPA, 2018.
- [2] ICC, "2021 International Building Code," International Code Council, Inc., 2021.
- [3] Australian Building Codes Board (ABCB), "NCC 2019 Guide to BCA Volume One , Amendment 1," ABCB, Canberra, 2020.
- [4] Boverket, "Utkast till föreskrifter för möjligheten till utrymning vid brand, Möjligheternas byggregler – delprojekt brandskydd, dnr 31/2022, 2022-02-23," Boverket, Karlskrona, 2022.
- [5] Australian Building Codes Board (ABCB), "National Construction Code 2019 Building Code of Australia, Volume One Amendment 1," ABCB, Canberra, 2020.
- [6] HM Government, "The Building Regulations 2010 - Approved Document B Volume 2, 2019 edition," HM Government, England, 2020.
- [7] BSI, BS 9999:2017, Fire safety in the design, management and use of buildings – Code of practice, London: The British Standards Institution, 2017.

Bilaga 1 Granskningstabell

Avsnitt	Paragraf	Sid.	St.	Synpunkt/Kommentar
Författningstext	7PAD	4	1	Överväg tydliggöra att det är avstånd till <i>närmsta</i> utrymningsdörr... som avstånden reglerar, d.v.s. inte maxavståndet till båda/alla utrymningsdörrarna.
	7PAD	4	1	Gångavstånd för lokaler i Vk2C har förlängts med 5 m men det saknas motiv/konsekvensbeskrivning i författningskommentaren.
	7PAD	5	3	För närvarande har inte regler för Vk6 utarbetats men det behöver framgent bli tydligt om verksamheter med risk för mycket snabb initial brandspridning alltid ska anses tillhöra Vk6 eller om detta är en kategori verksamheter som ligger "mellan" Vk6 och normala verksamheter.
	7PAD	5	3	Det bör tydliggöras om det med mycket snabb initial brandspridning är påverkan på utrymningssäkerheten som ska värderas eller bara att brandspridningen är snabb. I t.ex. höglager kan spridningshastigheten mycket snabb men påverkan på utrymningssäkerheten behöver inte påverkas i lika hög grad. Å andra sidan kan sådana fall beaktas med analytisk dimensionering ändå.
	7PAE	5	1	När verksamhetsklassen snarare än förutsättningarna i lokalen blir styrande för gångavstånden kan mindre nischer, biutrymmen och dylikt i t.ex. Vk2C "straffas" av att hela utrymmet tillhör en viss verksamhetsklass. Ett exempel kan vara en läktare för personal i en sportarena. Med dagens regler i Tabell 5:331 är det tydligare att olika gångavstånd kan tillämpas (om än inom AD) utifrån förutsättningarna för olika utrymmen/personer.
	7PAG	5	1	Det finns en viss komplexitet i att mäta avstånd i gånglinjen i spiraltrappor, i synnerhet tidigt i projekteringsskedet (t.ex. vid framtagande av förfrågningsunderlag i systemhandlingsskedet) eftersom utformning av spiraltrappor vad gäller antalet trappsteg, bredd, branthet/lutning etc. normalt inte specificerats. Överväg om en alternativ modell kan användas för dessa, t.ex. räkna 3 ggr nivåskillnaden eller dubbla sträckan i gånglinjen. Om det verkliga avståndet i gånglinjen visar sig vara mindre än denna faktor är det då fritt fram att beräkna avståndet utifrån den sträckan istället.
Författningskommentar	7PAD	11	1	Risken för förväxling är väl mycket låg men det framgår inte att det är horisontellt avstånd i gånglinjen som avses (förutom vid trappor), d.v.s. inte någon form av "fågelväg" som ibland används i andra regelverk i olika avseenden.
	7PAD	11	1	I lokaler i Vk3A i en Br1-byggnad där räddningstjänstassisterad utrymning via utrymningsöppning tillämpas ska då avståndet till utrymningsdörren beräknas som sammanfallande hela vägen, d.v.s. max 30 m?

	7PAD	12	3	Vad som utgör industri och höglager är en tolkningsfråga. Många drar en gräns vid en viss höjd, t.ex. 8, 10, 12 m, men även lager med lägre höjd kan ge snabb initial brandspridning. Även t.ex. matvarubutiker (chipshyllorna), lager/höglager inom retail (plocklager) och vissa handelslokaler kan ha liknande förutsättningar. Fler exempel får gärna ges på PBL Kunskapsbanken.
	7PAD	12	4	Överväg en striktare definition av vad som avses med god överblickbarhet eller inför en koppling till persontätheten om syftet är att bibehålla dagens säkerhetsnivå. Att närmaste utrymningsväg är synlig från huvuddelen av utrymmet och att utrymmet i sig är relativt lätt att överblicka kan sannolikt gälla, eller i alla fall hävdas gälla, för många samlingslokaler i Vk2B och 2C. I dagens regler finns dock en koppling till persontätheten som begränsar avstånden till max 30 m men om denna faktor tas bort finns risken att vissa samlingslokaler i Vk2B eller 2C samt lokaler i Vk1 med hög persontäthet (t.ex. föreläsningssalar) schablonmässigt får längre gångavstånd.
	7PAD	12	5	Sista meningen bör avslutas med "... vid mätningen av gångavstånd i projekteringsskedet." I den färdiga byggnaden bör lös inredning i form av t.ex. ställage, bokhyllor i bibliotek, stolar i samlingslokaler och dylikt rimligen beaktas om de påverkar förflyttningsmöjligheterna i mer än ringa utsträckning. En del av detta sorterar antagligen under fast inredning men risken är att "undantaget" för möbler och lös inredning bokstavstolkas annars.
	7PAD	12	6	I avsnittet Motiv bör "utrymningsväg" antagligen ersättas med "utrymningsdörr". Detsamma gäller i sista punkten i punktlistan.
	7PAE	13	2	Tydliggör om gångavstånden ska räknas om sammanfallande fram till den punkt att man kan välja olika vägar, eller fram till den punkt där det finns ett avstånd om minst 5 m mellan vägarna. D.v.s. utgör sträcka BC sammanfallande väg? Och är det någon skillnad mellan exemplet t.v. och t.h. i detta avseende? 
	7PAE	13	3	Enligt föreskriften är det bara för garage i Vk2A som avstånden dubblas.
	7PAG	14	2	Det bör preciseras om mätning i trappans förflyttningslinje ska ske i mitten av trappan eller med visst avstånd från "innerkanten". I det förstnämnda fallet straffas man av att ha bredare trappor.

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 48 700 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB
Birger Svensson väg 28D
43240 Varberg
Besök: Birger Svensson väg 28D

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
wsp.com

