

Analys av byggnadstekniska utrymningslösningar i äldre kvartersbebyggelse

Lucas Hjalmarsson

Jakob Olsson

Avdelningen för BRANDTEKNIK

LTH | LUNDS UNIVERSITET



**Analys av byggnadstekniska utrymningslösningar i äldre
kvarTERSbebyggelse**

**Lucas Hjalmarsson
Jakob Olsson**

Lund 2023

Titel: Analys av byggnadstekniska utrymningslösningar i äldre kvartersbebyggelse
Title: Analysis of evacuation solutions in older residential buildings

Författare/Authors: Lucas Hjalmarsson och Jakob Olsson

Report: 5687

ISRN: LUTVDG/TVBB--5687--SE

Antal sidor/Number of pages: 133 (including appendices)

Illustrationer/Illustrations: Where not specified are made by Lucas Hjalmarsson and Jakob Olsson

Sökord/Keywords:

Brandriskanalys, stegutrymning, räddningstjänst, analytisk dimensionering, gårdshävare, alley cat, Tr2-trapphus, utrymningstrappa

Abstract

Due to a combination of changes in the societal view on fire safety along with reconstruction and renovations, the fire rescue services are no longer able to act as an alternative escape route from some buildings in urban parts of large cities. This thesis aims to survey how widespread the problem is, as well as identify and evaluate different solutions. Surveys and interviews were conducted to evaluate solutions meant to create a new alternative escape route, and simulations were carried out in FDS to evaluate solutions meant to enhance the existing stairwell with regard to fire safety.

The results show that the problem mostly exists in the larger cities in Sweden, namely Stockholm, Gothenburg, Malmö, and Lund, and is bound to older buildings. A number of different solutions were identified, and the analysis concluded that fire escape stairs that stretch to the ground as well as an exterior corridor that leads to another stairwell could be viewed as good as or better than the prescriptive building codes in Sweden. No analyzed solution meant to enhance the existing stairwell was better with regards to fire safety than the Tr2-stairwell, which is the only prescriptive solution in Swedish building codes that allow only one escape route from residential buildings under 16 floors. However, the analyzed solutions are discussed as to why they might or might not provide sufficient ASET.

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

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

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

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Rapporten utgör den examinerade delen på brandingenjörs- och riskhanteringsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola. Flera personer har på ett eller annat sätt varit delaktiga under arbetets gång och på så vis möjliggjort denna rapport. Därför riktas ett tack till:

Personal på räddningstjänst, länsstyrelse och brandkonsulter som besvarat enkäter, ställt upp på intervjuer eller på annat sätt bidragit med sin kunskap till rapporten.

Studiekamrater, vänner och familj för korrekturläsning och goda råd om rapportens utformning.

Ett särskilt stort tack riktas till vår handledare **Marcus Runefors**, Universitetsadjunkt vid Avdelningen för Brandteknik, för värdefulla råd och vägledning under arbetets gång.

Lund 2023

Lucas Hjalmarsson och Jakob Olsson

Sammanfattning

Samhällets syn på brandsäkerhet har förändrats över tiden. I stadens äldre stadsdelar kan det stå byggnader som uppförts när andra regler och lagar reglerade nivån på det byggnadstekniska brandskyddet. Därtill kan byggnaderna under sin livstid genomgått förändringar som ändrat förutsättningarna för exempelvis utrymning. Rapporten behandlar utrymning av bostäder i äldre trånga kvartersmiljöer och syftar till att besvara följande frågeställningar:

1. *Hur spridd är problematiken med åtkomst för räddningstjänsten vid assisterad utrymning i trånga kvartersmiljöer, och hur hanterar räddningstjänster den idag?*
2. *Vilka byggnadstekniska lösningar ger tillfredsställande utrymningsmöjligheter där åtkomstproblematiken finns?*

Räddningstjänsten för de 20 största tätorterna i Sverige fick möjligheten att svara på om de använde sig av någon särskild utrustning för utrymning i trängre kvartersmiljöer. I de fall räddningstjänsten angett att de tillhandahöll specialutrustning, eller där problematiken var närvarande anordnades en intervju för att ta reda på mer om metodiken. Framförallt räddningstjänsterna i Stockholm, Göteborg, Malmö/Lund kände igen sig i problematiken men hanterar den på olika vis.

Möjliga byggnadstekniska lösningar identifierades, tillsammans med litteratursökning, genom att granska domar och föreläggande rörande urdrifttagandet av ett specialfordon i Göteborg. Lösningarna kategoriserades som utvändiga eller invändiga. Utvändiga lösningar syftar till att kunna utgöra en alternativ utrymningsväg för de bostadslägenheter som omges av problematiken. Invändiga lösningar syftar till att höja nivån på av det byggnadstekniska brandskyddet i trapphuset som betjänar bostäderna, för att trapphuset på så vis ska kunna utgöra den enda utrymningsvägen. Lösningalternativen jämfördes kvantitativt med referensfall som utgjordes av lägsta kravnivån enligt dagens gällande byggregler.

Identifierade utvändiga lösningar utvärderades och analyserades med hjälp av en enkät som distribuerats till brandexpertis inom räddningstjänsten och näringslivet runt om i Sverige. De tillfrågade fick svara på hur väl olika egenskaper stämde in på utrymningslösningarna.

De utvändiga lösningalternativ som kan anses ge minst lika goda utrymningsmöjligheter som referenslösning enligt nuvarande byggregler anger är utrymningstrappa från berörd bostadslägenhet hela vägen ner till marknivå och loftgång från berörd bostadslägenhet till ett alternativt trapphus.

Invändiga lösningar utvärderades och analyserades med tillförlitlighetsanalys med händelse- och felträdsteknik samt brandsimuleringar i Fire Dynamics Simulator (FDS). Ingen av de analyserade invändiga lösningarna kunde anses vara lika bra eller bättre än dagens gällande nybyggnadsregler med avseende på varken tillförlitlighet eller funktion. Utvärdering av samtliga lösningalternativ utgår från en typbyggnad. Förutsättningar från fall till fall kan variera och därför måste en individuell prövning göras på respektive objekt. Resultaten ska därför användas med försiktighet, och kan inte direkt appliceras utan vidare på varje objekt som omfattas av utrymningsproblematiken.

Summary

The societal view on fire safety is constantly changing over time. In urban parts of large cities there are cases where older buildings no longer fulfill today's view and regulations on fire safety. Moreover, buildings might have been subject to alteration during their lifetime which might have deteriorated the conditions for evacuation in case of fire. As a consequence of this, the fire rescue service's ability to assist evacuees during a fire is impaired. This thesis examines the evacuation of existing apartment buildings with the described problem in urban cities, and aims to answer the following questions:

1. *How widespread is the described problem with regard to safe evacuation and the fire rescue service's ability to assist residents in an evacuation scenario in existing apartment buildings?*
2. *What kind of analytical solutions are there to the described problem?*

The fire rescue services operational in the 20 largest cities in Sweden were sent a survey, in which they were asked questions as to whether they had experienced the described problem, and if yes, how they handled when such situations occurred. Interviews were then conducted with those who recognized the described problem. The fire rescue services in Stockholm, Gothenburg, Malmö, and Lund were all familiar with the described problem but used different mitigation and coping techniques.

Different possible solutions were identified by literature, as well as reviews of relevant court cases, to solve the described problem. The identified solutions were categorized into two main types of categories – solutions meant to create a new escape route, and solutions meant to improve fire safety in the already existing stairwell.

The identified solutions which were categorized as the creation of a new escape route were assessed by another survey, which was sent to different fire rescue services and fire safety engineers in Sweden. The respondents were asked to evaluate the different solutions with regards to several criterias.

The report concluded that the following analyzed solutions were evaluated to be equal to or better than the reference cases are fire escape stairs reaching the ground and exterior corridor leading to another stairwell.

For the solutions which were categorized as to improve fire safety in the stairwell were simulations conducted in Fire Dynamic Simulator (FDS), as well as a reliability analysis. The analyzed solutions were then compared to reference cases taken from Swedish building codes for fire safety. None of the analyzed solutions meant to improve the fire safety in the existing stairwell were as good as or better than the reference solution according to prescriptive Swedish building codes for fire safety. This analysis uses a reference type of building. Different conditions for other types of buildings may vary. Thus should the results presented in this report be used with caution.

Akronymer

ASET	Available Safe Egress Time
BBR	Boverkets byggregler
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering
CFD	Computational Fluid Dynamics
EKS	Boverkets konstruktionsregler
FDS	Fire Dynamics Simulator
LSO	Lagen om Skydd mot Olyckor
PBF	Plan- och Byggförordningen
PBL	Plan- och Bygglagen
RSET	Required Safe Egress Time
RSG	Räddningstjänsten Storgöteborg
RSYD	Räddningstjänsten Syd
RTI	Response Time Index
RTJ	Räddningstjänsten
SBN	Svensk Byggnorm
SSBF	Storstockholms Brandförsvär

Definitioner

Förberedelsetid	Tid från att branden är upptäckt till den utrymmande börjar utrymma.
Gårdshävare	Höjdfordon som bland annat är avsett för livräddning på högre höjd i trånga miljöer.
Maskinstege	Höjdfordon som bland annat är avsett för livräddning på högre höjd.
Pigtrapphus	Mindre trapphus mot innergård, tidigare använt av tjänstefolk.
Steady-state	Tillstånd då relevanta förhållande inte förändras över tid.
Säker plats	Plats i det fria där utrymmande kan anses säker från brandförloppet.
Utskjutsstege	Bärbar stege, ofta avsedd för livräddning upp till 11,0 meters höjd.
Varseblivningstid	Tid för utrymmande att upptäcka en brand.

Nomenklatur

α	Tillväxthastighet	[kW/s ²]
ΔH_c	Förbränningsvärme	[MJ/kg]
Δp	Tryckskillnad	[Pa]
Δp_{ref}	Referenstryckskillnad	[Pa]
δ	Tjocklek på väggmaterial	[m]
δx	Cellsida	[m]
λ	Värmeledningsförmåga	[W/mK]
ρ_∞	Omgivande lufttryck	[Pa]
$A_o\sqrt{H_o}$	Ventilationsfaktor	[m]
A_L	Läckagearea	[m ²]
$A_{L,ref}$	Referensläckagearea	[m ²]
A_T	Omslutande väggarea	[m ²]
C	Flödeskoefficient	[-]
c_p	Värmekapacitet	[J/kgK]
D	Brandens diameter	[m]
D^*	Brandens karakteristiska diameter	[-]
D_h	Hydraulisk diameter	[m]
g	Tyngdacceleration	[m/s ²]
H	Höjd	[m]
h_k	Värmeöverföringskoefficient	[W/K]
$HRRPUA$	Effektutveckling per area	[kW/m ²]
k	Värmediffusivitet	[m ² /s]
$k\rho c$	Materialegenskap	[W ² s/m ⁴ K ²]
l^*	Karakteristisk längd	[-]
\dot{Q}	Effektutveckling	[kW]
\dot{Q}^*	Karakteristisk effektutveckling	[-]
\dot{Q}_{FO}	Effektutveckling för övertändning	[kW]
t	Tid	[s]
T_∞	Omgivande lufttemperatur	[K]
t_p	Termisk penetrationstid	[s]
W	Bredd	[m]

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål.....	2
1.3	Problemformulering	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Lagstiftning	3
2.2	Två av varandra oberoende utrymningsvägar	4
2.3	En enda utrymningsväg	4
2.4	Brandskydd i byggnader genom historien.....	5
2.5	Räddningstjänstens uppgift	6
2.6	Kvalitetsdimensioner.....	6
2.7	Acceptanskriterier	7
3	Metod	9
3.1	Kartläggning av problematikens utbredning, räddningstjänsternas metoder och typbyggnad.....	9
3.2	Identifiering av byggnadstekniska lösningsalternativ	10
3.3	Analys av utvändiga lösningar	11
3.4	Analys av invändiga lösningar	12
4	Kartläggning av problematikens utbredning, räddningstjänsternas metoder och typbyggnad.....	14
4.1	Utbredning.....	14
4.2	Typbyggnad.....	16
4.3	Räddningstjänsternas hantering.....	17
4.4	Byggnadsteknisk hantering	19
5	Byggnadstekniska lösningar.....	21
5.1	Två av varandra oberoende utrymningsvägar	21
5.2	En enda utrymningsväg	22
6	Grundförutsättning för analys	24
6.1	Typbyggnad.....	24
6.2	Brandscenario.....	26
7	Analys av byggnadstekniska lösningsförslag.....	28
7.1	Utvändiga lösningar	28
7.2	Riskvärdering	33

7.3	Invändiga lösningar	37
7.4	Riskvärdering	44
8	Känslighetsanalys	49
8.1	Ventilationsöppningar	49
8.2	Sprinklerpåverkan av brandens placering	50
8.3	Läckagearea	50
8.4	Brandutsatt lägenhet	51
8.5	Branddetektion	53
9	Diskussion	54
9.1	Metod	54
9.2	Acceptanskriterier	56
9.3	Kartläggning av problematikens utbredning och räddningstjänstens hantering	57
9.4	Utvändiga lösningar	58
9.5	Invändiga lösningar	59
9.6	Jämförelse med andra studier	61
9.7	Utrymning för rörelsehindrade	62
9.8	Kostnad	63
10	Slutsatser	64
11	Vidare studier	66
12	Referenser	i
	Bilaga A Sammanställning enkät – kartläggning	v
	Bilaga B Intervjufrågor räddningstjänstens metoder	viii
	Bilaga C Sammanställning av domar	ix
	Bilaga D Identifierade lösningsförslag och grovanalys	xi
	Bilaga E Utformning och sammanställning enkät – utvändiga utrymningslösningar	xx
	Bilaga F Simuleringsförutsättningar	xxviii
	Bilaga G Simuleringsresultat	xxxvii
	Bilaga H Tillförlitlighetsanalys	xlvi

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid uppförande av en ny byggnad måste föreskrifterna i Boverkets byggregler (BBR) uppfyllas. En av föreskrifterna som ska uppfyllas är att byggnader ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredställande utrymning vid brand. För flerbostadshus innebär detta generellt tillgång till två av varandra oberoende utrymningsvägar. Under vissa förutsättningar kan endast en utrymningsväg accepteras om exempelvis trapphuset som betjänar bostaden lever upp till särskilda brandtekniska krav. För flerfamiljshus utgörs ofta den alternativa utrymningsvägen av assisterad utrymning från fönster med hjälp av räddningstjänsten. Om assisterad utrymning ska kunna tillgodoräknas enligt BBR krävs det bland annat att räddningstjänsten har tillräcklig snabb insatstid och förmåga. Dessutom ska uppställningsplats dimensionerad för räddningstjänstens stegutrustning finnas i direkt anslutning till byggnaden. Vid lägre höjder, ofta under 11 meter, kan bärbar utskjutsstege användas. På högre höjder, upp till 23 meter, används stegfordon, även kallat maskinstege eller hävarfordon. Lagen om skydd mot olyckor (LSO) är tillämplig på befintliga byggnader för att upprätthålla ett skäligt brandskydd.

I Göteborgs innerstad finns ett antal byggnader som uppförts med en alternativ utrymningsväg som utgörs av assisterad fönsterutrymning från innergård. För en del av dessa bostäder överstiger avståndet mellan mark och fönstret avsett för utrymning den maximala höjd där bärbar utskjutsstege kan användas. Samtidigt saknas det åtkomstmöjlighet för räddningstjänstens ordinarie stegfordon att verka på innergården. För att ändå kunna assistera vid utrymning av dessa bostäder har Räddningstjänsten Storgöteborg (RSG) använt sig av specialfordonet ”gårdshävaren”. Gårdshävaren är ett mindre stegfordon som kan ta sig in och verka i trängre miljöer där ordinarie stegfordon inte har åtkomst. Specialfordonets förmåga har däremot blivit ifrågasatt, och 2017 beslutade RSG att ta fordonet ur drift. Beslutet har sin grund i en inventering RSG gjort om vilka adresser fordonet är tänkt att användas på. Vid aktuella bostäder har det bland annat visat sig att framkomligheten varit bristfällig och att fordonet då inte uppfyller avsedd funktion. Det kan bland annat bero på igenbyggnation av portrik till innergården, eller att innergården i fråga fyllts med grillplatser, cykelställ eller miljöhus etc.

Beslutet om att ta gårdshävaren ur drift har fått konsekvenser för de byggnader och bostäder där specialfordonets funktionalitet varit en förutsättning för assisterad utrymning. För att byggnaderna fortsättningsvis ska ha ett skäligt brandskydd och därmed uppfylla LSO krävs därför byggnadstekniska lösningar. I många fall föreläggs fastighetsägare och bostadsrättsföreningar om tillskapande av utvändigt utrymningstrappa. Ett flertal förelägganden har lett till överklaganden till förvaltningsrättsinstanser, där den överklagande i vissa fall presenterat en alternativ lösning. I de olika rättsinstanserna har överklagan i de allra flesta fallen avslagits, i flera fall på grund av att en föreslagen alternativ lösning saknat tillräcklig verifiering eller osäkerhet kring tillförlitlighet. Av den anledningen finns det ett behov av att analysera och verifiera alternativa lösningar, vilket ligger till bakgrund för det här examensarbetet.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att identifiera och utvärdera olika byggnadstekniska lösningar som alternativ till räddningstjänstens specialutrustning för utrymning i kvartersmiljö med åtkomstproblematik. Arbetet syftar även till att ge räddningstjänster underlag vid beslutsfattande om byggnadstekniska lösningar till problematiken. Syftet är även att ge brandkonsulter bättre förutsättningar vid utrymningsdimensionering.

Målet med arbetet är att beskriva hur spridd åtkomstproblematiken är. Målet är också att fastställa vilka byggnadstekniska lösningar som kan tänkas användas som alternativ till av räddningstjänsten tillhandahållna speciallösningar för assisterad utrymning i trång kvartersmiljö.

1.3 Problemformulering

Arbetet avser att besvara följande frågeställningar:

1. Hur spridd är problematiken med åtkomst för räddningstjänsten vid assisterad utrymning i trånga kvartersmiljöer, och hur hanterar räddningstjänster den idag?
2. Vilka byggnadstekniska lösningar ger tillfredställande utrymningsmöjligheter där åtkomstproblematiken finns?

1.4 Avgränsningar

Arbetet avgränsar sig till att enbart jämföra och utvärdera byggnadstekniska lösningar. Olika speciallösningar som tillhandahålls av räddningstjänsten samt insatsmetodiker runt om i Sverige kommer enbart att beskrivas.

Rapporten är avgränsad från att ta ställning till huruvida åtgärder kan anses skäliga eller ej. De antaganden som gjorts i rapporten i frågor där bedömning om skälighet uppkommit har stöd mot domar av förvaltnings- och kammarrätten, samt högsta förvaltningsdomstolen använts. På samma sätt är rapporten avgränsad till att inte analysera eventuell miljöpåverkan. Egendomsskydd och kostnad för olika lösningar hanteras endast övergripligt.

Arbetet är geografiskt begränsat till Sverige, där svenska lagar och byggregler gäller.

2 Teori

I detta kapitlet presenteras relevant teoretisk bakgrund som ligger till grund för rapporten.

2.1 Lagstiftning

Bygglagstiftningen i Sverige är hierarkiskt uppbyggd genom lagar, förordningar, och föreskrifter. Olika lagar gäller vid olika skeden av en byggnads uppförande och livstid.

2.1.1 Bygglagstiftning

Riksdagen beslutar om Plan- och bygglagen (PBL) (2010:900), vilken gäller vid en byggnads uppförande, ändring, och ombyggnad. PBL ställer även krav på byggnadens underhåll av exempelvis brandskydd. Riksdagen fattar sedan underordnad lagstiftning genom Plan- och byggförordningen (PBF) (2011:338). För att byggherrar i praktiken ska kunna uppfylla lagar och förordningar har Boverket som uppgift att ge ut föreskrifter om detaljbestämmelser genom Boverkets byggregler (BBR) (2011:6) och Boverkets konstruktionsregler (EKS) (2011:10). Till föreskrifterna finns allmänna råd. De allmänna råden fungerar som vägledning för hur föreskriften kan uppfyllas. Föreskriften kan uppfyllas på andra sätt, men då krävs en analys av att föreskriftens funktion uppfylls. Så kallad förenklad dimensionering sker genom att de allmänna råden följs. Avsteg från de allmänna råden som uppfyller föreskrifterna kallas för analytisk dimensionering.

I takt med att byggregler förnyas ställs, enligt PBL, inte retroaktiva krav på befintligt bostadsbestånd. Däremot kan en ändring av byggnaden som påtagligt förnyar byggnaden ställa nybyggnadskrav på hela byggnaden, eller den avgränsbara del som ombyggnaden avser. Åtgärder som påtagligt förnyar byggnaden kan exempelvis innefatta ändringar som ger stora planlösningsändringar eller ändringar som innebär ändrat ändamål för byggnaden.

2.1.2 Lag om skydd mot olyckor

Under bruks- och förvaltningsskedet av en byggnad ställer lagen om skydd mot olyckor (LSO) (2003:778) bland annat krav på ett skäligt brandskydd. LSO gäller till skillnad från PBL även för lös inredning, utformning av byggnad, samt organisatoriska åtgärder. LSO kan till skillnad från PBL även ställa retroaktiva krav på befintliga byggnader. I 2. kap 2 § LSO (2010:900) står att ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skälig omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand. I de fall räddningstjänsten gör tillsyn och lämnar förelägganden om åtgärd är det mot bakgrund av en bedömning om skälig omfattning.

I begreppet skälighet innefattas en ekonomisk aspekt. Ur den ekonomiska aspekten ska inte en förelagd åtgärd vara oskälig, och nyttan av den förelagda åtgärden ska överstiga kostnaden. Bedömningen om skälighet vägs mot andra aspekter exempelvis kulturhistoriska (Arvidsson et al., 2021). När skälighetsbedömningen ställs inför avvägning mot kulturhistoriska intressen ska skydd mot personskador och olyckor väga tyngre (MSB, 2020). Vid bedömning av skälighet används dagens gällande byggregler om brandskydd som vägledning (Arvidsson et al., 2021), men i

normala fall kan inte högre krav ställas än vad som ställdes i gällande byggregler vid byggnadens uppförande. För att högre krav än de då gällande byggreglerna vid byggnadens uppförande ska kunna ställas måste det föreligga särskilda omständigheter som motiverar det (MSB, 2020). Det kan exempelvis handla om i sammanhanget billiga lösningar som påtagligt förbättrar brandskyddet.

2.2 Två av varandra oberoende utrymningsvägar

Enligt BBR (2011:6) kapitel 5:321 ska utrymmen där personer vistas mer än tillfälligt utformas med tillgång till minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Om bostaden eller lokalen har fler än ett plan ska det finnas minst en utrymningsväg från varje plan. I de allmänna råden förklaras oberoende utrymningsvägar med att minst en av utrymningsvägarna ska kunna användas i händelse av att en brand blockerar en annan utrymningsväg, och att det kan uppfyllas genom att de är placerade minst 5 meter ifrån varandra. En vanlig utformning är att flervåningshus utformas med en eller flera brandtekniskt avskilda trapphus som utrymningsvägar (Frantzich, 2006). Andra utrymningsvägar kan exempelvis utgöras av en utvändigt utrymningstrappa, dörr i fasad som leder direkt till det fria eller säker plats, eller utrymning via annan brandcell. Alternativt kan för vissa verksamheter en av utrymningsvägarna utgöras av assisterad utrymning med hjälp av räddningstjänsten förutsatt att vissa krav är uppfyllda.

Utrymning med hjälp av räddningstjänsten kan ske på olika sätt. För att vid projektering kunna tillgodoräkna assisterad utrymning med hjälp av räddningstjänsten som alternativ utrymningsväg finns en del krav och förutsättningar som ska vara uppfyllda. Dessa omfattar övergripande bland annat:

- Insatstid
- Räddningstjänstens förmåga och tillgång till utrustning
- Räddningstjänstens åtkomst
- Uppställningsyta
- Fönsterdimensioner och bröstningshöjd
- Personantal
- Typ av verksamhet

För utrymning med hjälp av stegfordon ställs högre krav på utformningen av byggnaden och omkringliggande ytor. Bland annat ställs det ytterligare krav på åtkomlighet, uppställningsplatser, och markens bärighet.

2.3 En enda utrymningsväg

BBR (2011:6) kapitel 5:322 ger möjlighet till att flervåningshus utformas med tillgång till en enda utrymningsväg om förutsättningarna för tillfredsställande utrymning finns.

Tr2-trapphus kan utgöra den enda utrymningsvägen i lokaler i verksamhetsklass 1 i byggnader med högst åtta våningsplan och från bostäder i verksamhetsklass 3 i byggnader med högst 16 våningsplan. Byggnader över 16 våningar ska ha tillgång till minst ett Tr1-trapphus.

Bostadsutrymmen och kontor kan enbart ansluta till ett Tr2-trapphus genom ett utrymme utformat som egen brandcell. För byggnader där ett Tr2-trapphus utgör den enda utrymningsvägen ska ej källaren stå i direkt förbindelse med trapphuset. Hisschakt kan vara placerat i samma brandcell som trapphuset. Utformningen ställer även krav på att dörrar skall vara utförda i viss brandteknisk klass enligt BBR (2011:6).

Kraven för Tr1-trapphus är högre än för Tr2-trapphus. Mellan ett Tr1-trapphus och andra utrymmen ska det enligt förenklad dimensionering finnas en brandsluss med öppning mot det fria. Tr1-trapphus eller brandsluss får ej stå i direkt förbindelse med källare. Utformningen ställer även krav på att dörrar skall vara utförda i viss brandteknisk klass BBR (2011:6). För att byggnaden ska ha en effektiv planlösning utformas ofta ej brandslussen med öppning mot det fria enligt förenklad dimensionering. Istället trycksätts trapphuset för att motverka brandgasspridning genom trapphuset enligt analytisk dimensionering.

Utöver ovan beskrivna brandtekniska åtgärder kan ytterligare åtgärder erfordras, exempelvis att allmänbelysningens funktion skyddas mot direkt påverkan på brand.

2.4 Brandskydd i byggnader genom historien

År 1847 kom den första gemensamma byggnads- och brandstadgan för Sverige, *Byggnads- och brandstadga för rikets städer* (1874). Stadgan ställde krav på att städer även skulle ha lokala byggnadsordningar. Således finns det lokala variationer i hur byggnader och stadsdelar uppförts under denna tid. Den nationella stadgan reglerade bland annat minsta tillåtna gatubredd till strax över arton meter. Hushöjden reglerades av gatans bredd. Antal våningar reglerades till maximalt fem. Däremot kom bottenvåningen ofta att klassificeras som ”källare ovan mark” och i praktiken uppfördes hus om 6 våningar (Örnroth et al., 2018). Takhöjden inne i bostäder reglerades till en minimal höjd om nio fot, vilket ungefär motsvarar 2,7 meter. Kvarterens innergårdar fick som minst ha en bredd om ungefär 12 meter. Större lägenheter i flerfamiljshus byggda under denna tid har ofta tillgång till två trapphus. Ett konventionellt trapphus med ingång från gatusida och ett mindre pigtrapphus med ingång mot innergård. Lägenheterna har i vissa fall till dags datum styckats av till mindre, som således enbart har tillgång till det ena trapphuset. Detta kan också ha medfört att lägenheter som uppförts genomgående nu enbart har fönster mot ena sidan av byggnaden.

Sen första nationella regelverket för byggnation har reglering och krav ställda på brandskydd i byggnader succesivt ändrats och styrts av olika regelverk. Mellan 1947 till 1968 reglerades kraven i *Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan* (BABS). Därefter, från 1968 till 1989, reglerades krav på brandskydd i *Svensk Bygg Norm* (SBN). I 1975 års upplaga, SBN 75 (1975), ställs för första gången krav på två av varandra oberoende utrymningsvägar. Kravet har i grunden

inte förändrats sen dess och återfinns i dagens byggregler. Från 1994 till idag gäller *Boverkets Byggregler* (BBR).

2.5 Räddningstjänstens uppgift

Enligt 1 § LSO (2003:778) är det räddningstjänstens uppgift är att vid insats hindra och begränsa skador på människor, egendom, och miljö. Räddningstjänsten har i genomförandet av sin uppgift bland annat befogenhet att lämna förelägganden om åtgärd vid fall då räddningstjänsten inte anser att fastighetsägare uppfyllt sin skyldighet om upprätthållandet av ett skäligt brandskydd enligt 2. kap 2 § LSO (2010:900).

2.6 Kvalitetsdimensioner

Kommande analys av lösningsalternativ grundar sig på ett antal kvalitetsdimensioner. Kvalitetsdimensionerna baseras på ett antal egenskaper som anpassats av Lundin (2001) till att gälla för brandskyddssystem. Kvalitetsdimensionerna baseras i sin tur på egenskaper framtagna av Meister (2014) för mänskligt agerande med diverse olika system.

Vid varje identifierat lösningsalternativ som väljs för vidare analys kommer följande kvalitetsdimensioner att beaktas.

2.6.1 Funktion

Med funktion avses lösningen förmåga att uppfylla systemets mål. Oavsett om lösningsalternativet är till för att agera som alternativ utrymningsväg, eller för att kunna tillgodose trapphuset som den enda utrymningsvägen är målet det samma; att uppnå tillfredställande utrymning.

Med tillfredställande utrymning innebär möjligheten för utrymning på ett säkert sätt, utan personskador. Personskador ska varken uppkomma till följd av brandförloppet, eller i samband med användande av lösningsalternativet.

2.6.2 Mänskligt agerande

Vissa lösningsalternativ erfordrar att människan agerar med systemet för att funktionen ska uppfyllas.

Mänskligt agerande kan delas upp i passivt och aktivt agerande (Carlens, 2006). Agerandet kan vara passivt vid exempelvis underhåll av ett system, och aktivt då den utrymmande exempelvis förflyttar sig i systemet. Mänskligt agerande av aktiv karaktär är främst relevant för utvändiga lösningsalternativ. Systemet kan då ställa krav på den utrymmandes fysiska förmåga att kunna använda lösningsalternativet. Krav kan också komma att ställas på den nödställdes kognitiva förmåga att kunna förstå hur lösningsalternativet är tänkt att användas. Förkunskaper kan då komma att spela en avgörande roll för att säkerställa att den utrymmande förstår hur lösningen ska användas.

2.6.3 Komplexitet

Ett system som innefattar att flera komponenter fungerar eller att flera steg ska utföras kan beskrivas som komplext. Komplexiteten bottnar här i hur starka beroendena är mellan komponenterna snarare än antal komponenter (Carlens, 2006).

Exempelvis kan system som kräver en insats från räddningstjänsten för att funktionen uppfylls tänkas vara mer komplexa än om systemet fungerar ensamt.

2.6.4 Flexibilitet

Ett redundant system med flera olika möjligheter att uppnå sin funktion kan beskrivas som flexibelt. Två av varandra oberoende utrymningsvägar kan anses mer flexibelt än ett system som förlitar sig på enbart en utrymningsväg.

2.6.5 Känslighet

Ett systems känslighet kan definieras som i vilken grad systemets funktion påverkas då omgivningens förhållande förändras (Carlens, 2006). Således kan känslighet beskrivas som systemets förmåga att stå emot yttre hot. Omvänt kan ett känsligt system tänkas ställa krav på omgivningen för att fungera (Halldén, 2015).

2.6.6 Tillförlitlighet

Tillförlitlighet kan delas upp i två delar (Carlens, 2006). Dels i hur sannolikt det är att systemet aktiverar när det är tänkt, det vill säga hur pålitligt systemet är. Dels i sannolikheten i att funktionen uppfylls vid aktivering, hur effektivt systemet är. Sammantaget kan begreppet beskrivas som sannolikheten för att systemets mål nås. Tillförlitlighet behandlar, till motsats från känslighet, inre hot mot systemet.

2.6.7 Sårbarhet

Sårbarhet kan ses som en kombination av flera kvalitetsdimensioner (Lundin, 2001). Begreppet innefattar både yttre och inre hot, och därmed både känslighet och tillförlitlighet. Ett komplext system, eller ett system som förlitar sig på mänskligt agerande kan också anses sårbart. Sårbarhet är således inte en önskvärd egenskap hos ett system.

2.7 Acceptanskriterier

För att utvärdera de olika lösningarna identifierades acceptanskriterium för analysen. Kravet som ska uppfyllas enligt nu gällande byggregler är att utrymmande ska ha tillgång till tillfredsställande utrymning. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dåligt sikt som hindrar utrymning till en säker plats (5:31 BBR). För de invändiga lösningarna sattes acceptanskriteriet till att tillfredsställande utrymning kan ske genom trapphuset om trapphuset hålls fritt från rök och brandgaser, eller en obetydlig mängd som ändå möjliggör utrymning genom trapphuset under hela brandförloppet. Acceptanskriteriet kan konkretiseras till

värden som återfinns i tabell 7 i Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD) (Boverket, 2013), som återges i Tabell 2 nedan.

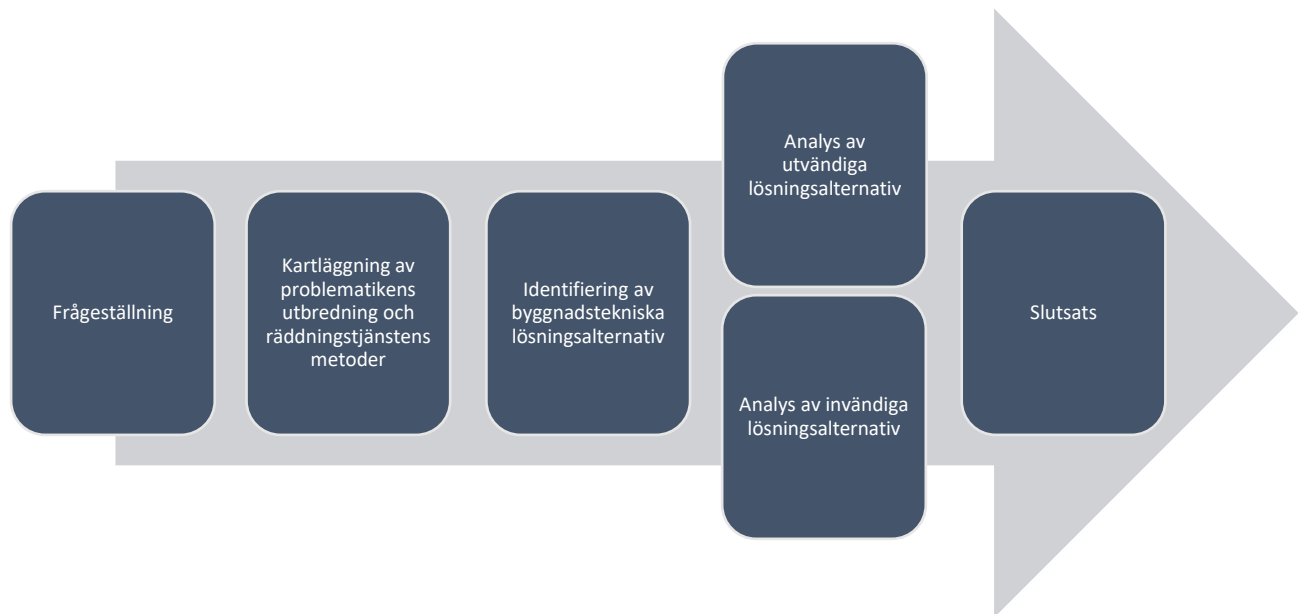
Tabell 2. Nivå för kritisk påverkan vid analys av utrymningssäkerhet, tagen från tabell 7 i BBRAD (Boverket, 2013)

Kriterium	Nivå
Brandgaslagrets nivå ovan golv	Lägst $1,6 + (\text{rumshöjden (m)} * 0,1)$
Siktbarhet, 2,0 ovan golv	10,0 m i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$ och 5,0 m i utrymmen $\leq 100 \text{ m}^2$. Kriteriet kan även tillämpas för situationer där köbildning inträffar i ett tidigt skede vid den plats kön uppstår.
Värmestrålning/Värmedos	Max $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m^2 i kombination med max 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2
Temperatur	Max 80° C
Toxicitet	Kolmonoxidkoncentration (CO) $< 2000 \text{ ppm}$ Koldioxidkoncentration (CO ₂) $< 5\%$ Syrgaskoncentration (O ₂) $> 15\%$

För de utvändiga lösningarna sätts acceptanskriteriet att de utrymmande ska ha tillgång till avsats belägen maximalt 11 meter ovan marknivå på ett betryggande sätt för att ha möjlighet att utrymma med hjälp av räddningstjänstens bärbara utskjutsstege.

3 Metod

I kapitlet beskrivs de metoder som används för att besvara arbetets frågeställningar. Arbetsgången illustreras i Figur 1. Arbetet är av problemlösande karaktär och är framtaget efter observation av RSG:s beslut om att ta specialfordonet gårdshävaren ur drift, vilket problemformuleringarna kretsar kring. Inledningsvis sker kartläggning i två steg. Kartläggning sker dels av hur utbredd problematiken är i Sverige och hur olika räddningstjänster hanterar problematiken idag. Dels i vilken typ av objekt som problematiken är närvarande i. Med problematik avses utrymning i trång kvartersmiljö där räddningstjänstens ordinarie utrustning inte är tillräcklig för assisterad utrymning. Därefter identifieras byggnadstekniska lösningsförslag som kan tänkas ersätta de av räddningstjänsten tillhandahållna speciallösningar för att assistera vid utrymning i trånga kvartersmiljöer. Sedan analyseras och utvärderas de byggnadstekniska lösningarna. De byggnadstekniska lösningarna jämförs och diskuteras med varandra och referensfall enligt förenklad dimensionering. Till sist dras slutsatser om analysen. I kommande delkapitel beskrivs de olika momenten för arbetet mer ingående.



Figur 1. Kronologisk arbetsgång för rapporten.

3.1 Kartläggning av problematikens utbredning, räddningstjänsternas metoder och typbyggnad

För att fastställa hur utbredd problematiken är ställdes frågor till räddningstjänsterna i de 20 största tätorterna i Sverige. Frågorna var av öppen karaktär utan fördefinierade svarsalternativ, och besvarades genom en kort enkät. De svarande fick ta del av en kort bakgrund till rapporten, och följande frågor ställdes:

1. *Används speciallösningar för assisterad utrymning av bostäder inom er räddningstjänsts täckningsområde?*

2. *Om "Ja" på föregående fråga, vad för typ av utrustning handlar det om?*
3. *Har det gjorts inventering för att säkerställa att räddningstjänstens ordinarie utrustning kan bistå med assisterad utrymning för samtliga bostäder i täckningsområdet, i de fall där assisterad utrymning förväntas ske?*

I de fall där räddningstjänsten angett att speciallösningar används, bokades en intervju. Intervjun syftade till att få en djupare inblick i hur speciallösningen används rent praktiskt, samt att få en bild av hur utbredd användningen av speciallösningar är inom räddningstjänstens täckningsområde. För de räddningstjänster i städer där problematiken var känd av författarna sedan tidigare (Stockholm, Göteborg, Malmö, och Lund) skickades ingen enkät ut, istället besvarades frågorna via intervjuer.

Intervjuerna har skett genom digitala videomöten med någon angiven person inom organisationen som hade både inblick i den operativa verksamheten samt som var insatt i berörd utrymningsproblematik. Förutom intervju med räddningstjänster fördes även kortare samtal med fastighetsägare och brandkonsulter. Alla fem intervjuer var av öppen riktad karaktär men med syfte att i sin helhet besvara ett antal fördefinierade frågor.

För att kunna identifiera relevanta lösningsalternativ och jämföra dessa med varandra, krävdes att byggnader som omges av problematiken kunde generaliseras till en typbyggnad. Typbyggnaden baserades på de fastigheter som RSG förelagt i samband med urdrifftagandet av gårdshäveraren. För dessa fastigheter begärdes bygglovshandlingar ut från stadsbyggnadskontoret i Göteborgs stad. Därifrån drogs generella slutsatser för hur fastigheter med problematiken kan var konstruerade och i vilken miljö de befinner sig i.

3.2 Identifiering av byggnadstekniska lösningsalternativ

Lösningsalternativ identifierades främst genom granskning av förelägganden i samband med RSG:s urdrifftagande av gårdshäveraren samt beslut av länsstyrelsen eller domar i förvaltnings- och kammarrätt där dessa förelägganden överklagats.

Lösningsalternativen sammanställdes och kategoriserades som utvändiga eller invändiga lösningsalternativ. Samtliga utvändiga lösningsalternativ syftar till att agera som alternativ utrymningsväg till trapphuset. De invändiga lösningsalternativen syftar till att kunna tillgodoräkna trapphuset som den enda utrymningsvägen.

Därefter gjordes en första grovanalys för att välja ut ett urval av ett antal byggnadstekniska lösningsalternativ som blir föremål för vidare analys.

Lösningsalternativ som identifierats och som faller utanför rapportens avgränsningsområde sorterades bort. Med det menas lösningsalternativ som innebär omfattande planlösningssändringar i befintliga bostäder samt insatstekniska åtgärder. Med insatstekniska åtgärder innebär exempelvis åtgärder där fastighetsägare tillhandahåller utrustning som sedan räddningstjänsten ska använda vid insats. Invändiga lösningsalternativ som inte ansågs bidra till minskad rökspridning till trapphuset föll också bort i grovanalysen.

3.3 Analys av utvändiga lösningar

Utvändiga lösningsalternativ analyserades utifrån en enkät. Enkäten distribuerades till de räddningstjänster som var verksamma i de 31 största tätorterna, 23 antal utvalda brandkonsultfirmor, samt till Länsstyrelsen i Västra Götaland. Enkäten skickades ut till företaget eller organisationen i fråga vilka uppmanades att distribuera vidare enkäten till sina medarbetare. Distributionen av enkäter till brandkonsultfirmor eftersträvade ett jämnt urval av såväl stora som små företag fördelade över hela Sverige. Respondenterna fick först ange utbildningsnivå, bransch den svarande verkar i samt hur många år relevant arbetserfarenhet som den svarande besitter. Vidare presenterades identifierade lösningsalternativ tillsammans med ett antal frågor. Frågorna berörde olika egenskaper för utrymningslösningen som i sin tur kan kopplas till kvalitetsdimensionerna som återfinns i kapitel 2.6. Respondenten ombads att betygsätta hur väl egenskapen stämmer överens på utrymningslösningen på en skala från *obetydlig* till *mycket hög*. Följande egenskaper skulle den svarande tycka till om:

- Fysisk kapacitet för att klara av att utrymma med hjälp av lösningen
- Utrymningslösningens krav på förkunskaper
- Risk att yttre faktorer gör utrymningslösningen mindre användbar
- Risk för personskador (ej kopplat till brandförloppet) vid användandet av lösningen
- Risk att utrymmande utsätts för kritiska förhållanden

Slutligen fick även respondenterna tycka till om utrymning med hjälp av räddningstjänstens utskjutsstege. Utrymningslösning med räddningstjänstens utskjutsstege i kombination med utrymning via utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på 11,0 meter agerar som referensfall då detta är den lägsta kravnivån enligt dagens gällande byggregler (Boverket, 2011:6). Övriga identifierade lösningsalternativ jämförs med detta i kommande analys. Referensbyggnaden för utvändiga lösningar presenteras i Tabell 1.

Tabell 1 Referensbyggnad för utvändiga lösningsalternativ

Referensbyggnad	
Parameter	Förklaring
Byggnadsklass	Br1
Verksamhetsklass	Vk3A
Våningsplan	Upp till 16 våningar
Källare i direkt förbindelse med trapphus	Nej
Trapphus	Avskilt trapphus
Alternativ utrymningsväg	Utrymningstrappa ner till tillfälligt säker plats belägen

	som högst 11,0 meter ovan marknivå
Brandbelastning	$\leq 800 \text{ MJ/m}^2$
Brandcellsavskiljande byggnadsdelar	EI 60
Insatstid	10 minuter

Enkäten distribuerades via länk och respondenterna svarade i webbläsare. Det var bara möjligt för varje svarande att svara en gång. Enkätens utformning återfinns i sin helhet i Bilaga E Utformning och sammanställning enkät – utvändiga utrymningslösningar.

3.4 Analys av invändiga lösningar

Invändiga utrymningslösningar analyserades med hjälp av tillförlitlighetsanalys och brandsimuleringar. Tillförlitlighetsanalysen ska ses som en kombination av där, om möjligt, hänsyn tagits till lösningens komplexitet, flexibilitet, känslighet och tillförlitlighet. Brandsimuleringarna avgör om lösningens tänkta funktion kan uppfyllas.

De invändiga lösningsalternativen jämfördes med lägsta kravnivå för en enda utrymningsväg enligt dagens byggregler (Boverket, 2011:6). Därför är jämförelsenivån ett Tr2-trapphus. Referensbyggnaden som lösningsförslagen jämförs med framgår av Tabell 2.

Tabell 2. Referensbyggnad för invändiga lösningar.

Referensbyggnad	
Byggnadsklass	Br1
Verksamhetsklass	Vk3A
Våningsplan	Upp till 16 våningar
Källare i direkt förbindelse med trapphus	Nej
Trapphus	Tr2
Alternativ utrymningsväg	-
Brandbelastning	$\leq 800 \text{ MJ/m}^2$
Brandcellsavskiljande byggnadsdelar	EI 60
Insatstid	-

3.4.1 Tillförlitlighet

Tillförlitligheten av att de brandtekniska systemen fungerar som avsett vid brand är en central del i analysen. De analyserade brandtekniska systemen kan utformas på många olika sätt beroende på fall till fall. En del av systemen kan dessutom vara komplext utformade med många olika komponenter. I tillförlitlighetsanalysen gjordes samma antaganden som i övriga analyser, bland

annat antas det att väggar och bjälklag som utgör brandcellsgränser är korrekt utförda samt att krav på ytskikt och bärighet är uppfyllda.

Olika metoder tillämpades för att skatta osäkerheten. Först gjordes en genomgång av litteratur för felsannolikheter. I de fall data saknades eller bedömdes vara ogiltig gjordes en skattning utifrån annan tillgänglig data som ansågs representativ. Felsannolikheter ansattes antingen till att vara punktskattningar eller fördelade enligt en sannolikhetsfördelning, exempelvis enligt en pert- eller triangelfördelning. Tillförlitlighetsanalysen genomfördes med Monte Carlo-simuleringar i @risk. Resultatet av tillförlitlighet för de olika brandtekniska systemen används sedan för urval av vilka brandtekniska system som simuleras.

3.4.2 Lösningförslagets funktion med hjälp av brandsimuleringar

För de invändiga lösningalternativen genomförs simuleringar för brandgasspridning med programmet Fire Dynamics Simulator (FDS). Simuleringarna genomförs med syftet att kunna besvara vilka av lösningalternativen som ger tillfredställande utrymningsmöjligheter i trapphuset.

Simuleringarna kommer att pröva brandskyddet utifrån två olika brandeffekter. Således kommer varje identifierat lösningalternativ att prövas med två olika brandutvecklingskurvor. En brand som är tänkt att pröva det värsta troliga brandförloppet, och en brand med mindre påfrestning på byggnadens brandskydd. Simuleringarnas utfall i kombination med lösningalternativets tillförlitlighet i jämförelse med referenslösningens tillförlitlighet avgör om trapphuset är att betrakta som godtagbar enda utrymningsväg vid respektive lösningalternativ. Vissa delscenarion simulerades inte utan bygger på kvalitativa antaganden.

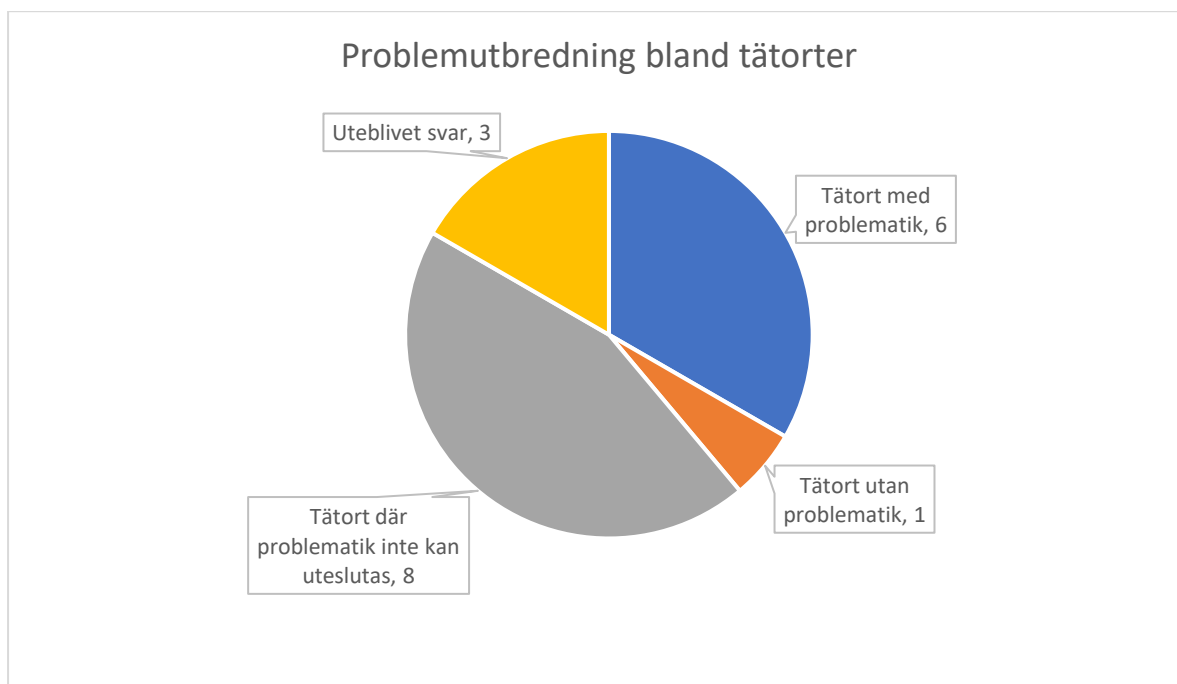
4 Kartläggning av problematikens utbredning, räddningstjänsternas metoder och typbyggnad

I detta kapitlet sammanställs utbredning samt hantering av utrymningsproblematiken runt om i Sverige. Utifrån förelägganden från urdriftagandet av gårdshävaren i Göteborg har bygglovshandlingar på fastigheter med problematiken inventerats, och en typfastighet presenteras i kapitlet. Kartläggning av utbredningen baseras på frågor om användande av specialutrustning gällande utrymningsproblematik riktad till räddningstjänster i Sverige. Räddningstjänster som uppger att de har utrymningsproblematiken, eller där utrymningsproblematiken var känd av författarna sen tidigare, intervjuas sedan för att undersöka deras hantering av problematiken.

4.1 Utbredning

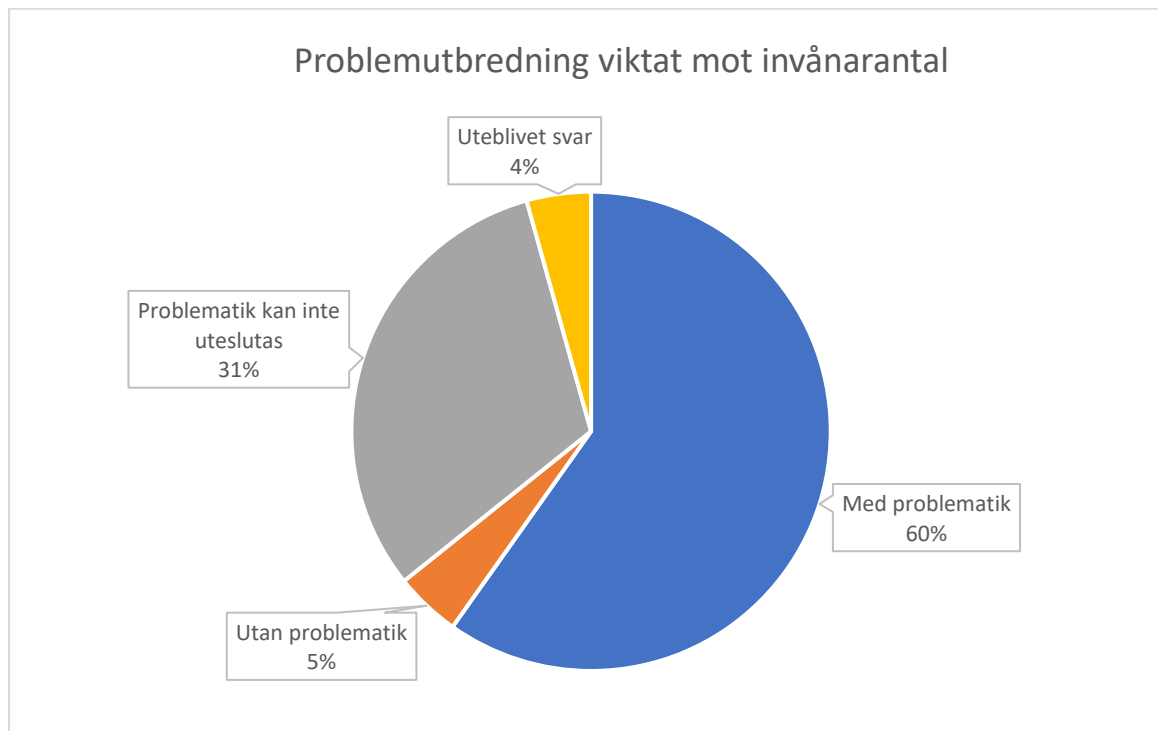
Sveriges 20 största tätorter täcks av 18 räddningstjänster i kommunal regi eller räddningstjänstförbund. Malmö samt Lund täcks av förbundet Räddningstjänsten Syd och Linköping samt Norrköping täcks av Räddningstjänsten Östra Götaland. Av de 18 tillfrågade räddningstjänsterna svarade 15 på frågan om användandet av specialutrustning. Totalt fem av de tillfrågade angav att de tillhandahåller någon form av speciallösning för utrymning av bostäder inom räddningstjänstens täckningsområde. Av dessa rörde sig två lösningar om åtkomstproblematik, och övriga om exempelvis längre maskinstege eller lösningar avsedda för att kompensera för lång insatstid till några objekt. Av de tillfrågade angav fyra att inventering av bostadsbeståndet gjorts för räddningstjänstens täckningsområde. Däremot har en del räddningstjänster delvis inventerat, eller har av erfarenhet kännedom om enstaka objekt med problematiken.

Utbredning av problematik framgår av Figur 2. I de fall räddningstjänsten svarat att specialutrustning för åtkomstproblematik används, har tätorten i fråga klassificerats som en tätort med problematik. Om räddningstjänsten svarat att de gjort en inventering som visat på att problematiken ej finns klassificeras tätorten därefter. I de fall speciallösningar inte används men där en fullständig inventering inte gjorts eller att resultatet av denna inte framgår, görs bedömningen att det inte kan uteslutas att problematiken är närvarande för tätorten.



Figur 2. Tätorter som omfattas av problematik, som inte omfattas av problematik och där problematiken inte kan uteslutas

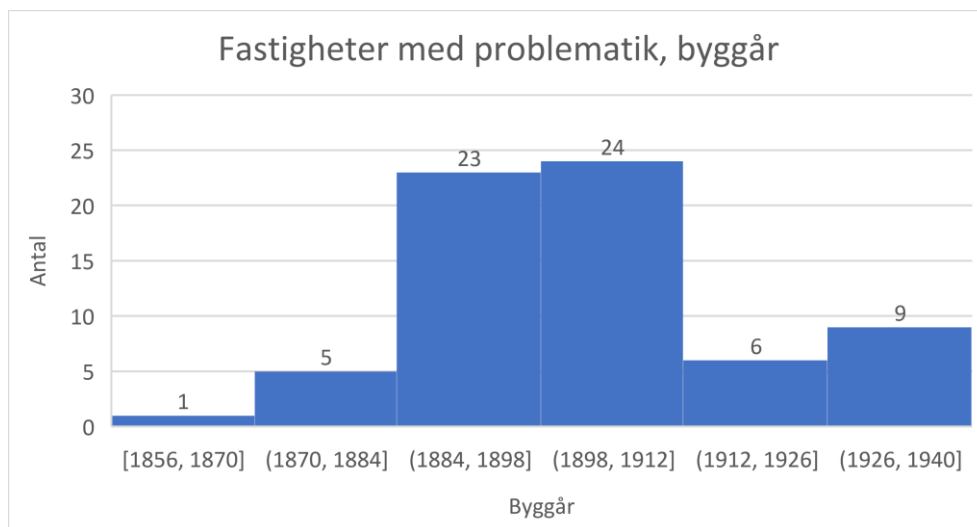
Utbredning av problematik med hänsyn till tätorternas storlek framgår av Figur 3. Här redovisas invånarantal för tätorterna, och således hur många personer som kan tänkas befinna sig i en tätort med eller utan problematik av de tillfrågade.



Figur 3. Tätorter, med hänsyn till invånarantal, som omfattas av problematik, som inte omfattas av problematik och där problematik inte kan uteslutas

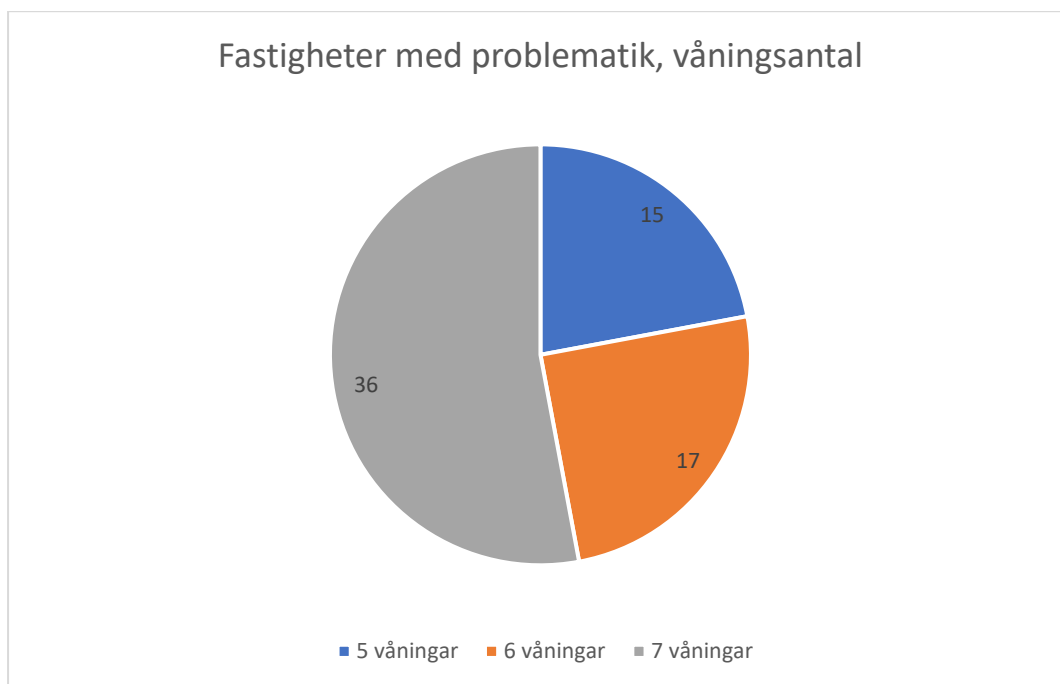
4.2 Typbyggnad

Typbyggnad konstruerades av 66 st. förelägganden som berör RSG:s beslut om avställandet av gårdshävarn. Föreläggandena är för fastigheter som förelagts om att vidta åtgärder för att kompensera för den nu borttagna möjligheten till assisterad utrymning genom fönster eller balkong. Genom dessa förelägganden kan fastigheter identifieras. Ytterligare 4 fastigheter kan identifieras genom begäran av domar från förvaltnings- och kammarrätten i Göteborg. Av de sammanlagt 70 fastigheter som kunnat identifieras är en majoritet av byggnaderna, 47 stycken, byggda mellan år 1884 och 1912. Ingen byggnad är byggd innan 1856 eller efter 1940. Byggår för de olika fastigheterna framgår av Figur 4.



Figur 4. Byggår för identifierade fastigheter med problematik

Genom att studera bygglovshandlingar för berörda fastigheter kan det fastställas att en majoritet, 36 byggnader, är upprättade i 6 våningar. Resterande byggnader är upprättade i 4 eller 5 våningar. Samtliga byggnader har vind, och de flesta vindar är inredda. Därför rör det sig i praktiken om byggnader med 5–7 våningar. Antal våningsplan för identifierade fastigheter med problematik framgår av Figur 5.



Figur 5. Antal våningsplan för identifierade fastigheter med problematik

Av de identifierade fastigheterna kan det av bygglovshandlingar utläsas att de flesta byggnader uppförts utan källarplan. I de fall källarplan existerar är det i byggnader uppförda efter 1900. Trapphuset som betjänar bostäderna är ofta i förbindelse med källarplanet, men källarplanet i sig har ofta tillgång till två av varandra oberoende trapphus.

4.3 Räddningstjänsternas hantering

Intervjuer har genomförts med de räddningstjänster som uppgett i enkäten att de har problematiken inom sitt täckningsområde, eller där problematiken varit känd sen tidigare. Frågor som ställdes under intervjuerna återfinns i Bilaga B Intervjufrågor räddningstjänstens metoder. Under respektive intervju antecknades respondentens svar. Intervjupersonerna gavs efter intervjun möjlighet att läsa igenom en sammanfattning av svaren. Svaren från intervjuerna visar på att räddningstjänsterna i Sverige har olika verktyg, fordon, och insatsmetodiker tillämpade för att bistå vid utrymning. Oftast rör det sig enbart om ett eller ett fåtal objekt där exempelvis brandlarm finns installerat för att kompensera för lång insatstid eller som säkerhetshöjande åtgärd för att längre bärbara utskjutsstegar används. Ett fåtal räddningstjänster tillämpar längre bärbara utskjutsstegar för befintliga objekt vid stegutrymning där avstånd mellan mark och fönster överstiger 11 meter. Räddningstjänsterna för Jönköping och Västerås medgav att de använde speciallösningar vid utrymning av bostäder och har därför tidigare klassificerat som tätort med problematik. Däremot handlar det för dessa räddningstjänster om enstaka objekt och inte om trång kvartersbebyggelse. Under det här delkapitlet redovisas de lösningar som olika räddningstjänster uppgett att de tillämpar på ett flertal objekt.

4.3.1 Räddningstjänsten Syd

Räddningstjänsten Syd har sedan 70-talet tillgång till en så kallad Åsbrink-stege som står på egen släpvagn och når med sina 20 meter högre än ordinarie bärbar stege.

Stegen är stationerad på deltidsstationen i Burlöv, vilket medför att den har en lång insatstid, framförallt på grund av lång framkörningstid. På grund av det används inte Åsbrink-stegen i praktiken, istället tillämpar RSYD rökdykning och stegutrymning om möjligt med hjälp av den 14 meter långa bärbara utskjutsstegen.

Räddningstjänsten Syd har inte några planer på att förelägga berörda fastigheter om att tillskapa en ny utrymningsväg och på så sätt lösa problemet byggnadstekniskt. En utredning gjord 2011 resulterade i att utrymningsproblematiken från dessa få fastigheter ej bedömdes utgöra ett stort problem.

4.3.2 Räddningstjänsten Storgöteborg

Tidigare hade Räddningstjänsten Storgöteborg gårdshävaren som användes för att kunna utrymma nödställda där ordinarie stegfordon inte kom åt.

Då gårdshävaren togs ur drift har istället byggnadstekniska lösningar för de fastigheterna med utrymningsproblematik genomförts. Då det är en nyligen avslutad process med inventering av vilka fastigheter som berörs så har Räddningstjänsten Storgöteborg valt att larma extra rökdykarresurser till berörda adresser vid insats till dess att problematiken blivit åtgärdad.

Räddningstjänsten har även tillgång till en bärbar utskjutsstege som når 12 meter räddningshöjd. Äldre byggnadsregler medgav bärbar stegutrymning upp till och med 12 meter vid projektering kunde tillgodoräknas (2018). Vid nybyggnation och dagens byggregler gäller generellt 11 meter enligt kommunernas handlingsplaner för räddningstjänsten i södra Skåne (2021), Göteborg (2017), och Stockholm (2021). Den maximalt tillåtna höjd där räddningstjänsten kan utgöra alternativ utrymningsväg regleras ej av BBR.

En stor utredning har gjorts för att dels kartlägga och dels utvärdera andra alternativ. Bland annat utrustning och insatsmetodik för att Räddningstjänsten Storgöteborg skulle kunna fortsätta hjälpa utrymmande i byggnader som berörts av problematiken. Ett liknande fordon till gårdshävaren som Storstockholms Brandförsvaret har, Alley Cat, utreddes med resultatet att den inte hade löst åtkomstproblematiken och avsågs som alternativ. Införskaffande av Åsbrink-stegar har också utretts, men avsågs med motiveringen till att det är en arbetsmiljöfråga att arbeta på så höga höjder via stege, och att den skulle ta resurser i anspråk. Räddningstjänsten Storgöteborg har därför beslutat att lösa problematiken med byggnadstekniska åtgärder.

4.3.3 Storstockholms Brandförsvaret

Storstockholms Brandförsvaret har sedan 1999 en stegbil i mindre format kallad Alley Cat stationerad på Östermalm brandstation. Fordonet har en 23 meter lång stege med kapacitet att utrymma nödställda upp till 20 meter. Alley Cat:en larmas antingen baserat på lokalkännedom eller i efterhand att kännedom uppkommit om att den behövs vid insats.

SSBF har även 14 meter långa bärbara utskjutsstegar med en räddningshöjd på 12 meter. Stegarna utgör en del av den ordinarie utrustningen. Tidigare har SSBF haft två stycken mekaniska Åsbrink-stegar som kunde utrymma nödställda upp till och med cirka 20 meter. Åsbrink-stegarna är nu ur drift.

Ett bekymmer med den nuvarande lösningen är redundansen. Det är oklart hur betryggande utrymning skulle kunna ske ifall Alley Cat:en är på service eller tillfälligt ur drift på grund av andra anledningar. Vid insats har även problematik uppstått på olika sätt. I något fall hade nödställda rymt mot balkongen på innergården i genomgående lägenheter där utrymningsstrategin utgörs av stegfordon via vägen. Det finns även en åtkomstproblematik på vissa innergårdar. Dels på grund av att vindsinredningar, parkeringar och ombyggnationer på innergården lett till svårigheter för Storstockholms Brandförsvaret att använda Alley Cat:en effektivt. Dels på grund av att insattiden i många fall där Alley Cat:en behövs överstiger 10 minuter till följd av långa angreppsvägar och avsaknad av tillfredsställande räddningsvägar. Problematiken är ej isolerad till insatser med Alley Cat:en, den återfinns även vid insatser med den bärbara utskjutsstegen.

En marknadsundersökning genomfördes 2019 för att utreda alternativa specialfordon. Undersökningen bekräftade vad andra tidigare undersökningar visat och landade i att det bästa alternativet som marknaden hade att erbjuda för tidpunkten var en gårdshävare likt den Räddningstjänsten Storgöteborg hade med korg och vikbar bom.

Det finns i nuläget ingen uttalad plan på att istället hantera problematiken med byggnadstekniska lösningar.

4.4 Byggnadsteknisk hantering

En övergripande genomgång av förelägganden och domar från förvaltningsrätten och kammarrätten samt prejudicerande fall från högsta förvaltningsdomstolen angående överklaganden på räddningstjänsten Storgöteborgs förelägganden efter gårdshävarens avställning gav upphov till ett antal byggnadstekniska lösningsförslag för att hantera utrymningsproblematiken. Med alternativ utformning menas utrymningslösningar som ej återfinns som ett allmänt råd i BBR och som istället ska uppfylla funktionskravet.

I flertalet domar där fastighetsägare överklagat föreläggande om tillskapande av alternativ utrymningsväg och föreslagit alternativ utrymningslösning har förvaltnings- och kammarrätten avslagit överklagan gjordes med motiveringen om att den föreslagna lösningen ej visats vara tillräckligt säker. Det gjordes ofta på grund av att tillförlitligheten inte ansetts vara tillräckligt utredd. En komplett lista över identifierade lösningsförslag finns i Bilaga D Identifierade lösningsförslag och grovanalys.

Den översiktliga inventering av domar och förelägganden som gjorts visar på att det i samtliga fall där brister med brandcellsgränser upptäckts har fastighetsägaren blivit förelagd om åtgärd. I de fall där föreläggandet överklagats har domstolar gått på räddningstjänstens linje. Intakta brandcellsgränser mellan lägenhet och lägenhet samt mellan lägenhet och trapphus utgör därmed

ett skäligt brandskydd enligt 2. kap 2 § LSO (2010:900), och är således en förutsättning för denna analys.

5 Byggnadstekniska lösningar

Från litteratursökning och granskning av rättsfall samt förelägganden gällande utrymningsproblematiken efter urdriftstagande av gårdshövaren identifierades ett flertal tänkbara lösningsalternativ. I detta kapitel redovisas och beskrivs de identifierade lösningarna som valts ut att analyseras vidare. En komplett lista av identifierade lösningar samt motivering av urval återfinns i Bilaga D Identifierade lösningsförslag och grovanalys.

5.1 Utvändiga lösningar

Följande delkapitel innehåller en mer detaljerad beskrivning av identifierade utvändiga lösningsalternativ som syftar till att uppfylla kravet om två av varandra oberoende utrymningsvägar och som valts ut att analyseras vidare.

5.1.1 Utvändig utrymningstrappa

Lösningen avser en trappa längs husets fasad hela vägen ner till marknivå. Trappan ansluts till fönster eller balkong för de bostadslägenheter som präglas av utrymningsproblematik. Fönster tillhörande trapphuset, eller lägenheter som är anslutna till samma trapphus som betjänar lägenheterna med utrymningsproblematik, utförs i brandteknisk klass i de fall fönsterna är närbelägna den utvändiga trappan.

Lösningalternativet är ofta en av räddningstjänsten föreslagen lösning i de granskade förlägganden som bostäder förelagts med i samband med RSG:s urdrifttagande av gårdshövaren.

5.1.2 Utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats

Lösningen avser en trappa längs delar av husets fasad, ner till en lägre belägen avsats. Trappan ansluts till fönster eller balkong för de bostadslägenheter som präglas av utrymningsproblematik. Avsatsen är som högst placerad på den maximala höjd som räddningstjänsten har förmåga att bistå med assisterad utrymning till med bärbar stege, det vill säga 11 meter ovan mark. Från avsatsen inväntar den nödställda räddningstjänsten.

Lösningalternativet med utvändig utrymningstrappa till lägre belägen avsats har använts i praktiken och fått godkänt av RSG i samband med urdrifttagandet av gårdshövaren.

5.1.3 Fast monterad stege

Utrymning via fast monterad stege med ryggskydd i fasad sker på samma sätt som en utvändig utrymningstrappa, med skillnaden att de nödställda måste klättra ner.

5.1.4 Fast monterad stege till tillfälligt säker plats

En fast stege försedd med ryggskydd monteras längs delar av husets fasad, ner till lägre belägen avsats. Stegen ansluts till fönster eller balkong för de bostadslägenheter som präglas av utrymningsproblematik. Likt föregående lösningsalternativ med utrymningstrappa, är avsatsen maximalt placerad 11 meter ovan mark och därifrån inväntar den nödställda räddningstjänsten.

Utrymning via fast monterade stege från verksamhetsklass 3A kan användas i byggnader i byggnadsklass Br2 och Br3 där avstånd mellan mark och fönsterkarm eller balkongräcke understiger 8 m (Boverket, 2011:6).

5.1.5 Fast monterad liststege till tillfälligt säker plats

Utrymning med fast monterad liststege sker på samma sätt som en fast monterad stege, med skillnaden att de nödställda behöver dra ut sprinten och sedan fälla ut stegen.

5.1.6 Lucka i balkong

Från bostadslägenhet som präglas av utrymningsproblematik uppförs en balkong med lucka. Från luckan kan den nödställda utrymma till balkong på våningsplanet under via en stege förutsatt att den lägre balkongen kan nås med räddningstjänstens bärbara stegutrustning. Därifrån inväntar den nödställda räddningstjänsten.

Nödbalkonger är inte ett vedertaget lösningsalternativ vid nybyggnation i Sverige. Däremot har olika varianter historiskt använts utomlands i varierande omfattning, exempelvis i USA (André, 2006).

5.1.7 Loftgång till trapphus

Lösningalternativet avser en utvändig loftgång längs husfasaden. Loftgången ansluts från bostadslägenhet med utrymningsproblematiks fönster eller balkong, till ett annat trapphus än det som primärt betjänar bostaden. Eventuella fönster vettandes mot loftgången i annan brandcell utförs med brandteknisk klass.

Lösningalternativ som ger möjlighet att nå annat trapphus ses av RSG som en rekommenderad lösning.

5.1.8 Utrymning till tak

Från bostadslägenheter som präglas av utrymningsproblematik ansluts en utvändig trappa, som leder till en avsats på byggnadens tak. Via taket nås den nödställda med räddningstjänstens maskinstege på gatusidan.

Lösningalternativ som tillskapar en väg till taket som tillfälligt säker plats har setts av RSG som en rekommenderad lösning.

5.2 Invändiga lösningar

Följande delkapitel innehåller en mer detaljerad beskrivning av identifierade invändiga lösningalternativ som syftar till att uppfylla kravet en enda utrymningsväg och alternativ utformning av ett Tr2-trapphus och som valts ut att analyseras vidare.

5.2.1 Boendesprinkler

Sprinklersystem kan utformas på flera olika sätt och med olika användningsområden. En typ av sprinklersystem, boendesprinkler, används för att dämpa och kontrollera brandförloppet. Möjliga

lösningar innefattar exempelvis boendesprinkler och dimsprinkler. Boendesprinkler har visat sig vara effektiv i att kontrollera och fördröja brandförloppet (Nystedt, 2001). Lägenheter skulle kunna förses med ett automatiskt boendesprinklersystem för att kontrollera en eventuell brand och på så sätt öka tid till kritiska förhållanden och tillgänglig tid för utrymning. Nystedt (2001) menar vidare på att boendesprinkler är speciellt effektivt i de fall där de boende utgörs av en utsatt grupp som inte klarar av att utrymma på egen hand. Boendesprinkler installeras normalt med våtrörsystem.

5.2.2 Automatisk brandgasventilation

Brandgasventilation i trapphus utgör föreskriftskrav i Br1 byggnader där trapphuset kan antas utgöra räddningsväg för räddningstjänsten (Boverket, 2011:6). Som allmänt råd i BBR skrivs det att brandgasventilation av trapphus kan utgöras av röklucka i taket och bör i byggnader med högst åtta våningsplan vara minst 1 m². Rökluckan öppnas vanligen med manöverdon i anslutning till entrén. Ett automatiskt brandgasventilationssystem kan aktiveras vid detekterad brand och öppna rökluckan tidigare än när räddningstjänsten är på plats. Genom att trapphuset förses med brandgasventilation kan trapphuset ventileras från brandgaser och rök. Lösningen ökar den tillgängliga tiden för utrymning genom att dels minska koncentrationen giftiga gaser och sänka temperaturen i trapphuset, men framförallt ökar siktbarheten genom att mindre mängd brandgaser ansamlas i trapphuset. Automatisk brandgasventilation kan ställa krav på att erforderlig tilluft finns. I rapporten representeras automatisk brandgasventilation av naturlig ventilation, men kan i praktiken även utföras med mekaniska fläktar.

5.2.3 Dörrstängare

Lägenhetsdörrar och dörrar som står i direkt anslutning till trapphuset kan förses med dörrstängare för att dörrar ej ska lämnas uppställda vid brand. På så sätt kan ansamlingen av rök och brandgaser minska i trapphuset i det tidiga brandförloppet, och tiden till när kritiska förhållanden uppstår och utrymning ej är möjlig öka. En dörrstängare kan se ut och fungera på flera olika sätt.

En dörrstängare kan vara utrustad med så kallad freeswing-funktion. Dörrstängare-funktionen aktiveras först vid detektion av brand, likt en dörr uppställd på magnet. Detektor kan antingen vara placerad i tak vid anslutning till dörrbladet eller i själva dörrstängaren, alternativt kopplat via centralt brandlarm. Fördelen med dörrstängare med freeswing-funktion är att nyttjare inte märker av dörrstängaren i vardagen. Sannolikheten minskar då för att dörrstängaren hängs av eller monteras ned, och således bör felsannolikheten för att dörrstängare ej stänger dörr vid brand minska.

5.2.4 Brandgastät dörr

I Sverige finns två stycken klassificeringar av brandgastäthet på dörrar; S_{200} (tidigare S_m) och S_a (Boverket, 2020). Där den förstnämnda är provad för att klara av medelvarm rök (200°C), och sistnämnda för kall eller omgivningstempererad rök. För S_a kan en springa tillåtas mellan tröskel och dörrblad. Vid nybyggnation ska dörrar som vetter mot trapphus som utgör utrymningsväg vara klassificerad med S_{200} . För dörrar som vetter mot utrymningsväg gäller generellt brandgastäthetsklass S_a vid nybyggnation. En röktät dörr förhindrar att brand- och brandgaser sprids.

6 Grundförutsättning för analys

Förutsättningar i detta kapitlet ligger till grund för kommande analys av byggnadstekniska lösningar.

6.1 Typbyggnad

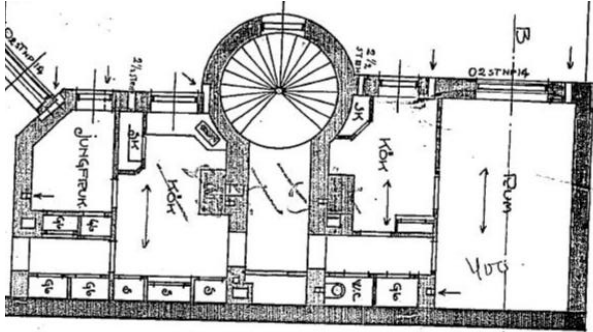
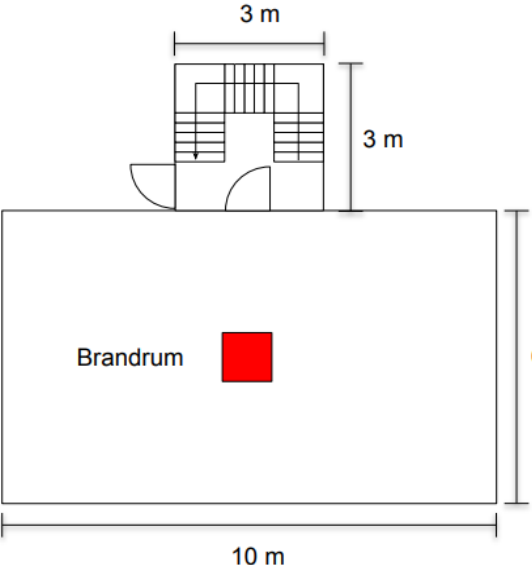
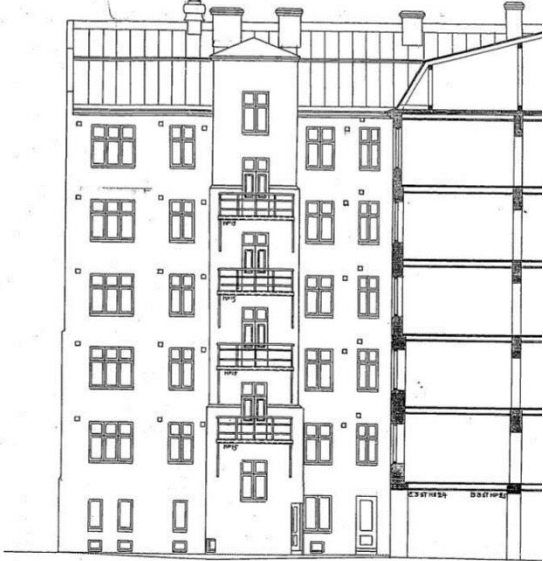
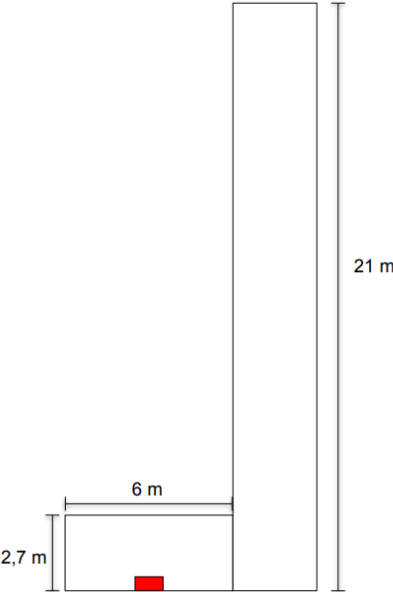
Av de identifierade tidstypiska fastigheterna har en typbyggnad konstruerats. Där variationer i planlösning och konstruktion observerats hos de undersökta byggnaderna har i möjlig mån konservativa val gjorts i framtagandet av typbyggnad, för att på så sätt öka rapportens externa validitet. Trapphuset har därav valts till att utgöras av ett pigtrapphus som ofta är mindre än ett konventionellt huvudtrapphus. Pigtrapphuset förenklades till kvadratisk form med en area på 9 m². En liten volym gör att trapphuset lättare och snabbare rökfylls, och att höjden på brandgaslagret ökar. En mindre volym av trapphuset gör även att ett eventuellt läckage av giftiga brandgaser in till trapphuset snabbare når toxiska koncentrationer. För framtagandet av typbyggnad gjordes av samma anledning antagandet om endast en lägenhet per plan, och således ett minimerat trapplan. Lägenheter i typbyggnaden antogs vara 60 m² då det motsvarar genomsnittsytan av en bostadslägenhet i Sverige (SCB, 2016). Brandrummets vägg-, golv- och takmaterial ansattes till 12,5 mm gips på vardera sida reglarna fylld med mineralullsisolering med en tjocklek av 150 mm, vilket motsvarar en typisk brandcellsgräns i brandteknisk klass EI 60 enligt Svenskt Trä (2022). Trapphusets väggar, golv och tak ansattes till betong. Lägenhetsdörren var placerad 0,8 m från närmsta trappsteg. Räddningstjänstens insatstid till typbyggnaden understiger 10 minuter.

Typbyggnaden antogs till 7 våningsplan inklusive vind. Takhöjd i brandrum och trapphus antogs med hänseende till byggår för identifierade byggnader med problematiken till 2,7 m. Höjd på bjälklag ansattes till 0,3 m. Således är varje våningsplan 3 meter i höjddled. Typbyggnaden saknar källare. Ett Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering ställer krav på att trapphuset ej står i direkt förbindelse med trapphuset, i syfte att förhindra eventuell rökspridning till trapphuset från en källarbrand vid släckinsats. En alternativ utformning av Tr2-trapphus där byggnaden har ett källarplan behöver alltså beakta det och uppfylla funktionskravet.

Samtliga brandcellsgränser förutsattes vara intakta och uppfylla EI 60. Bjälklag utgjorde brandcellsgräns. Antagandena har ingen påverkan på den jämförande analysen. Lägenhetsdörrar uppfyllde om inget annat anges brandteknisk klass EI 30.

Exempelbyggnad från byggnadsinventering och principskiss i plan och sektion av typbyggnaden presenteras i Tabell 3.

Tabell 3. Exempelbyggnad från inventering och principskisser över typbyggnad

Byggnad från inventering	Typbyggnad
 <p>Figur 6. Exempel på planritning med problematik från byggnadsinventering.</p>	 <p>Figur 7. Principskiss planritning av brandrum, röd ruta motsvarar brandplacering.</p>
 <p>Figur 8. Exempel på sektionsritning med problematik från byggnadsinventering.</p>	 <p>Figur 9. Principskiss av brandrum i sektion.</p>

6.2 Brandscenario

Branden antogs starta i mitten av rummet på nedersta våningsplanet. Identifierade invändiga lösningsalternativ testades med dels en liten och dels en stor brand. Effektutvecklingarna togs från BBRAD för bostadsbränder (2 respektive 5 MW med ”snabb” tillväxt dvs $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$). För en effektutveckling på 5 MW visar beräkningarna på att övertändning sker. Beräkningarna återfinns i Bilaga F Simuleringsförutsättningar. Den maximala effektutveckling som kan ske vid övertändning bestämdes utifrån beräkningar för maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand enligt Ekvation 8 i Bilaga F Simuleringsförutsättningar. På grund av begränsningar i FDS simulerades ej övertänd brand, utan behandlades enbart med kvalitativa resonemang. I de fall boendesprinkler var aktuellt antogs brandens maximala effektutveckling till effektutvecklingen vid sprinkleraktivering vara konstant under en minut. Därefter avtogs effektutvecklingen till en tredjedel av den maximala effektutvecklingen under den efterföljande minuten enligt BBRAD. Effektutvecklingen för den sprinklade branden hölls sedan konstant under resterande del av brandförloppet. Brandbeteende för liten, stor, och sprinklerkontrollerad brand framgår av Tabell 4 nedan, och beräkningarna redovisas i Bilaga F Simuleringsförutsättningar.

Tabell 4. Brandbeteende för liten, stor och sprinklerkontrollerad brand

Brand	Brandbeteende
Liten brand	Växer till en effekt av 2,0 MW, därefter konstant effekt under resterande del av brandförloppet.
Stor brand	Växer till en effekt av ca 3,8 MW, därefter sker övertändning och effektutvecklingen ökar till 8,3 MW.
Sprinklerkontrollerad brand	Växer till en effekt av 0,36 MW, därefter konstant effektutveckling under en minut, för att sedan avta till en tredjedel av maxeffekten.

Vid brandrummets norra sida, mot innergården, ansattes totalt fyra fönster som förutsattes gå sönder vid en temperaturökning på 280°C (Xie et al., 2008). Liten och sprinklad brand antogs vara bränslekontrollerad vilket kontrollerades med handberäkningar och efter erhållna simuleringsresultat.

Läckage genom brandrummets ytterväggar ansattes som 'Loose' från SFPE handboken (Hurley et al., 2015). Läckagearean i väggar framgår i Tabell 5 **Error! Reference source not found..**

Tabell 5. Läckagearea per areaenhet vägg, väggareor, läckageareor och totalt läckage från trapphus och brandrum.

Variabel	Värde
Läckagearea per areaenhet vägg, -	0,00035

Ytterväggarea, brandrum m ²	19
Ytterväggarea trapphus, m ²	186
Läckage brandrum, m ²	0,007
Läckage trapphus, m ²	0,065
Läckage totalt, m ²	0,072

Arean av läckaget för lägenhetsdörren (EI 30) antogs motsvara den maximalt tillåtna glipan mellan dörrblad och karm vid provning av branddörrar enligt provningsstandard SS-EN 16034:2014, och återfinns i Tabell 6 nedan.

Tabell 6. Dörr- och läckagedimensioner för branddörr mellan brandrum och trapphus.

Variabel	Värde
Höjd, m	2,1
Bredd, m	0,9
Läckage karm, m ²	0,0009
Läckage tröskel, m ²	0,0225
Läckage totalt, m ²	0,0234

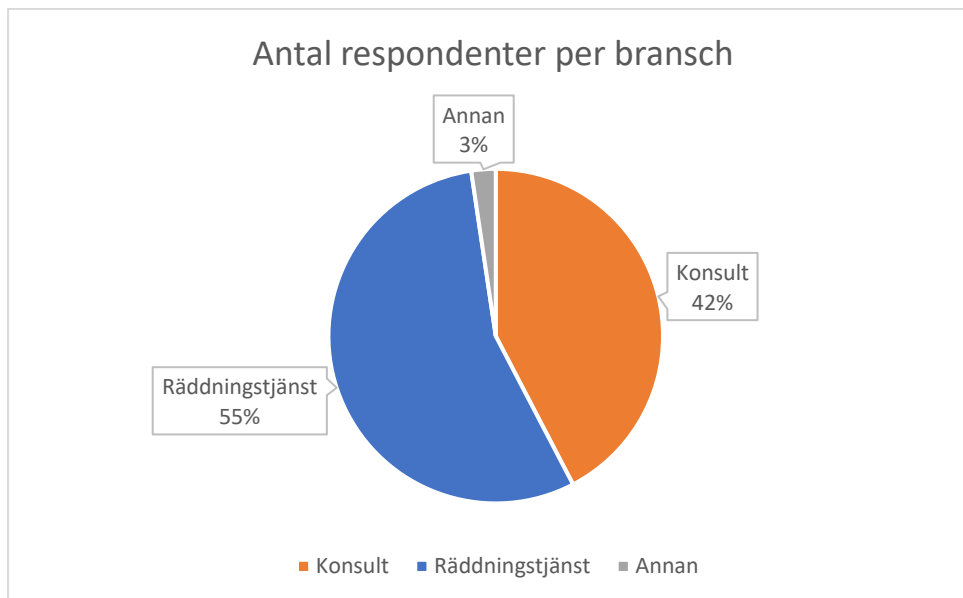
För en mer detaljerad redovisning av brandscenarier och simuleringsförutsättningar, se Bilaga F Simuleringsförutsättningar.

7 Analys av byggnadstekniska lösningsförslag

I detta kapitlet redovisas resultat från enkäten som behandlar utvändiga lösningar. Därefter analyseras resultatet i kommande riskvärdering. Sedan presenteras resultat för invändiga lösningar. Skattade värden för tillförlitlighet visas följt av simuleringsresultat. Tillförlitlighetsanalysen och simuleringsresultaten vägs samman, och slutligen utförs känslighetsanalyser.

7.1 Utvändiga lösningar

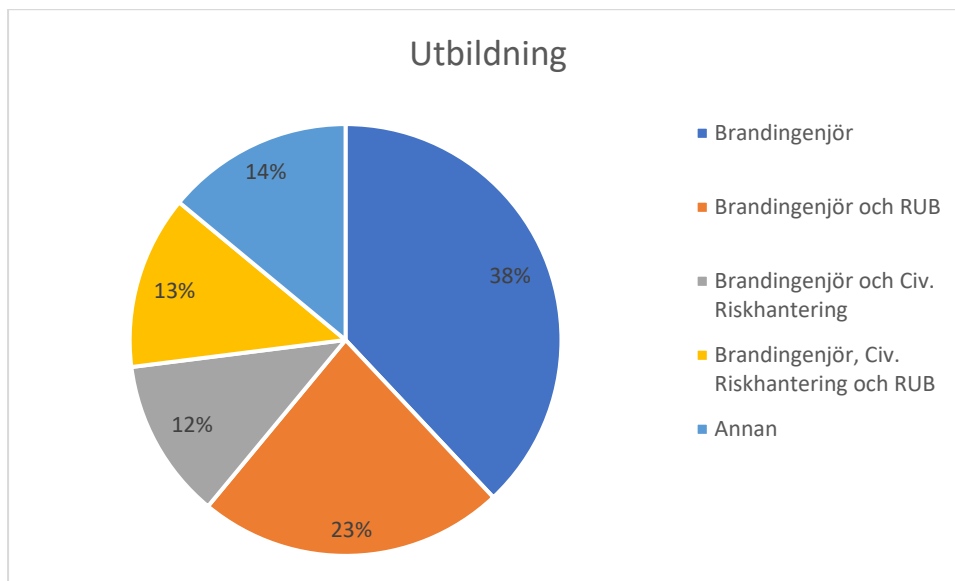
Enkäten skickades ut till räddningstjänsterna i de största tätorterna (31 st.) i Sverige, brandkonsultföretag (23 st.), samt Länsstyrelsen i Västra Götaland. Recipienterna uppmanades distribuera enkäten till kollegor. Det är därav ovisst hur många personer som fått enkäten, och således svårt att uppskatta en svarsfrekvens. Andel respondenter uppdelat på angiven bransch framgår av Figur 10. Angiven relevant arbetserfarenhet för respektive bransch presenteras i Tabell 7. Utbildningsnivån för respondenterna framgår av Figur 11.



Figur 10. Antal respondenter från varje bransch-kategori.

Tabell 7. Arbetserfarenhet uppdelat på angiven bransch. Respondenter som angett 'Annan' ingår i totala antalen

Bransch	Angiven arbetserfarenhet			Totalt antal
	< 5 år	5–10 år	> 10 år	
Brandkonsult	9% (8 st.)	13% (11 st.)	20% (17 st.)	36 st.
Räddningstjänst	9% (8 st.)	21% (18 st.)	25% (21 st.)	47 st.
Totalt	19% (16 st.)	34% (29 st.)	47% (40 st.)	85 st.



Figur 11. Antal respondenter från varje utbildningskategori.

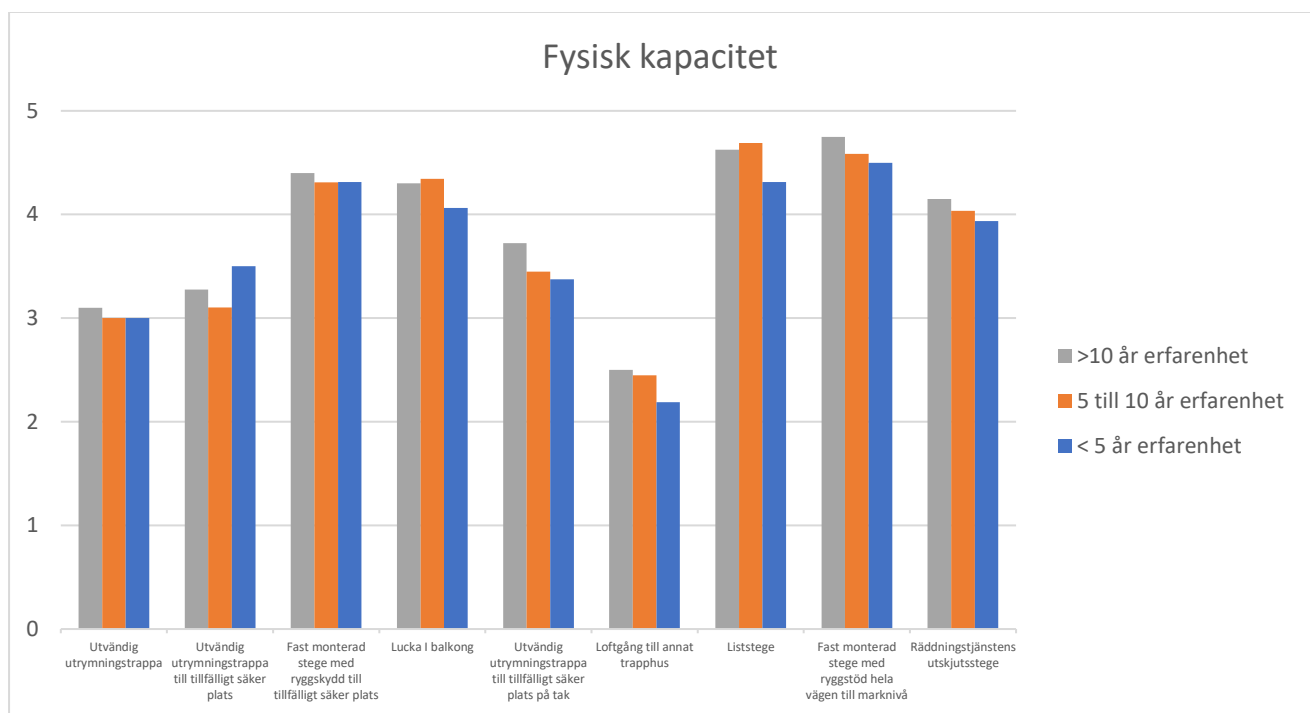
De som fyllt i 'annan' utbildning i enkäten gavs möjlighet att ge fritextsvar. Bland respondenterna som fyllt i annan utbildning var Skydd Mot Olyckor (SMO) och brandinspektör det vanligast förekommande svaret följt av civilingenjör inom brandteknik. Det samlade resultatet för alla svarande presenteras som medelvärden med konfidensintervall för respektive egenskap och utrymningslösning i Tabell 8. I enkäten ombads respondenten att betygsätta hur väl egenskapen stämmer överens på utrymningslösningen på en femgradig skala från *obetydlig* (1) till *mycket hög* (5). Ett lägre värde innebar att lösningen ansågs som bättre och vice versa.

En fullständig presentation av enkätresultatet återfinns i Bilaga E Utformning och sammanställning enkät – utvändiga utrymningslösningar.

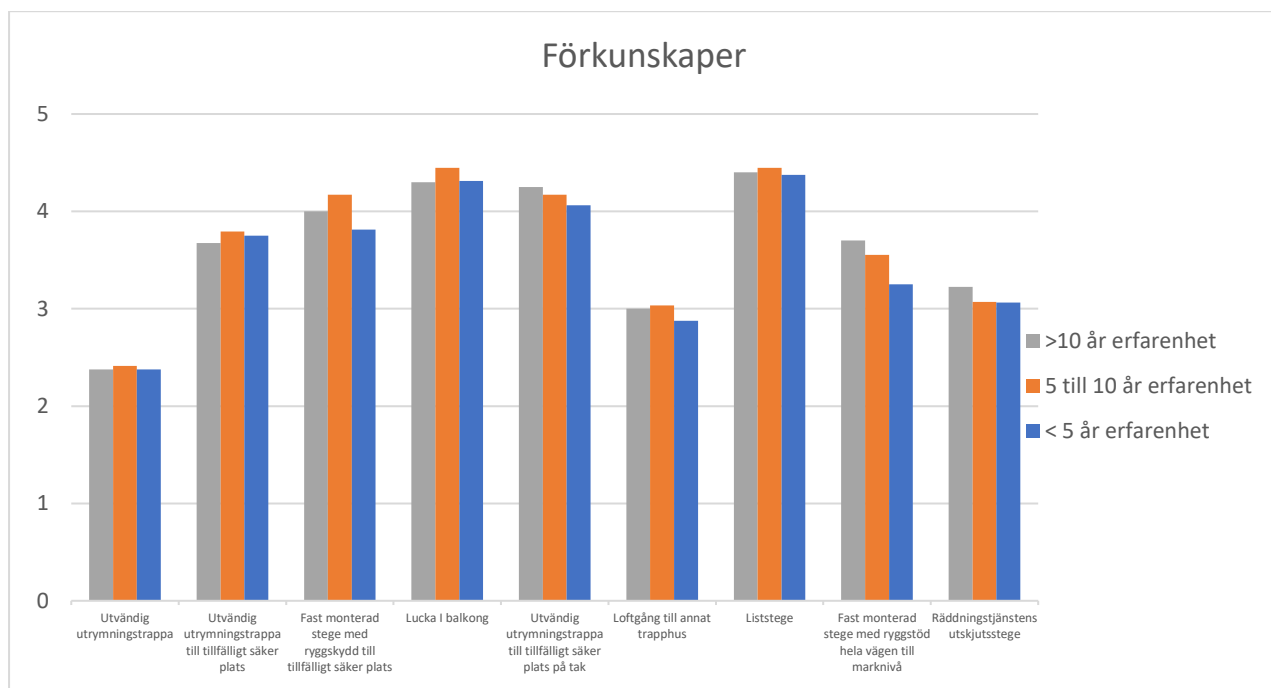
Tabell 8. Medelvärde för respektive lösning och fråga där 1 motsvarar obetydlig och 5 mycket hög. Ett lägre värde innebar att lösningen ansågs som bättre och vice versa. 90% konfidensintervall anges inom parentes

Lösning	ID	Fysisk kapacitet	Förkunskaper	Yttre faktorer	Person skador	Kritiska förhållanden
Utvändig utrymningstrappa	1	3,0 (2,0-4,0)	2,4 (1,0-4,0)	3,0 (2,0-4,0)	2,6 (1,0-4,0)	2,3 (1,0-3,0)
Utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats	2	3,3 (2,0-5,0)	3,7 (2,0-5,0)	3,6 (2,0-5,0)	3,1 (2,0-4,0)	3,1 (1,0-4,8)
Fast monterad stege med ryggskydd till tillfälligt säker plats	3	4,4 (3,2-5,0)	4,0 (3,0-5,0)	3,8 (2,2-5,0)	3,9 (3,0-5,0)	3,1 (1,2-5,0)
Lucka i balkong	4	4,3 (3,0-5,0)	4,4 (3,0-5,0)	4,4 (3,2-5,0)	3,8 (2,2-5,0)	3,2 (1,2-5,0)
Utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak	5	3,6 (2,0-5,0)	4,2 (3,0-5,0)	3,8 (3,0-5,0)	3,4 (2,0-5,0)	3,2 (1,2-5,0)
Loftgång till annat trapphus	6	2,4 (1,0-3,0)	3,0 (2,0-4,0)	2,8 (2,0-4,0)	2,3 (1,0-3,0)	2,3 (1,0-3,0)
Liststege	7	4,6 (4,0-5,0)	4,4 (4,0-5,0)	4,2 (3,0-5,0)	4,3 (3,0-5,0)	3,2 (2,0-5,0)
Fast monterad stege med ryggstöd hela vägen till marknivå	8	4,6 (4,0-5,0)	3,6 (2,2-5,0)	3,6 (2,0-5,0)	4,1 (3,0-5,0)	2,9 (1,2-4,0)
Räddningstjänstens utskjutsstege	9	4,1 (3,0-5,0)	3,1 (2,0-5,0)	3,5 (2,0-5,0)	3,8 (3,0-5,0)	3,1 (1,2-4,8)

Det föreföll finnas en skillnad i hur respondenterna svarade på frågorna beroende på angett antal år med relevant erfarenhet. De som angett mer än 10 års erfarenhet svarade att de olika lösningarna var sämre på nästintill samtliga frågor för samtliga lösningar än de med mellan 5 och 10 års erfarenhet svarade. Respondenter med mindre än 5 års erfarenhet angav att lösningarna var bättre relativt än de med mellan 5 till 10 års erfarenhet och de med 10 års erfarenhet svarat. Störst skillnad återfanns i frågan i ”Risk att utrymmande utsätts för kritiska förhållanden (exempelvis temperatur eller sikt)?” mellan de med 5 års erfarenhet jämfört med de med mer än 10 års erfarenhet. Resultatet framgår i Figur 12. Skillnaden kunde dock ej påvisas vara statistiskt signifikant med ett Welch t-test för alla utrymningslösningar. Endast för utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats samt fast monterad stege med ryggskydd till tillfälligt säker plats kunde skillnaden påvisas vara statistiskt signifikant med 95% säkerhet. Minst skillnad återfanns i frågan ”Utrymningslösningens krav på förkunskaper?”, vilket framgår av Figur 12 Figur 13 nedan. Alla respondenternas svar uppdelat i angiven relevant arbetserfarenhet redovisas i Bilaga E Utformning och sammanställning enkät – utvändiga utrymningslösningar.



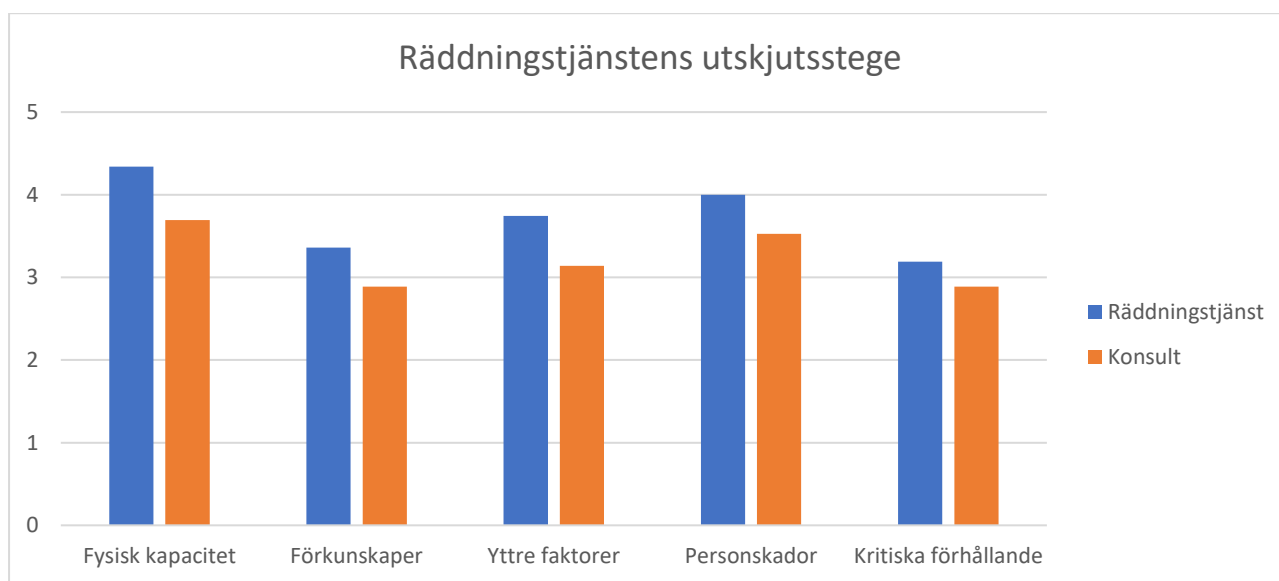
Figur 12. Respondenternas svar på frågan ”Fysisk kapacitet för att klara av att utrymma med hjälp av lösningen?” uppdelat på angett antal år med relevant erfarenhet.



Figur 13. Respondenternas svar på frågan "Utrymningslösningens krav på förkunskaper?" uppdelat på angett antal år med relevant erfarenhet.

Det föreföll också finnas en relativt stor skillnad i svaren mellan brandkonsulter och anställda på räddningstjänsten. På nästintill samtliga frågor och lösningar svarade respondenter som uppgett att de arbetade som brandkonsult att lösningarna var säkrare än anställda på räddningstjänst svarat. Svar uppdelat på angett bransch redovisas i Bilaga E Utformning och sammanställning enkät – utvändiga utrymningslösningar.

En noterbart relativt stor skillnad som noterats mellan respondenter som angivit brandkonsult respektive på räddningstjänst som bransch är svaren på räddningstjänstens utskjutssteg, vilket framgår i Figur 14 nedan.



Figur 14. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om räddningstjänstens utskjutsstege uppdelat i vad man angett för bransch.

För att undersöka om skillnaden är statistisk signifikant gjordes ett dubbelsidigt Welchs t-test. Resultatet påvisade att det finns en statistisk signifikant skillnad med 99% säkerhet i alla frågor om räddningstjänstens utskjutsstege förutom i frågan om risk för att utrymmande utsätts för kritiska förhållanden.

7.2 Riskvärdering

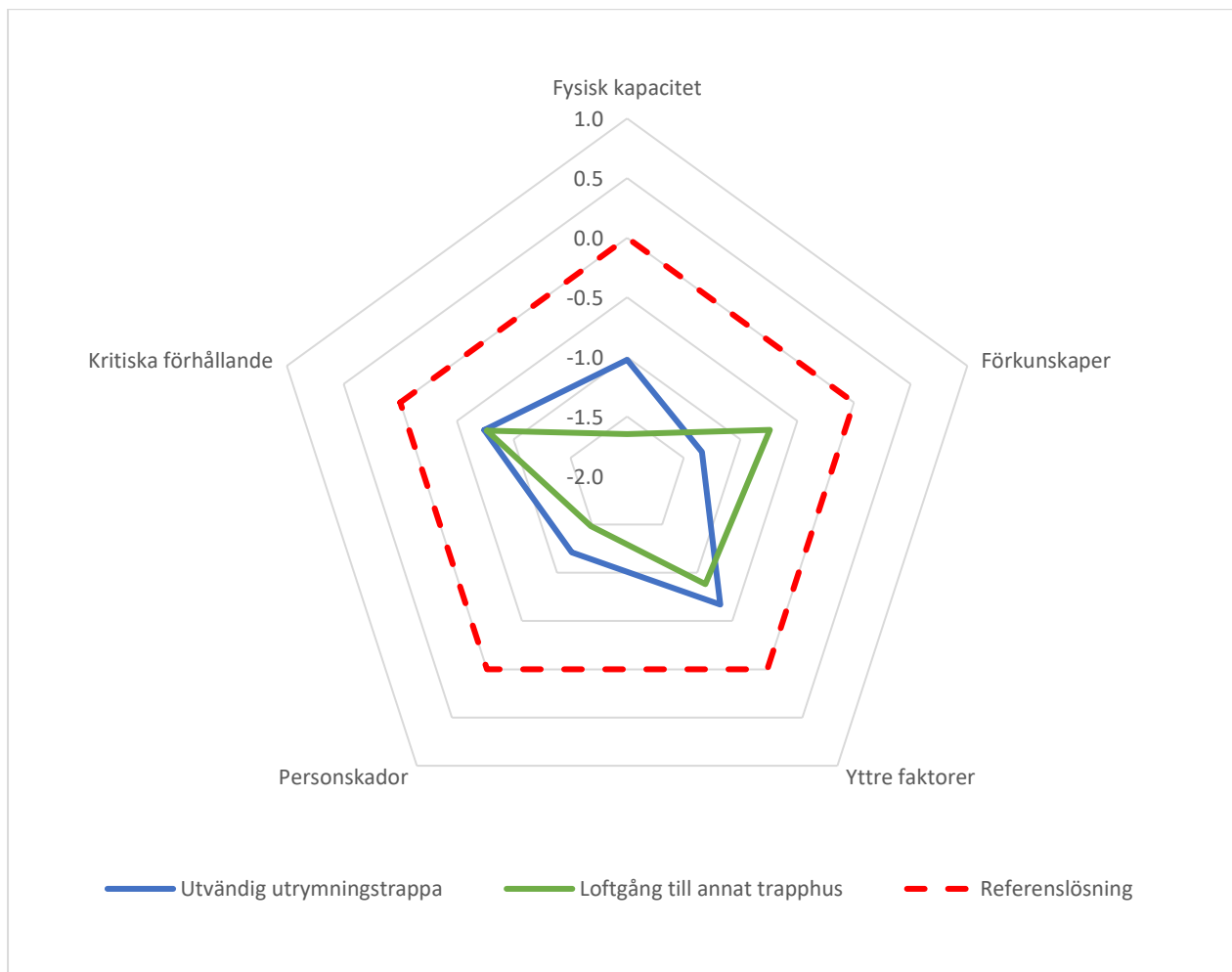
Enkätresultatet med jämförelse av referenslösningen presenteras i Tabell 9. Gulskrafferade celler är referenslösningen och dess värde motsvarar högsta värde, alltså sämst värde, av utvändigt utrymningstrappa till tillfälligt säker plats samt räddningstjänstens utskjutsstege från Tabell 8. Grönskrafferade celler i tabellen motsvarar lösning som värderats som bättre eller lika bra jämfört med motsvarande för referenslösningen. Rödskrafferade celler motsvarar ett medelvärde högre än referenslösningen. I tabellen redovisas även medelvärdesskillnad för aktuell lösning och referenslösning.

Tabell 9. Medelvärde för respektive lösning och fråga. Värdena i tabellen kan utläsas som 1,0=obetydlig, 2,0=mycket låg, 3,0=låg, 4,0=hög, 5,0=mycket hög. I parentes redovisas medelvärdesskillnad för aktuell lösning och referenslösning

Lösning	ID	Fysisk kapacitet	Förkunskaper	Yttre faktorer	Person skador	Kritiska förhållanden
Referenslösning (Högst värde av 2 och 9 från Tabell 8)	*	4,1	3,7	3,6	3,8	3,1

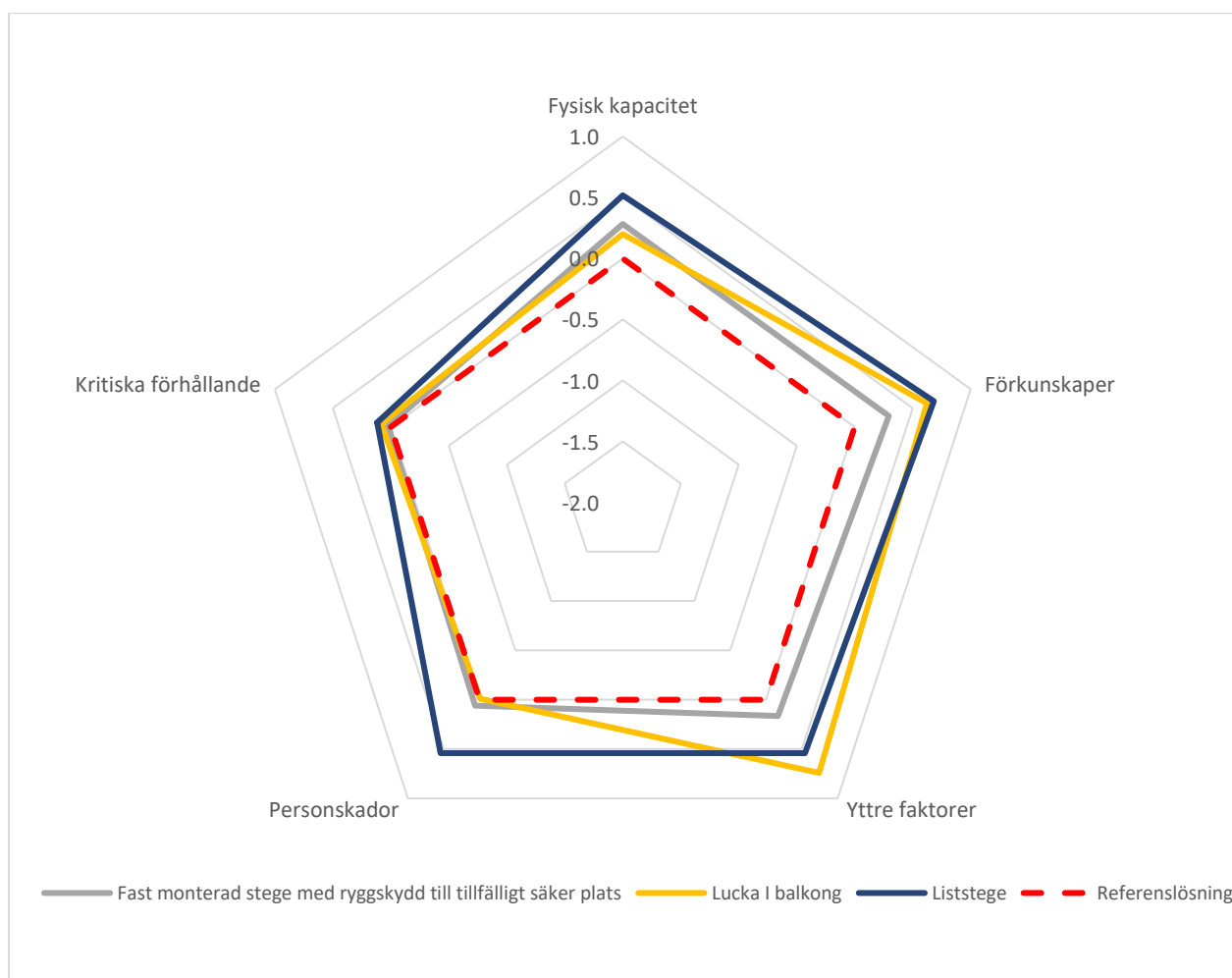
Utvändig utrymningstrappa	1	3,0 (-1,1)	2,4 (-1,3)	3,0 (-0,6)	2,6 (-1,2)	2,3 (-0,8)
Fast monterad steg med ryggskydd till tillfälligt säker plats	3	4,4 (+0,3)	4,0 (+0,3)	3,8 (+0,2)	3,9 (+0,1)	3,1 (±0)
Lucka i balkong	4	4,3 (+0,2)	4,4 (+0,7)	4,4 (+0,8)	3,8 (±0)	3,2 (+0,1)
Utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak	5	3,6 (-0,5)	4,2 (+0,5)	3,8 (+0,2)	3,4 (-0,4)	3,2 (+0,1)
Loftgång till annat trapphus	6	2,4 (-1,5)	3,0 (-0,7)	2,8 (-0,8)	2,3 (-1,5)	2,3 (-0,8)
Liststege	7	4,6 (+0,5)	4,4 (+0,7)	4,2 (+0,6)	4,3 (+0,5)	3,2 (+0,1)
Fast monterad steg med ryggstöd hela vägen till marknivå	8	4,6 (+0,5)	3,6 (-0,1)	3,6 (±0)	4,1 (+0,3)	2,9 (-0,2)

Vid jämförelse av respondenternas svar på lösningsalternativen och referenslösningen framgår det att utvändigt utrymningstrappa hela vägen ner till marknivå och loftgång till annat trapphus får lägre (bättre) värde på samtliga tillfrågade egenskaper. Båda lösningar borde således kunna anses ge bättre utrymningsmöjligheter än lägsta kravnivå enligt dagens gällande byggregler. Loftgång till annat trapphus får i sin tur bättre värdering på samtliga egenskaper jämfört med utvändigt utrymningstrappa hela vägen ner till marknivå. Skillnaden kunde påvisas vara statistiskt säkerställd. Medelvärdesskillnad för respektive kvalitetsdimension och lösningsalternativ som kan anses bättre än referenslösning illustreras i Figur 15.



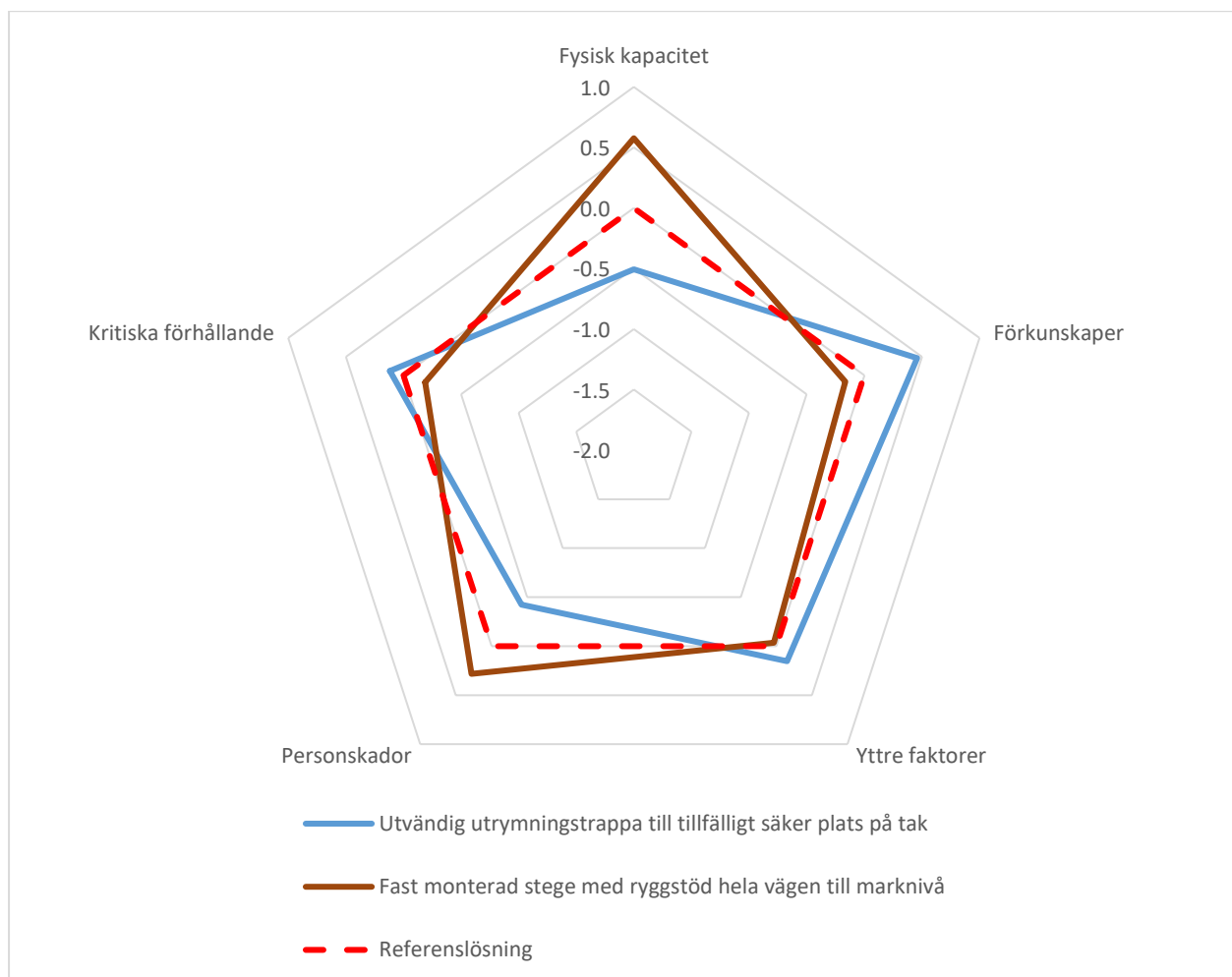
Figur 15. Medelvärdeskillnad mellan utvändig utrymningstrappa hela vägen ner till marknivå, loftgång till annat trapphus samt referenslösning.

Fast monterad stege med ryggstöd till tillfälligt säker plats samt liststege till tillfälligt säker plats fick sämre värden på samtliga egenskaper än referenslösningen. Det samma gällde för lucka i balkong, förutom risk för personskador, som respondenterna ansågs likvärdig med referenslösningen. Medelvärdeskillnad för respektive kvalitetsdimension och lösningsalternativ som kan anses sämre än referenslösningen illustreras i Figur 16.



Figur 16. Medelvärdeskillnad mellan fast monterad stege med ryggskydd till tillfälligt säker plats, lucka i balkong, liststege till tillfälligt säker plats och referenslösning.

Fast monterad stege med ryggskydd hela vägen till marknivå fick något lägre värden i enkäten på frågan om kritiska förhållanden, och ansågs alltså vara bättre än referenslösningen ur den aspekten. Däremot kan det inte påvisas att lösningens funktion är bättre än referenslösningen då respondenterna ansåg att risken för personskador är högre för fast monterad stege, än referenslösningen. Lösningen ställer lägre krav på förkunskaper, men högre krav på fysisk kapacitet hos den utrymmande. Fast monterad stege hela vägen ner till marknivå kan därför inte anses ha lägre krav på mänskligt agerande än referenslösningen. Medelvärdeskillnad för respektive kvalitetsdimension och lösningsalternativ som är delvis bättre, och delvis sämre än referenslösning illustreras i Figur 17.



Figur 17. Medelvärdeskillnad mellan utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak, fast monterad stege med ryggstöd hela vägen till marknivå och referenslösning.

7.3 Invändiga lösningar

Av de identifierade lösningsalternativen som presenterats i delkapitel 5.2 sattes olika paketlösningar ihop. Med tillförlitlighetsanalys och simuleringar bedömdes det om de skulle kunna utgöra en alternativ utformning av ett Tr2-trapphus. Scenarier utan boendesprinkler där lägenhetsdörr lämnades öppen av utrymmande simulerades ej, utan förutsätts ge upphov till betydande rökspridning till trapphuset. Samtliga scenarier som simuleras framgår i Tabell 10 nedan.

Tabell 10. Samtliga scenarier som simulerades i FDS

Brandkyddstekniska system	ID	Brandförlopp	Effektutveckling
<ul style="list-style-type: none"> Automatisk brandgasventilation Lägenhetsdörr EI 30 	A2	Liten brand	2,0 MW
<ul style="list-style-type: none"> Boendesprinkler Lägenhetsdörr EI 30 	B1	Sprinklerkontrollerad brand	0,36 MW vid sprinkleraktivering, därefter avtagande.

• Lägenhetsdörr EI 30	C2	Liten brand	2,0 MW
-----------------------	----	-------------	--------

7.3.1 Tillförlitlighetsanalys

I Tabell 11 redovisas de felsannolikheter som användes i händelseträden. Källor till felsannolikheterna samt diskussion om felsannolikheterna som används i händelseträden redovisas i Bilaga H Tillförlitlighetsanalys. Dörrstängare med freeswing-funktion monterad på dörr till bostad har bedömts ha minst lika hög tillförlitlighet som en konventionell dörrstängare monterad på dörr mellan brandtekniskt avskilt utrymme/sluss och trapphus har, och således har samma tillförlitlighet använts.

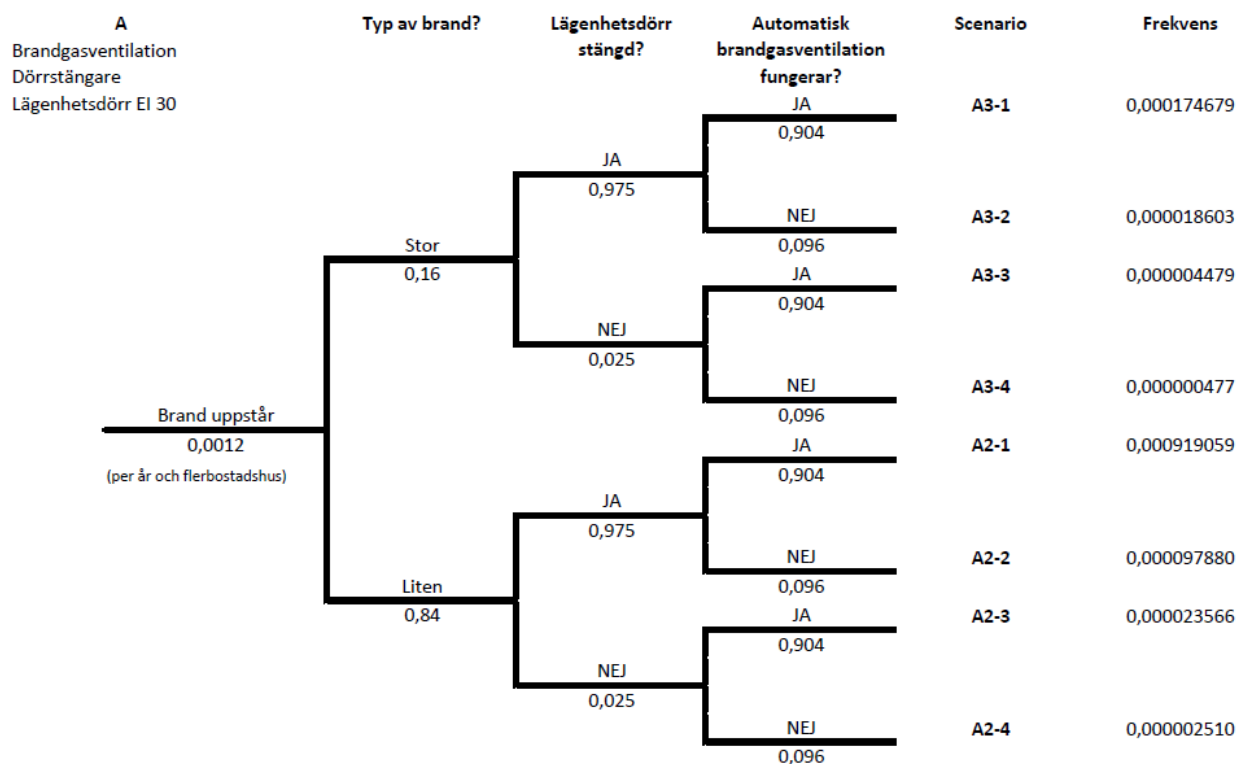
Tabell 11. Felsannolikheter och frekvenser

System	Händelse	Fördelning felsannolikhet
Brand uppstår	Stor brand	Normalfördelning $\mu: 0,16$ $\sigma: 0,015$
	Liten brand	Normalfördelning $\mu: 0,84$ $\sigma: 0,015$
	Brand uppstår (frekvens per år och flerbostadshus)	Normalfördelning $\mu: 0,00124$ $\sigma: 00004915$
Boendesprinkler	Boendesprinkler kontrollerar ej brand	Pertfördelning Min: 0,0508 Max: 0,145 Expected: 0,0672
Automatisk brandgasventilation	Automatisk brandgasventilation ventilerar ej ut brandgaser	Pertfördelning Min: 0,0446 Max: 0,1496 Expected: 0,0957

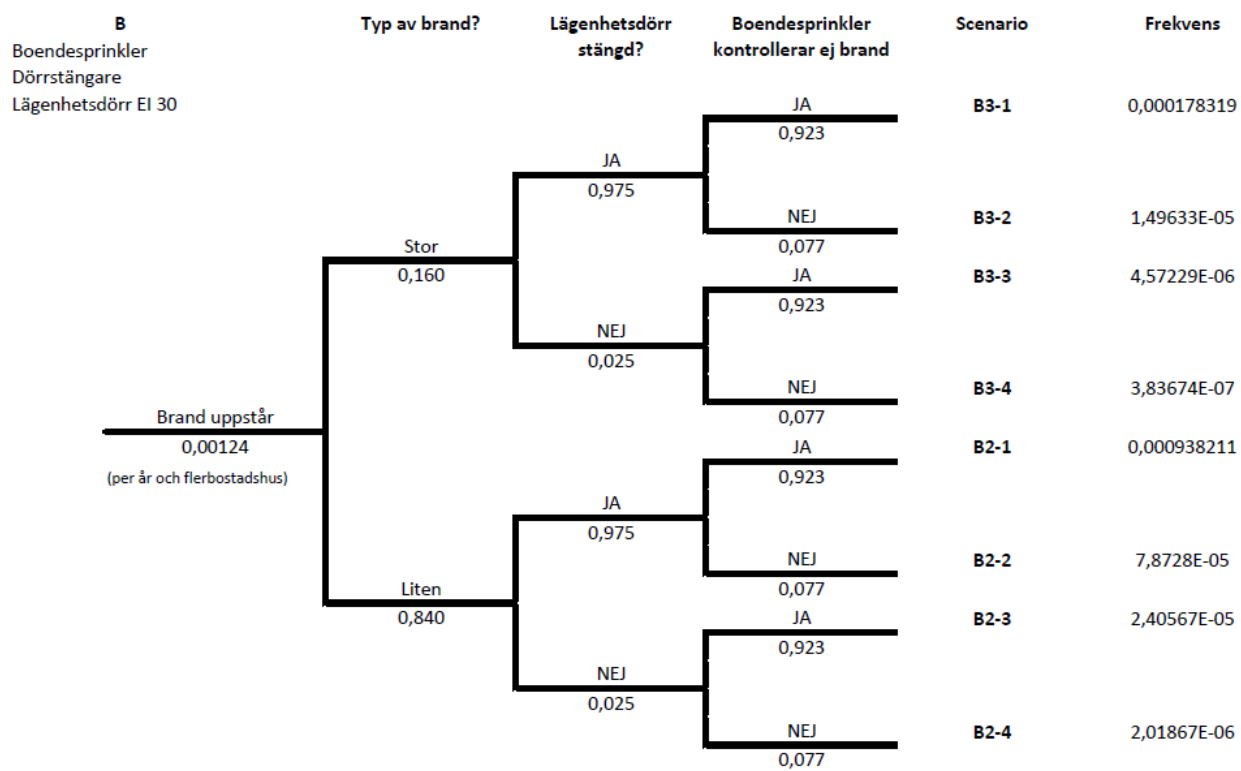
Trycksättning av trapphus	Tryckförlust i trapphuset vid brand	Uniformfördelning Min: 0,1 Max: 0,9
Dörrstängare på lägenhetsdörr	Dörrstängare stänger ej lägenhetsdörr	Betageneralfördelning α_1 : 4,913 α_2 : 3,419 Min: 0,01079 Max: 0,0349
Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering	Kritiska förhållanden i trapphuset	Log-logistiskfördelning γ : 0,00093 β : 0,001577 α : 10,193

Som kan avläsas ur tabellen finns det stora osäkerheter för felsannolikheten av trycksättning av trapphus. Av den anledningen analyserades ej det brandtekniska systemet vidare.

I figurerna nedan återfinns händelseträden för respektive lösningsalternativ. Sannolikheterna och frekvenserna som återges i händelseträden är typvärden. För tillämpliga sannolikheter och frekvenser som beskrivits är sannolikheterna fördelade. Observera att sannolikheten som återges i figurerna nedan för att dörren är stängd motsvarar konventionell dörrstängare, och inte dörrstängare med freeswing-funktion.

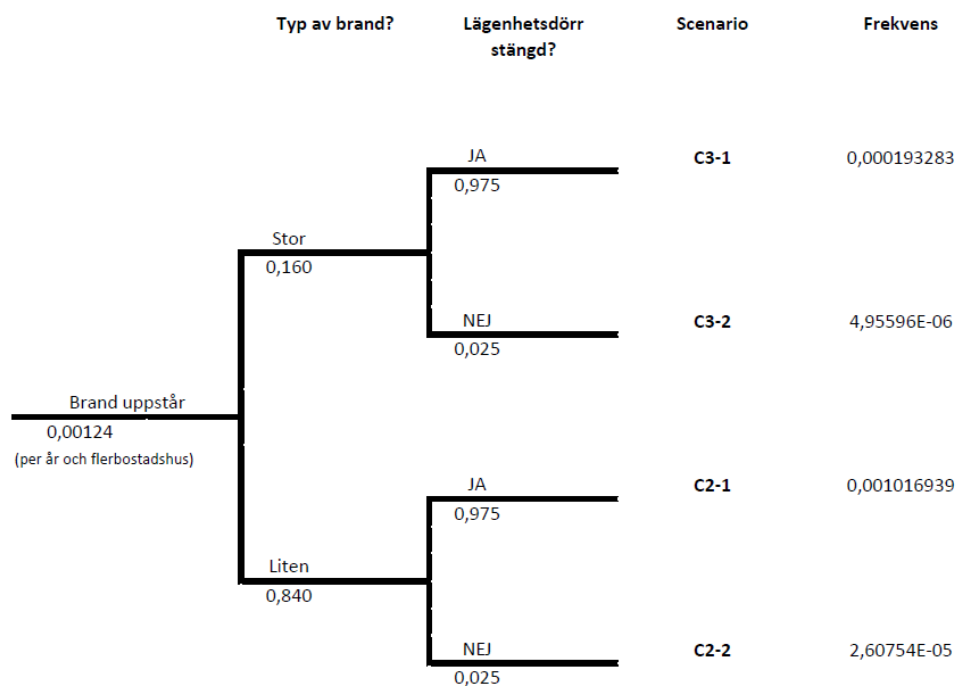


Figur 18. Händelseträd för paket A.

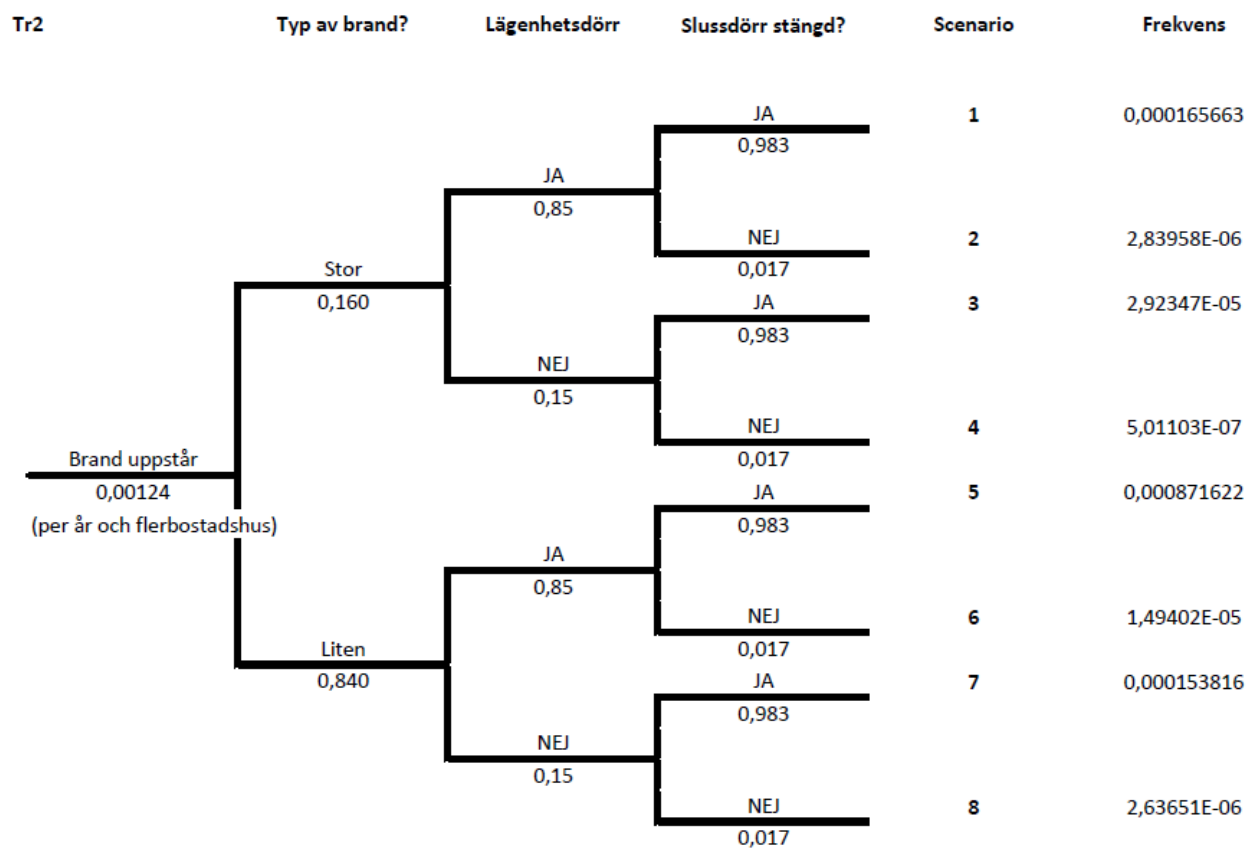


Figur 19. Händelseträd för paket B.

C
Dörrstängare
Lägenhetsdörr EI 30



Figur 20. Händelseträd för paket C.



Figur 21. Händelseträd för Tr2-trapphus.

Vidare diskussion om tillförlitligheterna finns under delkapitel 9.5.2 samt Bilaga H Tillförlitlighetsanalys.

7.3.2 Simuleringsresultat

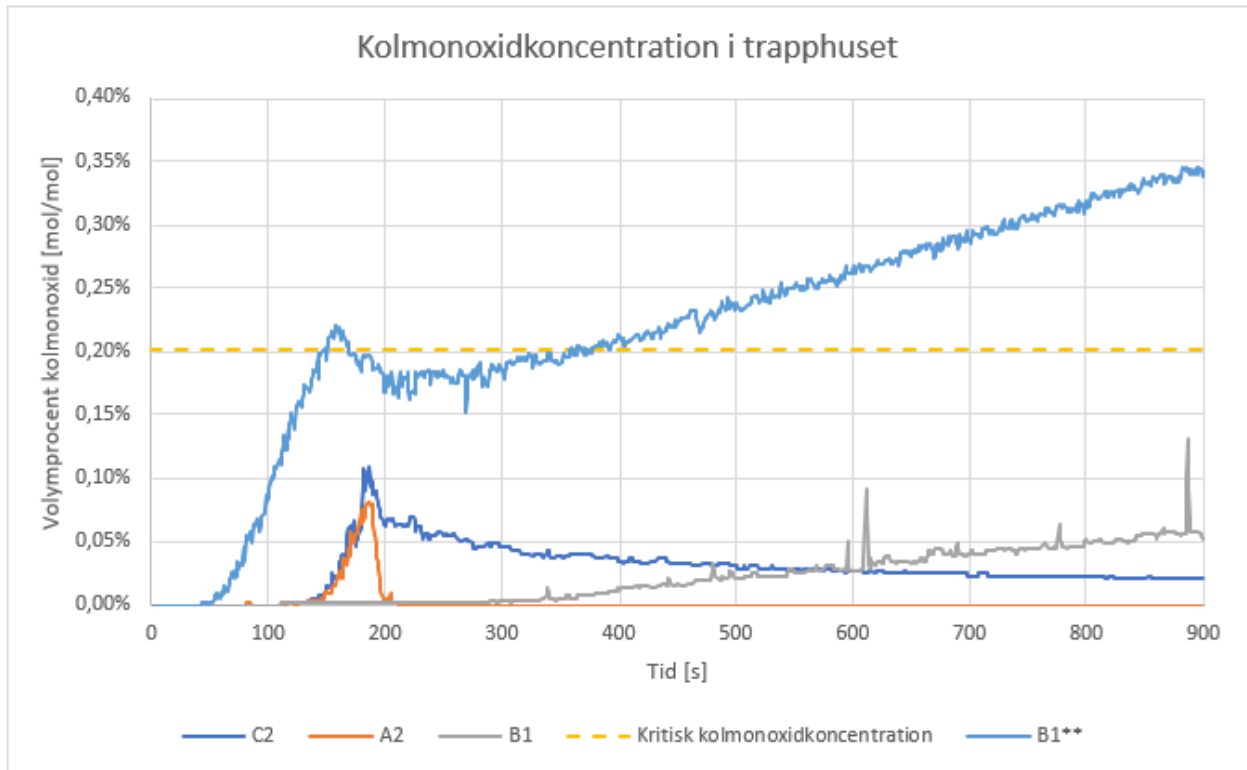
I tabellen nedan anges tiden till att kritiska förhållanden uppstår. Endast parametrar som i något fall erhöll kritiska värden presenteras i tabellen. Vid simulering av automatisk brandgasventilation lades tilluftsöppningen en våning under brandrummet så att trapphuset sammanlagt uppgick till åtta våningar istället för sju. Det gjordes på grund av att brandgaser inte skulle läcka ut genom tilluftsöppningen, och utgör således ett mer konservativt fall. Sikt uppnådde kritiska nivåer i samtliga simuleringar. Sprinklerkontrollerad brand med öppen dörr erhöll även kritiska nivåer för kolmonoxid. Vid sprinkleraktivering behandlas liten samt stor brand likvärdigt, då tillväxthastigheten och således brandeffekten vid sprinkleraktivering är den samma. Stor brand innebär en ökning av effektutveckling med faktor fyra, och ökad sot- och kolmonoxid med faktor 10 (Staffansson, 2010). Därför simulerades inga stora bränder. Vid stor brand förutsätts stängd lägenhetsdörr av brandklass EI 30 vara fortsatt kritisk. Även stor brand med automatisk brandgasventilation och stängd lägenhetsdörr av brandklass EI 30 förutsätts kritisk efter erhållande av simuleringsresultat för liten brand. Där kriteriet för kritiska förhållanden inte uppstod markeras ett '-' i Tabell 12 nedan.

Tabell 12. Simuleringsresultat med tid till att kritiska förhållanden uppstår för parametrar som i något fall erhöll kritiska värden

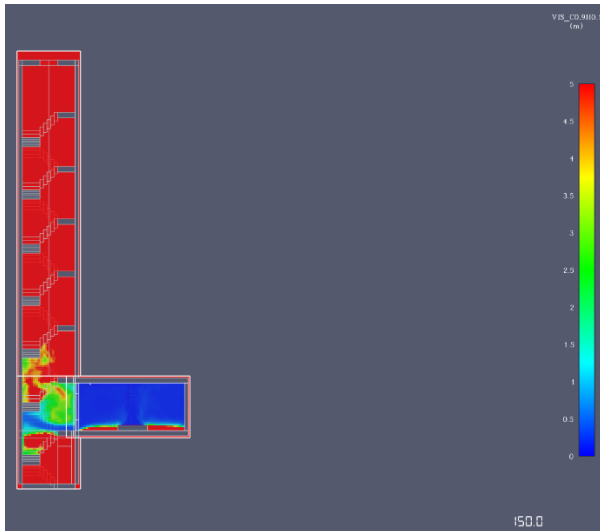
Brandskyddstekniska system	Brand	ID	Siktbarhet, 2,0 m ovan golv		Toxicitet
			10 m	5 m	
<ul style="list-style-type: none"> • Automatisk brandgasventilation • Stängd lägenhetsdörr EI 30 	Liten	A2	140–600 s*	150–540 s*	-
	Stor	A3	Simulerades ej	Simulerades ej	Simulerades ej
<ul style="list-style-type: none"> • Boendesprinkler • Stängd lägenhetsdörr EI 30 	Sprinklad	B1	330 s	390 s	-
	Sprinklad	B1 **	70 s	80 s	150 s (CO)
<ul style="list-style-type: none"> • Lägenhetsdörr EI 30 	Liten	C2	140 s	150 s	-
	Stor	C3	Simulerades ej	Simulerades ej	Simulerades ej

* När rökluckan öppnats (med hjälp av rökdetektor i trapphuset) uppnås efter en tid steady-state förhållanden, där tillräckligt med brandgaser ventilerats ut för att kriteriet understiger den kritiska nivån för kritiska förhållanden. Tid i tabellen anges intervallet där kritiska förhållanden råder i trapphuset.

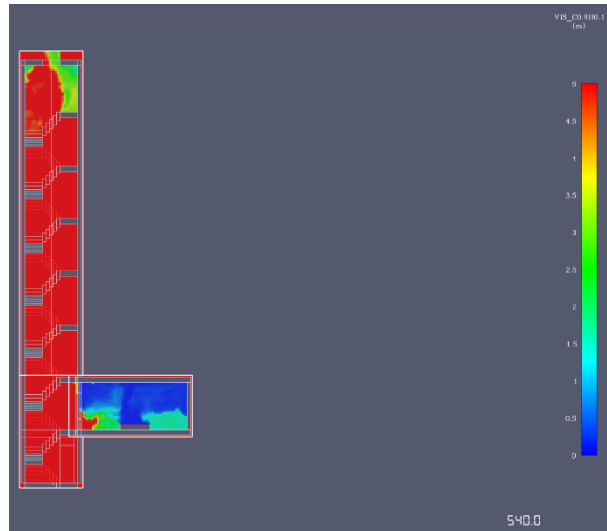
De parametrar som uppnådde kritiska nivåer presenteras i figurer nedan. Kolmonoxidnivåer för samtliga scenarier visas i Figur 22. Sikt för samtliga simulerade scenarier framgår av Figur 23 till Figur 27. Komplet resultat från simuleringarna återfinns i Bilaga G Simuleringsresultat.



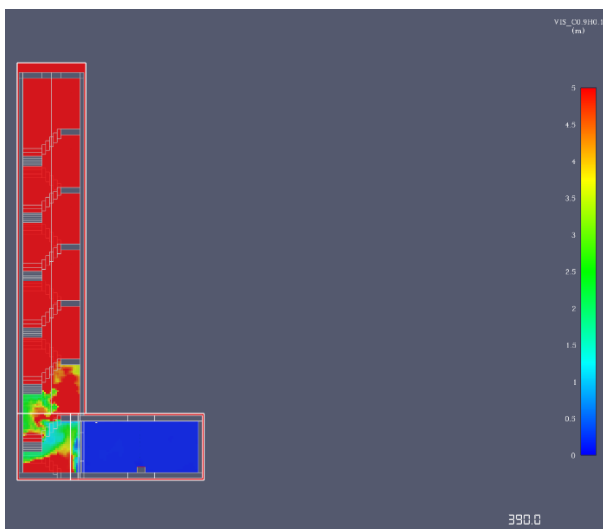
Figur 22. Kolmonoxidkoncentration i trapphuset för respektive simulerat scenario där 0,2% utgör kritisk nivå.



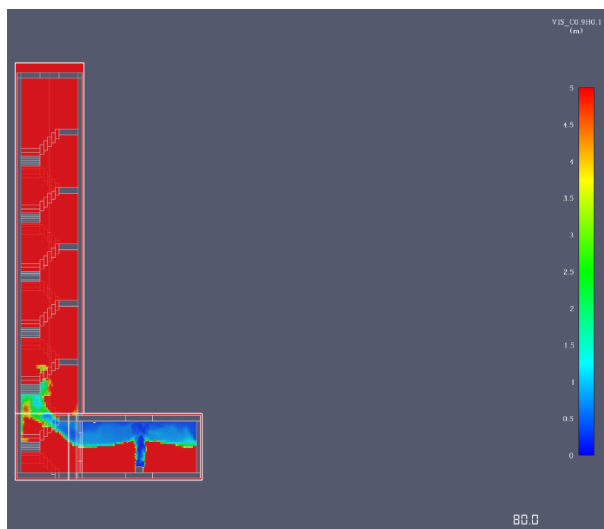
Figur 23. Sikt i trapphuset vid 150 sekunder för automatisk brandgasventilation och stängd dörr. Siktsskalan går från 0 till 5 meter.



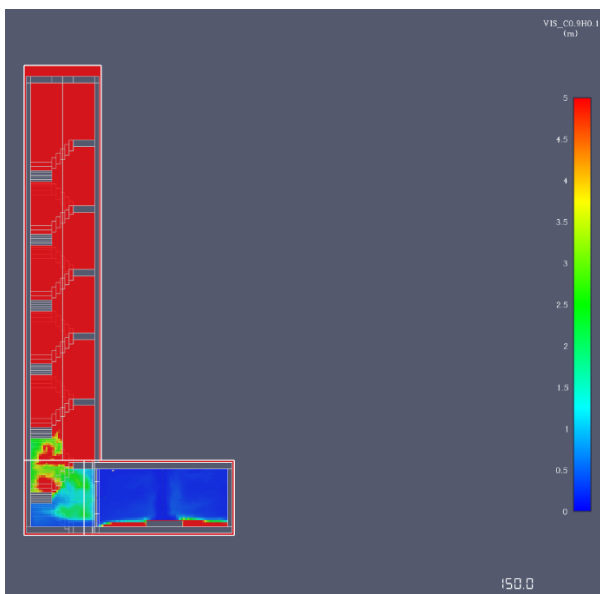
Figur 24. Sikt i trapphuset vid 540 sekunder för automatisk brandgasventilation och stängd dörr. Vid denna tid har ej kritiska steady-state förhållande uppkommit i trapphuset. Siktsskalan går från 0 till 5 meter.



Figur 25. Sikt i trapphuset vid 390 sekunder för sprinklerkontrollerad brand och stängd dörr. Siktskalan går från 0 till 5 meter.



Figur 26. Sikt i trapphuset vid 80 sekunder för sprinklerkontrollerad brand och öppen dörr. Siktskalan går från 0 till 5 meter.

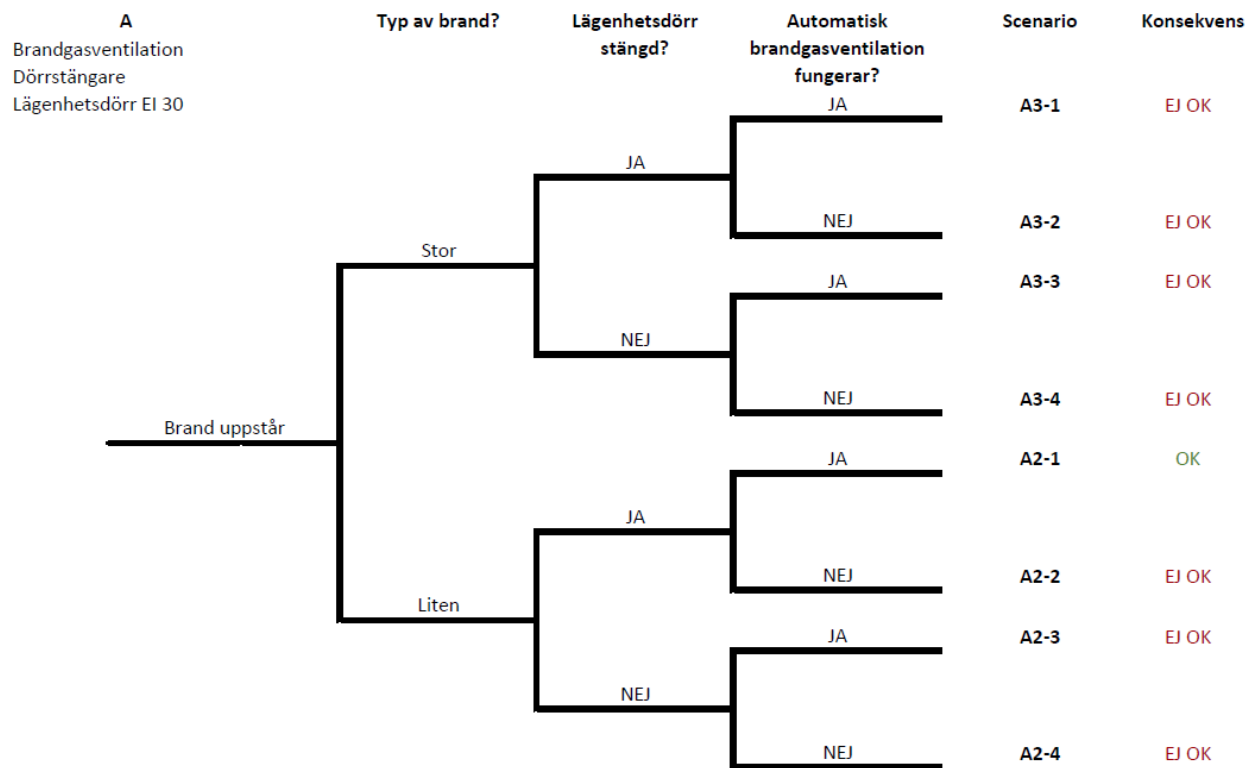


Figur 27. Sikt i trapphuset vid 150 sekunder för stängd dörr. Siktskalan går från 0 till 5 meter.

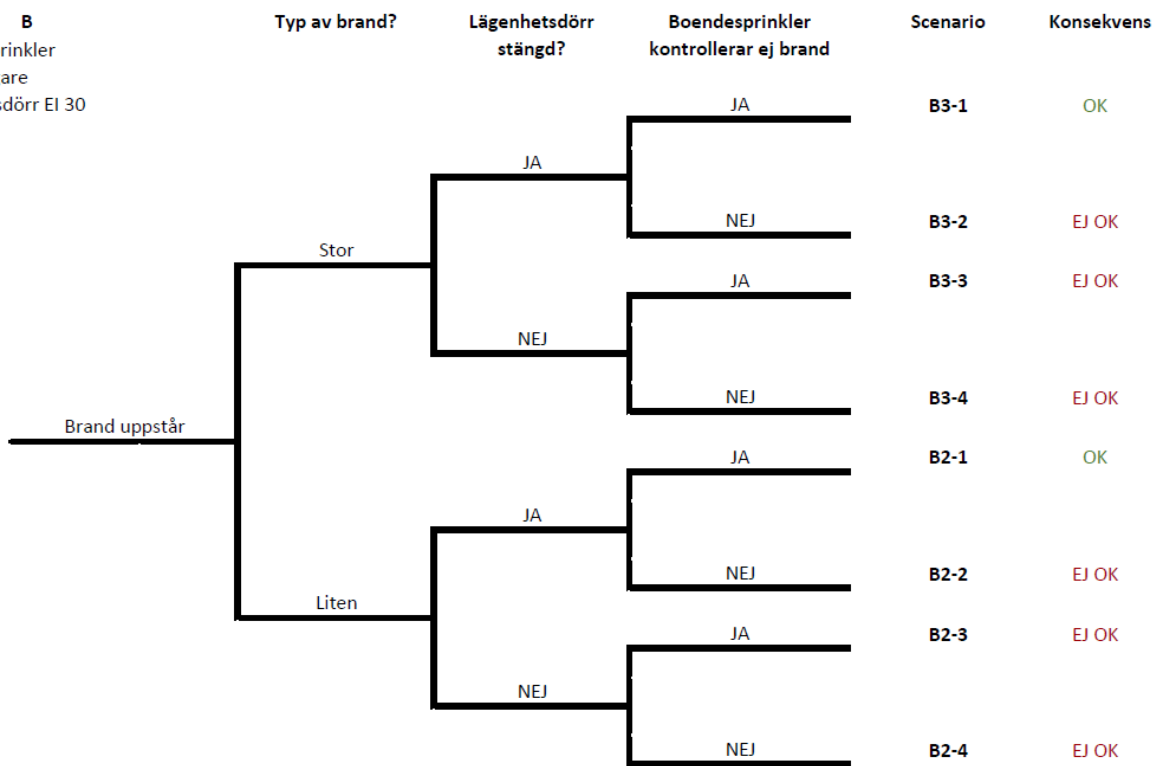
7.4 Riskvärdering

Simuleringsresultaten visar på att siktbarheten i trapphuset är ett problem för samtliga analyserade scenarier. Ett antagande i riskvärderingen görs att den tillfälligt försämrade sikten i trapphuset skulle kunna godtas, trots att alltså acceptanskriteriet för sikt inte uppfylls. Scenarier markerade med 'OK' konsekvens i händelseträden nedan har alltså mindre än 5 meters sikt i trapphuset. Antagandet och acceptanskriteriet om sikt diskuteras under delkapitel 9.2.

Händelseträden i figurerna nedan visar utfall av analyserade scenarier.

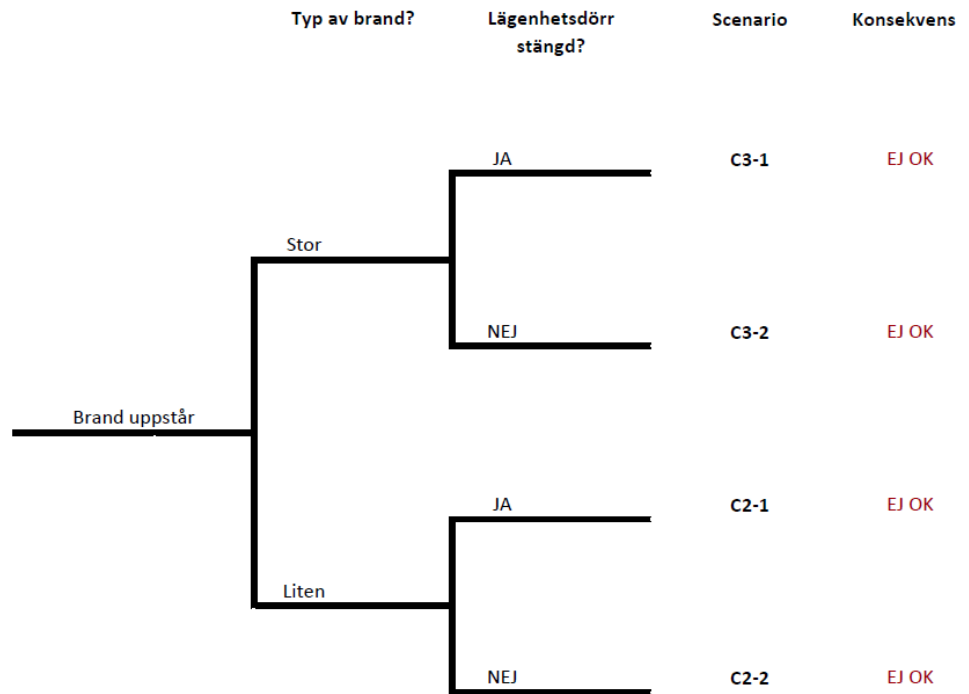


Figur 28. Händelseträ för A med utfall

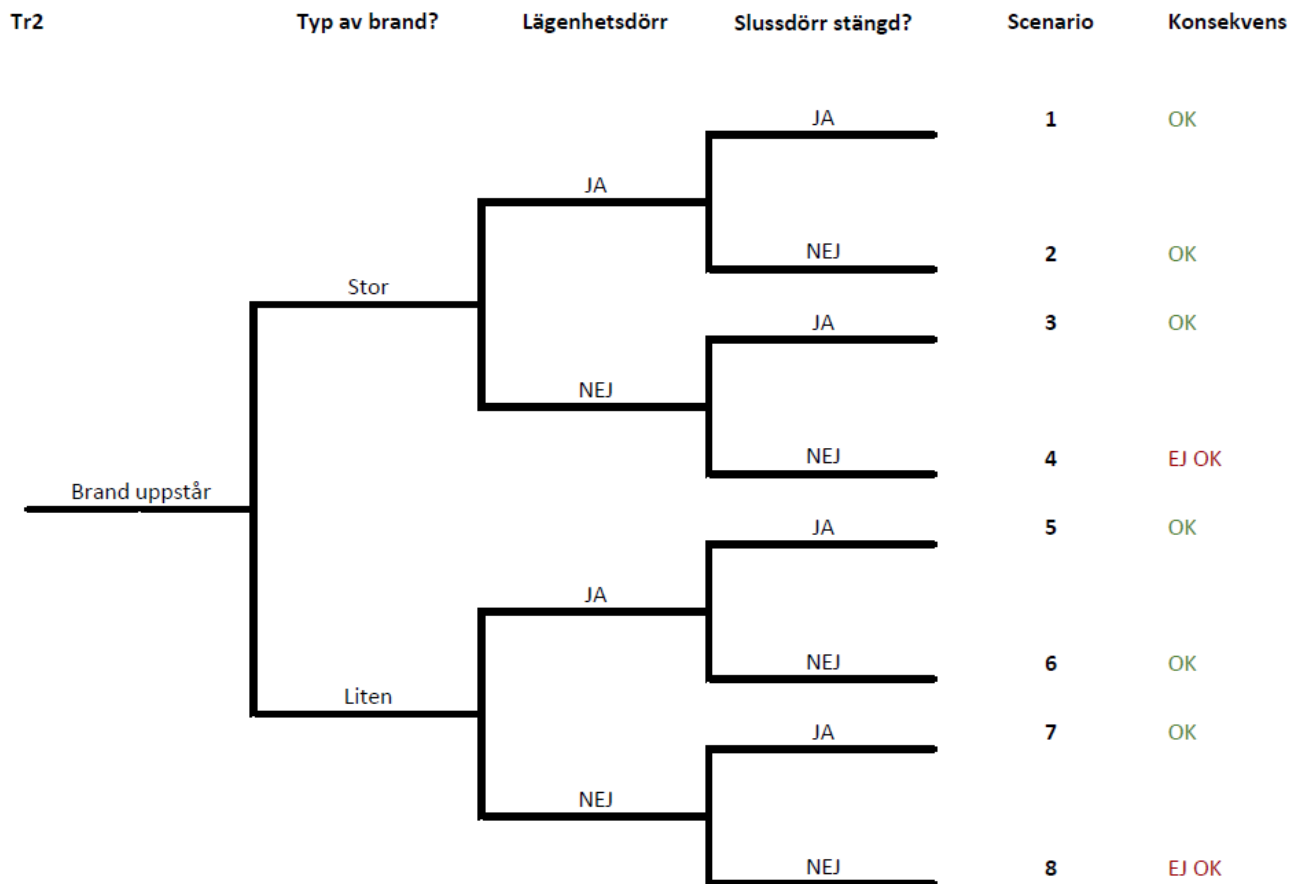


Figur 29. Händelseträ för B med utfall

C
Dörrstängare
Lägenhetsdörr EI 30



Figur 30. Händelseträd för C med utfall



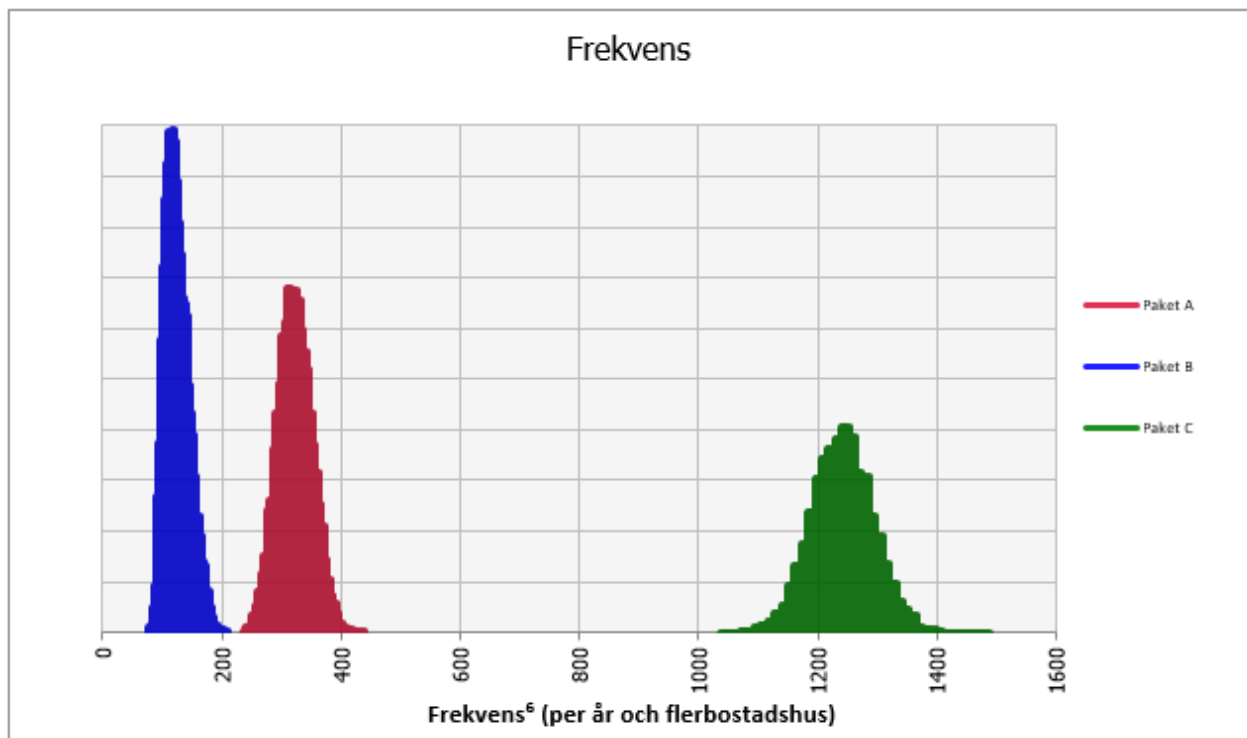
Figur 31. Händelseträd för Tr2-trapphus med utfall

I Tabell 13 jämförs de olika brandtekniska systemens frekvens för att utrymning ej är möjlig med referenslösningen Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering. Frekvenserna har tagits fram med Monte Carlo-simuleringar i @risk. Simuleringarna genomfördes med 10 000 itereringar.

Tabell 13. Frekvens för att trapphuset i ett flerbostadshus inte kan användas för utrymning för de olika analyserade lösningsalternativen jämfört med motsvarande för ett Tr2-trapphus.

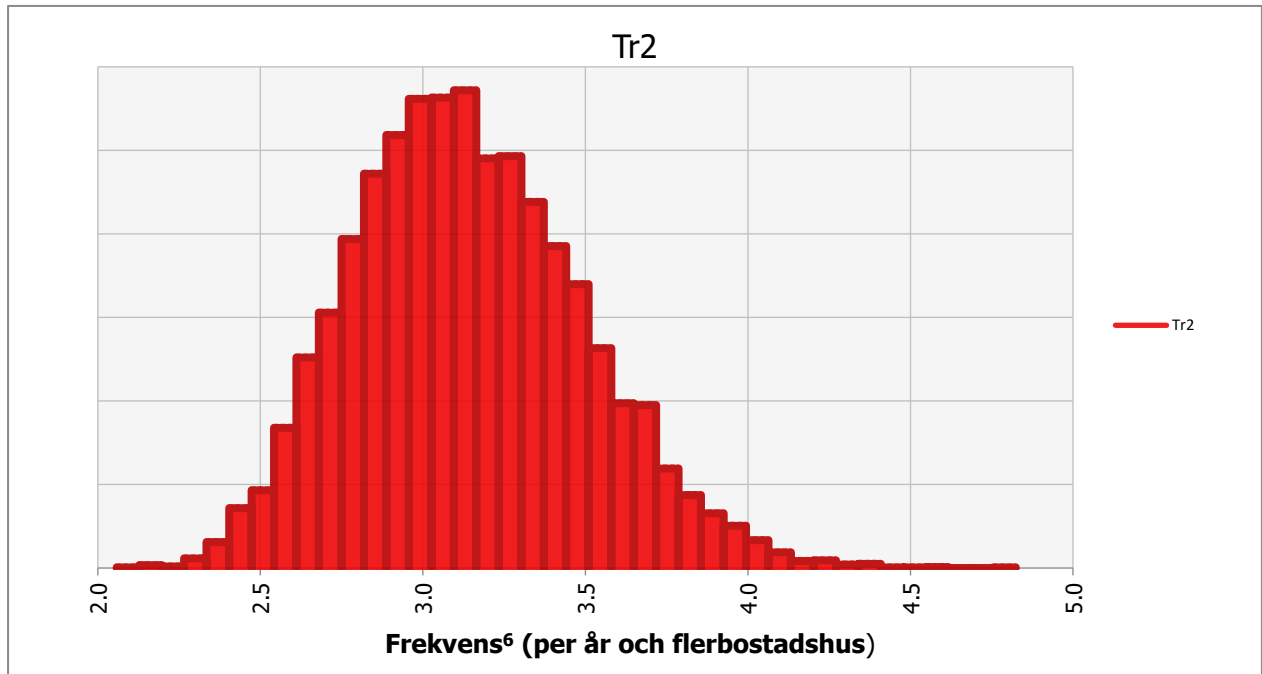
Brandskyddstekniska system	ID	Frekvens Typvärde och 90% konfidensintervall (10^6)	
		Grundutförande	Dörrstängare med freeswing-funktion på lägenhetsdörr
<ul style="list-style-type: none"> Lägenhetsdörr EI 30-S_a Dörr till trapphus EI 30- S₂₀₀ 	Tr2	3,11 (2,60-3,75)	-
<ul style="list-style-type: none"> Automatisk brandgasventilation Lägenhetsdörr EI 30 	A	324 (276–371)	315 (268–363)
<ul style="list-style-type: none"> Boendesprinkler Lägenhetsdörr EI 30 	B	116 (92,4–171)	101 (87,6–154)
<ul style="list-style-type: none"> Lägenhetsdörr EI 30 	C	1250 (1159–1325)	1250 (1159–1325)

I Figur 32 nedan återfinns frekvenserna för att ett flerbostadshus inte kan användas för utrymning med analyserat lösningsalternativ A, B, eller C med konventionell dörrstängare.

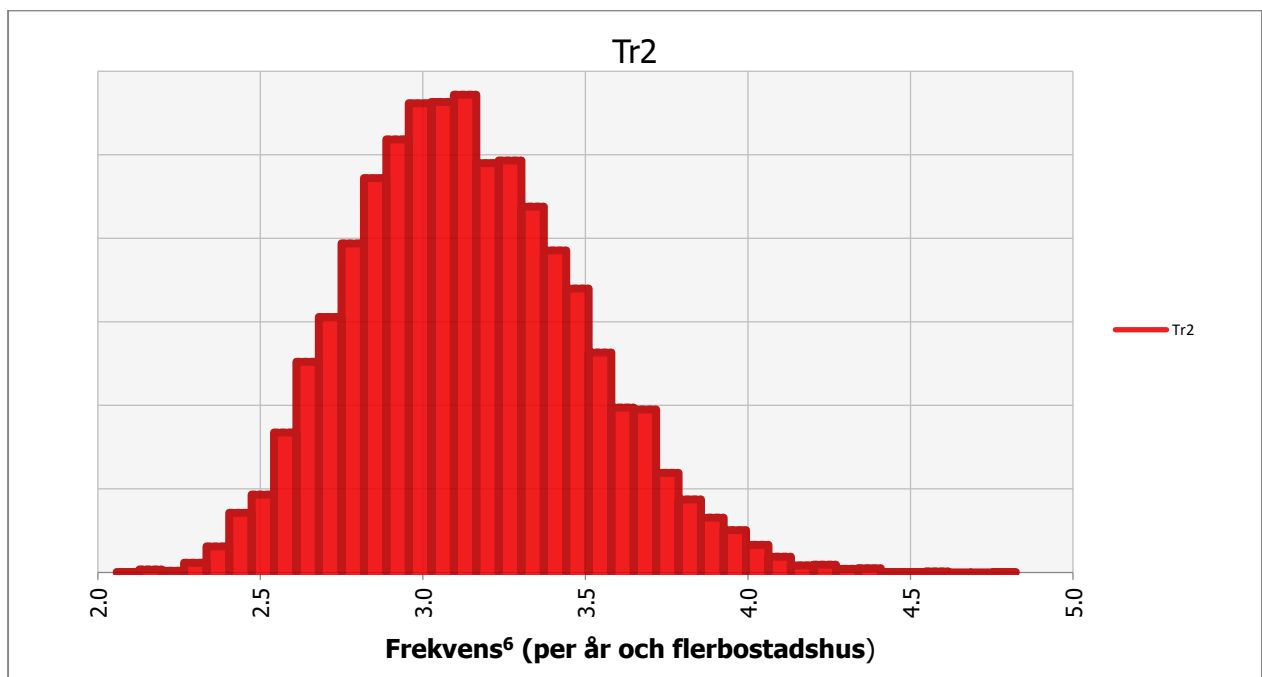


Figur 32. Frekvens för att trapphuset i ett flerbostadshus inte kan användas för utrymning för respektive lösningsalternativ i grundutförandet.

I



Figur 33 finns motsvarande frekvens för Tr2-trapphus.



Figur 33. Frekvens för att ett Tr2-trapphus i ett flerbostadshus inte kan användas för utrymning.

Som tabellen och figurerna ovan visar så har samtliga av de analyserade lösningarna en flera gånger högre frekvens för att utrymning ej kan anses vara möjlig genom trapphuset än motsvarande för ett förenklat dimensionerat Tr2-trapphus. För enbart lägenhetsdörr med brandteknisk klass EI 30 (Paket C) uppstår kritiska förhållanden i trapphuset även då allt fungerar som avsett. Därav fås samma frekvens som för att brand uppstår.

8 Känslighetsanalys

Under analysens utförande har antaganden och approximationer gjorts. I detta delkapitel undersöks hur stor inverkan de har på resultatet för de invändiga lösningarna genom kvantitativa och kvalitativa resonemang.

8.1 Ventilationsöppningar

Handberäkningarna som redovisas i Bilaga F Simuleringsförutsättningar för ventilationsförhållandena i den brandutsatta lägenheten visar på att för scenarier med stängd dörr till trapphuset blir branden ventilationskontrollerad. En underventilerad brand producerar mer toxiska brandgaser, ger upphov till en större sotproduktion, och dämpar effektutvecklingen (Staffansson, 2010). På grund av det minskar övertrycket i brandrummet och således läckaget till trapphuset. Dessutom kan branden självslockna. Det är därför troligt att en underventilerad brand utgör ett mildare scenario. Typ av fönster, fönstrets placering, och storlek på fönsterarean bör således vara en viktig parameter för analysens resultat. För att undersöka huruvida ventilationsantaganden påverkar simuleringsresultaten genomfördes en känslighetsanalys där fönster går sönder vid 400°C istället för tidigare 300°C. Även en simulering genomfördes där ett fönster var öppet från början. Simuleringen utgår från scenariot med stängd EI30 dörr och brandgasventilation och liten brand. Resultatet från känslighetsanalysen erhålls i Tabell 14.

Tabell 14. Resultat från känslighetsanalys med ändrade ventilationsförhållanden

Scenario	Temperatur då fönster går sönder (°C)	Kritisk sikt, 5 m (s)
Alla fönster stängda vid tidpunkt för antändning	300°C	140–540*
Alla fönster stängda vid tidpunkt för antändning	400°C	140–560*
Ett fönster öppet vid tidpunkt för antändning	300°C	-

* När rökluckan öppnats uppnås efter en tid steady-state förhållanden, där tillräckligt med brandgaser ventilerats ut för att kriteriet understiger den kritiska nivån för kritiska förhållanden. Tid i tabellen anges intervallet där kritiska förhållanden råder i trapphuset.

Det kan konstateras att antagandet huruvida fönstret är stängt eller inte från början spelar stor roll. Öppna fönster i brandrummet möjliggör ventilation av brandrummet och således betydligt mindre läckage genom lägenhetsdörren till trapphuset. Vid dessa förhållanden är brandgasventilationen av trapphuset tillräcklig för att sikten inte ska bli kritisk i trapphuset i simuleringarna. Vid öppet fönster i brandrummet vid tidpunkten för antändning tillsammans med brandgasventilation av trapphuset erhöles aldrig kritisk sikt. Vidare kan det konstateras att val av kriterium för då fönster ger vika ger en viss påverkan på rökspridning till trapphuset. Däremot är tillväxthastigheten för branden snabb och en ökning från 300°C till 400°C gav enbart 20 sekunder ökad tid för fönster att ge vika.

8.2 Sprinklerpåverkan av brandens placering

En sprinkler i verkligheten kan tänkas verka i huvudsak på två olika sätt. Dels kyler sprinklern bränslet och på så sätt minskar brandens tillväxthastighet och i sin tur effektutvecklingen, och dels genom att kyla brandgaserna. Det senare minskar, förutom brandspridning och brandgasspridningen direkt, även indirekt på effektutvecklingen genom att strålningen från brandgaslagret mot bränsleytan minskar. I simuleringarna användes ej FDS inbyggda sprinklerfunktion. Aktiveringstiden för sprinkler i simuleringarna motsvarar sprinklerhuvud placerad tre meter från branden. De uppmätta brandgastemperaturerna i FDS är oberoende av vattenpåföringen. Enbart sprinklernas kylande effekt på bränslet har tagits i beaktning genom dess dämpande effekt på effektutvecklingen. Placering av sprinklerhuvudet i simuleringarna, givet att vatten når branden, är därav av mindre betydelse. Dessutom kan ett boendesprinklersystem släcka branden (Jönsson & Winberg, 2017), vilket inte tagits hänsyn till i denna analys. Vidare innehåller de felsannolikheter som använts för boendesprinkler i tillförlitlighetsanalysen sannolikheten för att vatten från sprinklerhuvudet når branden. Av de anledningarna utförs ingen kvantitativ känslighetsanalys för boendesprinklersystemet.

8.3 Läckagearea

Arean för utrymme mellan dörrblad och karm valdes till att vara den maximalt tillåtna arean vid testning av brandklassade dörrar enligt SS-EN 16034:2014. Därav anses den vara konservativt tilltagen. Läckage genom lägenhetsdörren styrs av läckagearea och tryckuppbyggnad i rummet. Tryckuppbyggnaden styrs av effektutvecklingen, när eller om fönsterna öppnas, och läckage genom ytterväggarna. Definierat läckage genom ytterväggarna är därför identifierat som en potentiellt känslig parameter för simuleringarna.

Då det råder både stor kunskapsosäkerhet och naturlig variation kring läckage i äldre bebyggelse genom väggarna (Gulay et al., 1993) genomfördes en kvantitativ känslighetsanalys. Scenariot med automatisk brandgasventilation användes för känslighetsanalysen (scenario A2). Sedan simulerades scenariot med varierad läckagearea per areaenhet vägg i brandrummet enligt tabell 50.5 i SFPE handboken (Hurley et al., 2015). Resultatet av simuleringarna kan ses i Tabell 15 nedan, där maximalt uppmätt tryck i brandrummet, tid till att kritisk sikt uppstod i trapphusets nedersta plan, samt tid till att första fönstret i brandrummet gick sönder framgår.

Tabell 15. Resultat av känslighetsanalys där läckagearea per areaenhet vägg varierades

Ytterväggsläckage	Läckagearea (m ²)	Maximalt uppmätt tryck i brandrum (Pa)	Kritisk sikt, 10 m (s)	Tid då första fönstret i brandrummet går sönder (s)
Loose	$0,35 \cdot 10^{-3}$	350	140-800*	180
Very Loose	$0,12 \cdot 10^{-2}$	150	150-810*	190
Average	$0,17 \cdot 10^{-3}$	450	135-795*	180

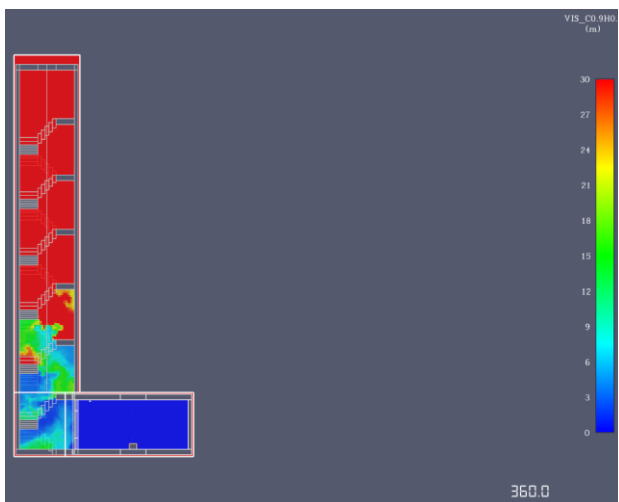
* När rökluckan öppnats (med hjälp av rökdetektor i trapphuset) uppnås efter en tid steady-state förhållanden, där tillräckligt med brandgaser ventilerats ut för att kriteriet understiger den kritiska nivån för kritiska förhållanden. Tid i tabellen anges intervallet där kritiska förhållanden råder i trapphuset.

Det kan konstateras att definierat väggsläckage har en inverkan på tryckuppbyggnaden i brandrummet. Mellan det högst och lägst tilltagna läckaget skiljde maximalt uppmätt tryck med faktor tre. Det resulterade i att kritisk sikt infanns cirka 15 sekunder tidigare i trapphuset med det större väggsläckaget. Däremot var brandgaslagrets temperatur tämligen lika i samtliga simulerade fall och således gav fönsterna till det fria vika vid ungefär samma tidpunkt. En stund efter att första fönstret gett vika uppnås steady-state-förhållanden i trapphuset, där sikt inte längre är kritisk. Således påverkar definierat ytterväggsläckage inte simulerat resultat i särskilt stor grad.

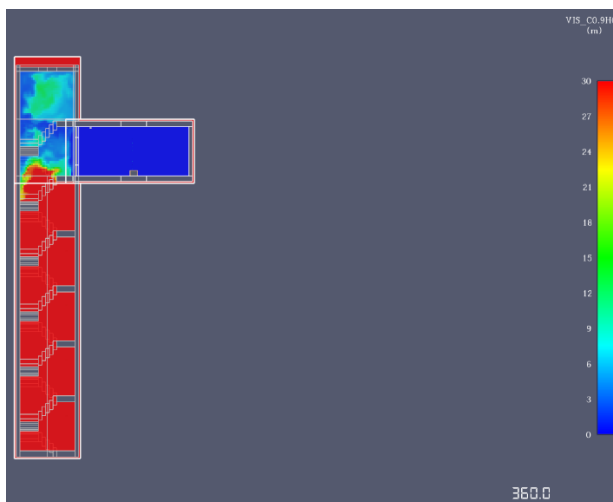
8.4 Brandutsatt lägenhet

I samtliga simuleringar har brandplacering och brandutsatt lägenhet varit konstant. Då alla vägar ut till det fria leder genom entrédörren på markplan antogs initialt att en brand i anslutning till den utgjorde den mest konservativa brandplaceringen. Det är möjligt att en annan placering av branden är mer konservativ då brandgaser som läcker ut i trapphuset i somliga fall inte stiger och bildar ett brandgaslager i toppen av trapphuset. Det sker på grund av avsaknad av termisk stigkraft, då scenarion med små läckage av brandgaser till trapphuset snabbt kyls av. I dessa fall sker en utblandning av brandgaser med omgivande luft.

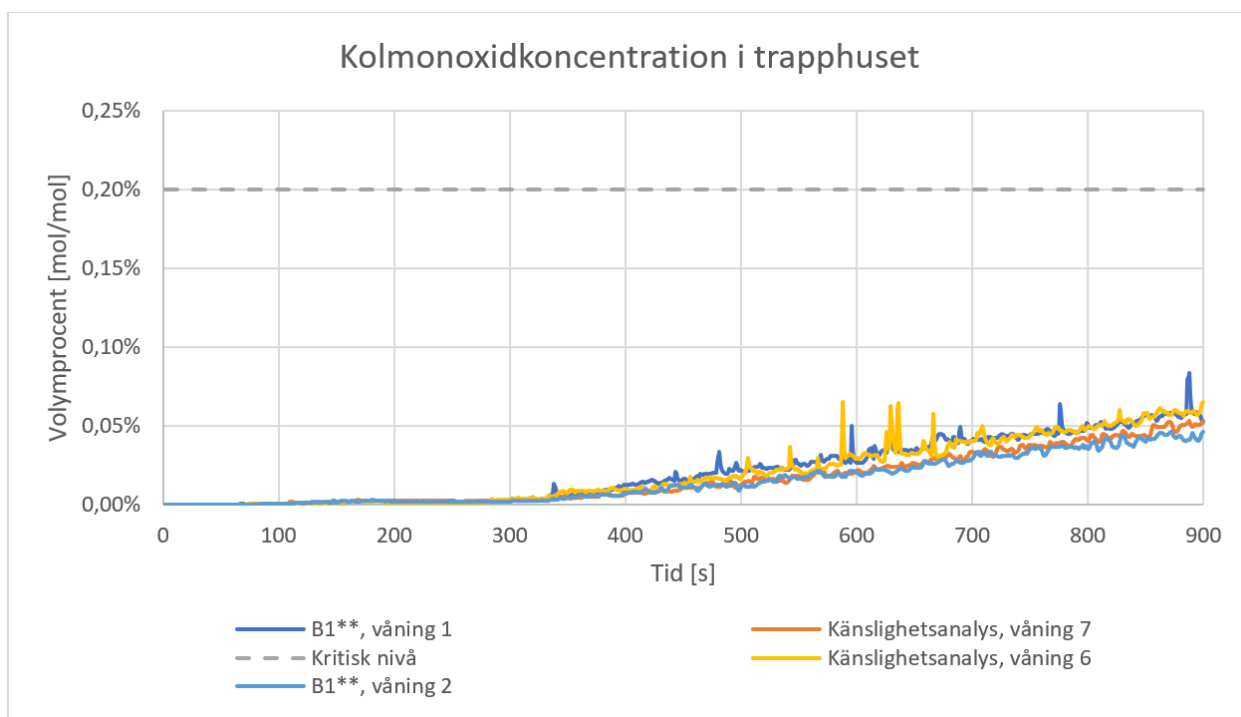
På grund av osäkerhet rådande huruvida vilken brandplacering som hade utgjorts vara mest konservativ med hänseende till utrymning från översta våning genomfördes en känslighetsanalys. Scenario B1** valdes ut att genomföra känslighetsanalysen på. Simuleringen genomfördes med samma förutsättningar och antaganden som innan, med undantaget om att branden nu var placerad i lägenheten på den näst högsta våningen, våning 6. Siktförhållande för scenario B1** och då brandrummet förflyttats till 6:e våningen visas i Figur 34 respektive Figur 35. Kolmonoxidnivåer för scenario B1** på våning 1 och 2, samt för känslighetsanalysen på våning 6 och 7 visas i Figur 36.



Figur 34. Sikt vid 360 s för scenario B1**, sprinklerkontrollerad brand och stängd dörr. Siktskalan går från 0 till 30 meter.



Figur 35. Sikt vid 360 s för sprinklerkontrollerad brand och stängd dörr där brandrummet förflyttats till 6:e våningen. Siktskalan går från 0 till 30 meter.



Figur 36. Kolmonoxidnivåer för våning 1 och 2 för scenario B1**, Kolmonoxidnivåer för våning 6 och 7 för sprinklerkontrollerad brand då brandrummet förflyttats till 6:e våningen.

Utifrån känslighetsanalysen kan det antydans en marginellt högre kolmonoxidsnivå för våning 7 i känslighetsanalysen än motsvarande, våning 2, i ordinarie scenarier. Däremot är nivåerna fortfarande under kritiska nivåer med en faktor fyra vid 900 simulerade sekunder. Siktförhållandena ter sig lika i båda simuleringarna.

Därför görs bedömningen att placering av brandrum inte påverkar analysen eller dess resultat i någon större omfattning.

8.5 Branddetektion

Detektion av brand är direkt avgörande för att tekniska system och sprinklersystem ska aktivera. I denna analys finns det två system vars effektivitet delvis styrs av en tidig branddetektion. För att uppskatta tiden till att sprinklersystemet aktiverades utfördes en simulering i FDS till dess att sprinklerhuvudet utlöste, vilket uppgick till ca 90 s. Sprinklerhuvudets placering bedömdes därför utgöra den känsligaste parametern för aktiveringstiden för sprinkler. I tillförlitlighetsanalysen av boendesprinkler tas det hänsyn till effektivitet, bland annat genom statistik för att sprinklerhuvudets placering i bostaden är 'rätt' placerat i förhållande till branden. Av den anledningen bedömdes ingen simulering för att utreda känsligheten i sprinklerhuvudets placering behöva utföras.

Detektion av branden för aktivering av tekniska funktioner bedömdes utgöra en känsligare parameter. Av samma anledning som för boendesprinkler bedömdes dock ingen simulering behövas utföras då tillförlitlighetsanalysen för de tekniska systemen som kräver detektion av brand, automatisk öppning av röklucka och tilluftsöppning, tar hänsyn till felsannolikheten för att detektion av brand inte sker. Då detektorn för aktivering av röklucka placeras i trapphuset i direkt anslutning till bostäderna anses inte variationer av detektorplaceringen utgöra en känslig parameter.

9 Diskussion

I det här kapitlet diskuteras teori, metod, resultat och riskvärdering. Därutöver diskuteras de osäkerheter som finns kopplade till val av antaganden och analysens resultat.

9.1 Metod

Det finns både fördelar och nackdelar med de metoder som valts att användas i rapporten. Exempelvis var en typbyggnad nödvändig att konstruera för att öka rapportens generaliserbarhet bortom ett specifikt objekt. Det uppnåddes genom att konservativa antaganden gjordes för byggnadens utformning som kunde tänkas leda till stora skillnader i simuleringsresultatet, så som exempelvis för trapphusets volym eller läckagearean för lägenhetsdörren. Det är dock möjligt att det finns objekt där skillnader från typbyggnaden är så pass stora att antaganden gjorda i denna rapport leder till att analysens resultat inte är tillämpbara. Analysens resultat är därav behäftade med stora osäkerheter och vars giltighet är begränsade till endast tillämpbara fall.

Analysen för de utvändiga lösningarna bygger på expertbedömningar genom enkäten. Det finns en del osäkerheter och fallgropar kopplade till expertbedömningar enligt Otway & von Winterfeldt (1992). Rapportförfattarna tar upp flera fallgropar som kan leda till partiskhet (eng. bias) i svaren, vilket kan appliceras på expertbedömningar via enkät. Till exempel kan *motivational bias* påverka beroende på om respondenten är intresserad i frågan eller inte. Enkäten bygger på att experter gör subjektiva bedömningar om sannolikheter och förekomsten av olika sorters förutsättningar. Det kan finnas olika sorters bakomliggande incitament som påverkar hur respondenter svarar på enkäten. Vidare kan enkätens upplägg påverka hur respondenter väljer att svara på enkäten (Otway & von Winterfeldt, 1992). Enkäten utformades medvetet så att respondenterna först fick svara på frågor om den utvändiga utrymningstrappan och den utvändiga utrymningstrappan till tillfälligt säker plats. Sist fick respondenterna svara på frågor om räddningstjänstens bärbara utskjutsstege. Enkäten utformades på det sättet för att de förstkommande lösningarna utgör redan vedertagna metoder för att lösa utrymningsproblematiken. Således fanns en referenspunkt för att kunna besvara resterande frågor för de andra utrymningslösningarna. Räddningstjänstens bärbara utskjutsstege skiljer sig mycket från de andra analyserade utvändiga lösningarna då utrymningslösningen bygger på att det finns en extern part som assisterar vid utrymningen. För att förhindra att lösningen skulle ses som en referenspunkt för de övriga lösningarna placerades räddningstjänstens bärbara utskjutsstege sist.

Lösningar som bygger på att de nödställda utrymmer till tillfälligt säker plats och sedan ner via räddningstjänstens bärbara utskjutsstege delades upp i enkäten. Det gjordes delvis mot bakgrund av att respondenterna enbart skulle ta ställning till utrymningslösningen till tillfälligt säker plats, och delvis för att kunna bedöma räddningstjänstens förmåga att utgöra en alternativ utrymningsväg oberoende av vad respondenten tidigare svarat.

Det finns en del osäkerheter behäftade med resultatet från enkäten. Exempelvis kan frågor eller svarsalternativ ha misstolkats av respondenter, vilket kan vara troligt på grund av den stora spridningen i enkätsvaren. I en majoritet av frågorna kunde svaren variera mellan 1 och 5. Med

tanke på enkätens utformning är det även svårt att dra slutsatser kring eventuellt svarsbortfall. Frågor som kan uppfattas som kontroversiella, eller svåra att svara på av andra anledningar, kan leda till att någon eller en representativ grupp väljer att inte slutföra enkäten (Japiec et al., 1997). På så sätt kan en grupp eller en viss typ av åsikter vara över- respektive underrepresenterade.

Då analysen för de invändiga lösningarna utfördes med simuleringar och ej expertbedömningar återfinns ej samma problematik med subjektivitet och eventuella biases som det gör med analysen för de utvändiga. Däremot har det under analysens gång gjorts en del antaganden och approximationer, vilka kan ha påverkats av undermedvetna biases hos rapportförfattarna. De faktorer som diskuteras i känslighetsanalysen under kapitel 8 är osäkerheter som kan tänkas påverka resultatet av simuleringarna, exempelvis kring antal fönster i brandrummet eller sprinklerhuvudenas placering. Det finns dock andra faktorer som kan påverka giltigheten av analysens resultat som inte kan tas hänsyn till i en känslighetsanalys av osäkra parametrar i FDS. Grundförutsättningarna och typbyggnaden har utformats med ambitionen om att efterlikna de identifierade objekten med utrymningsproblematiken i den mån möjligt, och där stora osäkerheter eller variationer funnits göra konservativa antaganden.

Exempelvis antogs trapphuset sakna hiss. Det är enligt BBR möjligt att trapphuset förses med hiss där hisschaktet är förlagt i samma brandcell eller i egen brandcell med brandgasventilation. Trapphusets fria volym minskar då och eventuell rökspridning till trapphuset kan då antas leda till högre koncentration rök med bland annat snabbare försämrad sikt som resultat. Antagandet bedöms dock inte leda till att giltigheten av analysens resultat minskar då ett pigtrapphus använts i simuleringarna. Trapphusets dimensioner i typbyggnaden understiger därav dimensionerna i ett normalt svenskt trapphus, och kan alltså ses som ett konservativt antagande.

I analysen har även antagandet gjorts om endast en lägenhet per plan. Antagandet gjordes med bakgrund av samma resonemang; att minska den fria volymen i trapphuset och således få konservativa resultat. I referenslösningen med ett Tr2-trapphus tillåts enligt nybyggnadskrav viss rökspridning till det brandtekniska avskilda utrymmet mellan bostäder och trapphuset. Utrymmande från bostäder belägna på samma plan och som ansluter till samma brandtekniskt avskilda utrymme kan enligt nybyggnadsreglerna tänkas utsättas för rök och kritiska förhållanden en kort stund fram tills att de nått trapphuset. På så sätt har de analyserade analytiskt dimensionerade utformningarna en högre säkerhetsnivå än vad ett motsvarande Tr2-trapphus i typbyggnaden hade haft.

I analysen för typbyggnaden görs antagandet om att takhöjden uppgår till 2,7 meter. Antagandet gjordes med bakgrund av att byggnader som identifierats med utrymningsproblematiken framförallt bestod av äldre bebyggelse. Äldre byggnader har en högre innertakshöjd än motsvarande nybyggnation (Örnroth et al., 2018), vilket enligt nybyggnadsreglerna kan uppgå till minst 2,4 meter (Boverket, 2011:6). En lägre takhöjd leder till mindre utrymme för brandgaslagret i brandrummet, och till ett tidigare och större läckage till trapphuset. Vidare gjordes förenklingen i FDS om att den brandutsatta lägenheten saknade rum och innerväggar. Innerväggar, stängda innerdörrar, eller möblemang leder också till mindre utrymme för brandgaserna och således en

större tryckuppbyggnad i brandrummet. De antaganden och förenklingar som gjorts är viktiga att ta i beaktning vid tolkning och tillämpning av denna analysens resultat.

9.2 Acceptanskriterier

I rapporten har acceptanskriterier bestämts motsvara säkerhetsnivån som nybyggnadsreglerna ställer krav på. Det kan dock diskuteras huruvida det är relevant för analysen eller ens ett tillräckligt mått på risk att jämföras med. Som tidigare nämnt i denna analys gäller enbart nu gällande BBR för de byggnadsdelar som omfattas av ändringen. Bakgrunden till att en ändring av byggnad behövs göras från första början är med stöd av LSO och ett skäligt brandskydd. Enligt lagstiftning behöver då enbart byggnaden uppfylla ett skäligt brandskydd, och i tillämpliga delar och där ändring utförs även uppfylla nu gällande BBR. Att jämföra utrymningslösningar för att uppfylla ett skäligt brandskydd med nu gällande byggregler enligt BBR får därav anses vara konservativt, och inte heller nödvändigt för att uppnå ett skäligt brandskydd.

Rapporten avgränsades till att enbart behandla byggnadstekniska lösningar, och således avgränsades utvärdering av alternativa insatsmetodiker. Det är dock möjligt att utrymningsstrategin i berörda byggnader med utrymningsproblematiken skulle kunna dimensioneras utefter räddningstjänstens möjligheter till insats. I samtliga av de simulerade scenarierna där dörr till brandrummet är stängd uppnås inget av dem kriterierna för kritiska förhållanden som kan leda till livshotande skador. Resultaten visade på att siktbarheten är ett problem för samtliga av de analyserade invändiga lösningarna, men är än dock inget som kan leda till skador. Räddningstjänsten har till samtliga identifierade objekt en insatstid som understiger 10 minuter. Vid ankomst kan räddningstjänsten öppna rökluckor och trycksätta trapphuset med mobila fläktar. Detta förbättrar både arbetsmiljön för räddningstjänsten och således insatsmöjligheterna men även utrymningsförhållandena (Ingason, 1998). Det kan alltså tänkas vara godtagbart med en tillfälligt nedsatt siktbarhet i trapphuset vilket har antagits i rapporten. Utrymmande via utvändig lösning och vidare ner till markplan med räddningstjänstens bärbara utskjutsstege kan ej utrymma innan räddningstjänsten är på plats i de fall det ej går att utrymma via det brandtekniskt avskilda trapphuset. Utrymmande från bostäder där höjden överstiger 11,0 meter från marknivå och där den alternativa utrymningsvägen utgörs av räddningstjänstens bärbara utskjutsstege tvingas då vänta på räddningstjänsten via avsats eller balkong. Risken att utsättas för kritiska förhållanden under utrymningsförloppet på en sådan avsats eller balkong kan anses vara likvärdig jämfört med att vänta i sin bostad på att räddningstjänsten ska ventilera ut brandgaser ur det brandtekniskt förstärkta trapphuset. Vidare kan vägledande markeringar och utrymningsbelysning möjliggöra utrymning i utrymmen där sikten är relativt dålig, vilket alltså skulle kunna möjliggöra utrymning innan räddningstjänsten anlant där trapphuset utgör den enda utrymningsvägen. I sådana fall behövs vidare analys och utredning. Med antagandet om att boendesprinkler inte lyckas släcka branden är det invändiga lösningsalternativet med automatisk brandgasventilation det enda av de analyserade scenarierna som möjliggör utrymning utan räddningstjänstens insats.

I sammanhanget kan det också konstateras att resultatet från enkäten för de utvändiga lösningarna visar på att räddningstjänstens utskjutsstege ses som en relativt dålig lösning i jämförelse med de

andra alternativen, även av räddningstjänsten själva (Brandförsvaret, 2021; Lindsten, 2017; Syd, 2021). Vilket kan argumentera för att ett brandtekniskt förstärkt trapphus är ur denna synpunkt bättre än en utvändigt lösning som leder till 11 meter ovan mark och sedan ner via räddningstjänstens utskjutsstegen.

9.3 Kartläggning av problematikens utbredning och räddningstjänstens hantering

Resultatet från den initiala enkäten riktad till räddningstjänster samt intervjuer visar på att det i dagsläget existerar ett flertal olika speciallösningar, både vad gäller insatsmetodik men även byggnadstekniska. Det visade sig även finnas en skillnad i hur olika räddningstjänster resonerade om speciallösningar och om utrymningsproblematikens omfattning. Vad som föranleder skillnaderna är oklart, och belyser vikten av ett fortsatt samordningsarbete bland räddningstjänsterna.

Resultatet från kartläggningen av utrymningsproblematiken samt räddningstjänstens hantering visar på att problemet är koncentrerat till storstäder med äldre bebyggelse. Det fanns en noterbar skillnad mellan hur räddningstjänsterna resonerade kring dels problematikens utbredning i deras egna täckningsområden, men även deras synsätt på olika speciallösningar. I intervjun med SSBF framgick det att de överlag var nöjda med deras speciallösning, Alley Cat, men att det fanns förbättringsområden. Den upplevda problematiken som RSG beskriver kring blockerade tillträdesvägar eller inadekvata uppställningsplatser upplevs inte som ett lika vanligt problem i Stockholm. Av intervjun att döma var problemen kring speciallösningen Alley Cat istället kopplade till utformningen av själva fordonet, där det största problemet beskrevs som den långa uppställningstiden och avsaknad av flexibilitet. SSBF hade vid intervjuns tillfälle en pågående utredning om införskaffandet av en ny speciallösning, där en gårdshävarare likt den RSG avställde 2017 var en av kandidaterna på grund av att fordonet var utrustat med en korg. Enligt den intervjuade skulle då SSBF ha möjlighet att assistera vid utrymning från korgen, samt att de utrymmande slipper klättra ner för en stegen vilket kan ställa krav på både psykiska och fysiska förutsättningar. RSYD resonerade om att problematiken är relativt sett Stockholm och Göteborg väldigt begränsad till ett fåtal objekt i Lund och Malmö, och att problematiken således är i en väldigt begränsad omfattning. Deras speciallösning, Åsbrink-stegen, användes enligt den intervjuade sällan på grund av en lång framkörningstid, och istället tillämpades och prioriterades andra insatsmetodiker för att assistera vid utrymning.

Av den inledande enkäten och intervjuerna med de räddningstjänster som angett att de hade utrymningsproblematik framgick det att det finns en önskan om att utrymningsstrategier från flerbostadshus i första hand löses byggnadstekniskt. Rapporten har identifierat ett flertal byggnadstekniska lösningar för att antingen tillskapa en alternativ utrymningsväg eller för att brandtekniskt förstärka det befintliga trapphuset. Av dem har ett urval gjorts för att analyseras vidare. För att analysens giltighet ska täcka in så många av de aktuella objekten som möjligt valdes enbart de lösningsförslag som bedömdes som möjliga i samtliga identifierade byggnader, och de som var innanför rapportens avgränsningar. Lösningar som exempelvis innebar stora

planlösningssändringar är i många fall varken praktiskt genomförbara eller kostnadseffektiva. Det är dock möjligt att det finns objekt där det finns lösningsförslag som passar bättre än något av de av rapporten analyserade lösningsförslag.

9.4 Utvändiga lösningar

Resultatet från enkäten visade på att endast lösningsalternativ som är rekommenderade av Räddningstjänsten Storgöteborg anses vara bättre på samtliga kvalitetsdimensioner och alltså säkrare än referenslösningen av de analyserade lösningsalternativen. Enligt svar på enkätens frågor rangordnas loftgång till annat trapphus som den säkraste av de analyserade utvändiga utrymningslösningar, följt av utvändig utrymningstrappa till marknivå och motsvarande fast till 11 meter. Den enda lösningen som inte anses likvärdig referenslösningen och som rekommenderas av RSG är utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak. Framför allt anser respondenterna att krav på förkunskaper och risk att yttre faktorer gör utrymningslösningen oanvändbar eller ineffektiv vara den största risken kopplad till utrymningslösningen. I övrigt kan det konstateras att enkätresultatet stämmer väl överens med de domar som finns om liststege, stege med fast monterat ryggskydd samt lucka i balkong, där tillförlitlighet och krävd fysisk förmåga ifrågasatts. Sammanställning av domarna återfinns i Bilaga C Sammanställning av domar.

De analyserade utvändiga utrymningslösningar som av respondenterna överlag ansågs vara sämst ur ett personsäkerhetsperspektiv är lösningar som innebär att klättra ner på stege över 11 meter, till stor del på grund av att en större fysisk kapacitet krävs. Dessutom ställer det enligt ett flertal domar, av vilka en sammanfattning återfinns i Bilaga C Sammanställning av domar, stora krav på att en psykisk barriär övervinns, vilket inte har utretts i analysen.

Respondenternas svar på frågan ”Risk för personskador (ej kopplat till brandförloppet) vid användandet av lösningen?” som återfinns i Tabell 8 visar på att utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak värderades sämre än vad utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på underliggande våning eller motsvarande hela vägen ner till marknivå gjorde (3,4 jämfört med 3,1 respektive 3,4 jämfört med 2,6). Enligt Kvarnström & Ericson (1980) sker fler olyckor vid nerpassage i trappor, vilket går emot vad respondenterna uppgett. Det är möjligt att respondenterna tagit väntandet på assistans från räddningstjänst på taket i beaktning och således bedömt risken för exempelvis fallolycka. Resonemanget stärks av att respondenterna värderat utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på underliggande våning som mindre säker än utrymningstrappa hela vägen ner till marknivå, trots att den sistnämnda innebär ytterligare fyra våningar som den nödställda måste gå ner för. Det är alltså antingen väntande-förfarandet på räddningstjänsten som bedömts vara mer riskfyllt ur personsäkerhetsaspekten på tak respektive underliggande våning, alternativt att respondenterna tagit utrymning med hjälp av räddningstjänsten hela vägen ner till det fria i beaktning. I de fallen där respondenterna besvarat frågorna med hänsyn till det så har de bedömt det mer säkert ur ett personsäkerhetsperspektiv att klättra ner för räddningstjänstens bärbara utskjutsstege än att bli hämtad med hävarfordon eller maskinstege. Många räddningstjänster, exempelvis RSG (2017), uppger dock i kommunala handlingsplaner om råd och anvisningar för utrymning med hjälp av räddningstjänst att möjligheten till att använda maskinstege i första hand

bör prövas även vid höjder under 11 m. Utrymning med maskinstege eller hävarfordon analyserades ej av rapporten, men det kan än dock antas vara mer säkert att utrymma via någon av dessa lösningar än motsvarande bärbar utskjutsstege. Det kan därav inte ges någon förklaring till det ovan beskrivna resultatet mer än att de övriga felkällor och osäkerheter som diskuterats kan vara bakomliggande orsaker. Metod för analys av utvändiga lösningar samt enkätens utformning diskuteras mer detaljerat i delkapitel 9.1.

När enkätsvaren delades upp i enkätens olika kategorier av relevant arbetserfarenhet noterades en trend. Högst medelvärde återfanns bland gruppen med mest arbetserfarenhet, tätt följt av respondenter som angivit 5–10 års arbetserfarenhet. Störst skillnad påträffades i gruppen med minst arbetserfarenhet, där medelvärdet på svaren jämfört med motsvarande värde för de två andra kategorierna var mindre i nästan samtliga frågor. Skillnaden kunde dock inte påvisas vara statistisk signifikant.

Det föreföll finnas en skillnad mellan svar från de som angett att de arbetade på räddningstjänst jämfört med motsvarande som brandkonsulter. En möjlig förklaring till varför skillnaden finns skulle kunna vara att det finns en differens i respondenternas angivna relevanta arbetserfarenhet för respektive bransch. Angiven arbetserfarenhet för respondenterna uppdelat i angiven bransch redovisas i Tabell 7 i kapitel 7.1. Dock visar resultatet på att även där svaren delats upp i respektive bransch-grupp och viktats med angiven arbetserfarenhet och jämförs med varandra kan en skillnad mellan branscherna noteras, där svaren från konsulter är lägre med undantag för ett par frågor. Noterbart är också hur svaren skiljer sig mellan de respektive branscherna för assisterad utrymning med hjälp av räddningstjänstens utskjutsstege.

9.5 Invändiga lösningar

Som resultatet visar är frekvensen för att brand leder till att trapphuset inte kan nyttjas för utrymning för de analyserade lösningsalternativen flera gånger högre än motsvarande för ett Tr2-trapphus. Orsaken är framförallt att ett Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering har en redundans som de analyserade alternativa utformningarna saknar. För att ej kritiska förhållanden ska uppstå i trapphuset vid brand räcker det att antingen dörren mellan brandtekniskt avskilt utrymme och trapphus eller att dörr mellan bostad och brandtekniskt avskilt utrymme är stängd. Baserat på tidigare fördiskussion i denna analys, se delkapitel 9.2 och 9.4, kan det dock diskuteras för att analyserade lösningar skulle vara godtagbara.

9.5.1 Simuleringar

För att bestämma om vissa invändiga tekniska system kan begränsa rökfylldhet av trapphuset har simuleringar i FDS genomförts. Det ska beaktas att simuleringarna har begränsningar, dels i programvaran och dels i antaganden som ligger till grund för hur simuleringarna är konstruerade.

FDS använder sig av en förenklad förbränningsmodell där användaren själv definierar sot- och CO-yields. Vid låg syretillgång ökar produktionen av förbränningsprodukter och det är således inte möjligt att ange yields som är lämpliga för både brandens inledande bränslekontrollerade fas, och ett eventuellt ventilationskontrollerat senare skede. Vid alla simuleringar görs därför en kontroll

om att syre- och ventilationsförhållanden är tillräckliga för att kunna betrakta branden som bränslekontrollerad. Bränder som går till övertändning är att betrakta som ventilationskontrollerade och av giltighetsskäl simuleras de inte, utan behandlas med kvalitativa resonemang. Av de scenarier som simulerades blev endast de sprinklerkontrollerade bränderna ventilationskontrollerade. Detta skede mot brandförloppet senare del, då kritisk sikt redan infunnit sig i trapphuset. På grund av den sprinklade brandens låga effektutveckling bedömdes inte några andra parametrar kunna leda till kritiska nivåer. Dessutom kan det antas att den sprinklerkontrollerade branden förmodligen redan hade släckts av sprinklersystemet vid ett så sent tidsskede. Därför anses inte detta påverka rapportens resultat nämnvärt.

Som Figur 70 visar så summerar inte flödet in och ut genom från fönsterna till noll. Det kan bero på flera anledningar. Brandgaser läcker ut till trapphuset genom mellanrum mellan dörr och karm, vilket framgår i Figur 71, men även om det tas hänsyn till skiljer sig utflödet och inflödet från brandrummet. En liten del av brandgaserna läcker ut genom de definierade väggläckage-areorna, men massbalans-felet här kommer troligen från FDS approximationer vid beräkningen kopplat till cellstorlek som diskuterat av Zhao et al. (2015), samt tidigare diskuterat i denna analys i Bilaga F Simuleringsförutsättningar där även flödeskoefficienten kort diskuterats.

Det har gjorts olika känslighetsanalyser för rapporten. Gridupplösningen är den enskilt viktigaste parametern för kvaliteten av en FDS-simulering (Nystedt & Frantzich, 2011). Därför hade en känslighetsanalys med varierad gridupplösning kunnat göras för att ytterligare öka validiteten i rapporten. Däremot har rapporten till stora delar följt anvisningar om gridupplösningen i anslutning till branden (BIV, 2013) och cellstorleken bör därför vara korrekt tilltagen under stora delar av brandförloppet. Hur gridupplösning tagits i beaktning framgår i Bilaga F Simuleringsförutsättningar.

9.5.2 Tillförlitlighet

Möjliga felkällor till att datan inte kan anses vara tillförlitlig kan vara att den inte är tillämpbar för aktuella förutsättningar, eventuella skillnader i byggregler och statistiska underlag där statistik tagits från andra länder, tekniska innovationer som lett till att siffrorna för tillförlitlighet är inaktuella, eller av andra orsaker. Bland undersökt litteratur finns ingen entydig definition av 'tillförlitlighet'. Ibland menas då enbart tillförlitligheten att det brandtekniska systemet aktiverar. Ibland menas total tillförlitlighet, det vill säga sannolikhet att dels systemet aktiverar och är effektivt som avsett. I denna analys avses 'tillförlitlighet' både att systemet aktiverar och fungerar som avsett.

En röktäthetsklassad lägenhetsdörr (S_{200}) har i analysen antagits vara tillräckligt röktät. Vidare har en slussdörr testad för kallrök (S_a) antagits tillräckligt tät vid ett brandförlopp då den vanligtvis är placerade på ett längre avstånd från brandrummet och brandgaserna hunnit svalna innan de når dörren i fråga. Detta har legat till grund för antagandet om att ett Tr2-trapphus kan stå emot och förhindra att kritiska förhållanden kan uppstå i trapphuset givet att minst en dörr är stängd. Med det menas att antingen dörr till sluss eller brandtekniskt avskilt utrymme (dörr till bostad) är stängd alternativt att dörr mellan sluss eller brandtekniskt avskilt utrymme till trapphus är stängd. Det är emellertid ovisst huruvida en röktäthetsklassad dörr faktiskt står emot en full utvecklad rumsbrand.

För att en dörr ska kunna klassificeras som röktät (S_{200}) ska den vara typgodkänd enligt SS-EN 13501-2:2016, där dörren utsätts för 200° C varm rök och 50 Pa övertryck. Flödet genom hålrum och glipor får då maximalt uppgå till 20 m³/h. En rumsbrand uppnår högre temperaturer och många gånger högre övertryck (Bengtsson & Hardestam, 2001). Det är på så sätt ovisst hur väl en röktäthetsklassad dörr verkligen står emot ett fullskaligt brandförlopp. Således har ett icke-konservativt antagande om just Tr2-trapphusets förmåga att motstå ett fullskaligt brandförlopp gjorts. Antagandet är dock konservativt i den jämförande analys som utförts i denna rapport.

Ett brandtekniskt avskilt utrymme alternativt brandsluss till ett Tr2-trapphus kan utformas på flera olika sätt. För tillskapande av Tr2-trapphus i aktuella identifierade befintliga objekt med utrymningsproblematiken kan i praktiken enbart ett sådant brandtekniskt avskilt utrymme eller brandsluss tillskapas genom att en bit av hallen inne i bostaden styckas av till en sluss. En sådan måste utformas så att utrymmande kan passera genom slussen där enbart en dörr är öppen i taget, men på grund av yteffektiva skäl begränsas till ett par kvadratmeter. På grund av det är effektiviteten av en sådan brandsluss begränsad till dörrarnas förmåga att hålla tätt mot brandgaser.

Sannolikheten för att dörr till lägenhet ställs upp bör vara mindre än motsvarande för dörr mellan sluss och lägenhet, vilket diskuteras i Bilaga H Tillförlitlighetsanalys. Den totala felsannolikheten för dörrstängare med freeswing-funktion på dörr till lägenhet kan då antas vara mindre än motsvarande för dörrstängare på dörr mellan sluss och trapphus i ett Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering. I brist på data eller statistik för felsannolikheter för dörrstängare med freeswing har det i analysen antagits att dörrstängare med freeswing monterad på dörr till bostad har samma felsannolikhet som en konventionell dörrstängare mellan trapphus och sluss har.

Antagandena för tillförlitlighetsanalysen och de osäkerheter som finns med felsannolikheterna påverkar dock inte den jämförande analysen mellan referenslösningen och de olika paketlösningarnas giltighet.

9.6 Jämförelse med andra studier

En jämförelse med liknande tidigare utförda studier genomförs för att undersöka hur väl analysens resultat stämmer överens. Jönsson & Winberg på SWECO (2017) har gjort en kvantitativ och kvalitativ konsekvensanalys av boendesprinkler i flerbostadshus på uppdrag av Boverket. Författarna jämförde säkerhetsnivån och kostnaden för ett flerbostadshus med ett boendesprinklersystem installerat och förlängd insatstid med en referenslösning enligt nybyggnadskrav. Rapporten drar slutsatsen att säkerhetsnivån kan anses vara bättre än motsvarande referenslösning med fönsterutrymning och 10 minuters insatstid eller tillskapande av Tr2-trapphus. Vidare menar Jönsson & Winberg (2017) att kostnaden som ett boendesprinklersystem bedöms medföra är ungefär likvärdigt om man jämför med totala kostnaden av ett Tr2-trapphus. Utrymningsproblematiken är som visat i kapitel 4.1 begränsat till framförallt storstäder och innerstäder, där insatstiden understiger 10 minuter till samtliga identifierade objekt. Därav kan ett flerbostadshus med identifierad utrymningsproblematik och som förses med ett boendesprinklersystem anses ha en ännu högre säkerhetsnivå. I sammanhanget kan det även konstateras att de analyserade invändiga lösningarna ökar brandskyddsnivån för samtliga boende i

byggnaden. Dessutom ökar räddningstjänstens insatsmöjligheter genom att trapphuset hålls fritt från rök och brandgaser.

Södertörns brandförsvarsförbund (2011) redogjorde i ett PM deras rekommendationer för brandskydd i byggnader vid projektering. De anser att assisterad utrymning med hjälp av räddningstjänsten är problematisk ur ett flertal synpunkter, och förordar istället en byggnadsteknisk lösning såsom ett Tr2-trapphus eller att förse dörrstängare på lägenhetsdörrar samt trapphus med automatisk röklucka eller mekanisk brandgasventilation som öppnas respektive aktiveras vid detektion av brand.

En annan invändig brandteknisk lösning som föreslagits och tillämpats i några specifika fall runt om i Sverige är att förse flerbostadshus med utrymningslarm som brandskyddshöjande åtgärd. Lösningen har dock visat sig vara kontraproduktiv då utrymmande riskerar att fastna i ett rökfyllt trapphus, istället för att invänta räddningstjänsten i bostaden vilket har visat sig vara ett bättre alternativ då brandcellsgränserna förutsätts vara intakta i minst 60 minuter.

9.7 Utrymning för rörelsehindrade

Strategi för utrymning som bygger på att nödställda tar sig till säker plats genom utvändigt lösning kräver att den nödställda har tillräckliga fysiska förutsättningar för att ta sig i säkerhet. Det ställs enligt dagens gällande byggregler inga krav om utrymningsplatser för rörelsehindrade i Vk3A (bostäder). Emellertid kan det konstateras att rörelsehindrade eller äldre med funktionsnedsättningar saknar möjligheten att utrymma i händelse av brand via en utvändigt lösning där utrymningsproblematiken finns.

Samtal med brandmän visar på att räddningstjänsten saknar förmågan att assistera funktionsnedsatta vid utrymning med den bärbara utskjutsstegen på ett tillfredsställande sätt. De analyserade invändiga lösningar har flera fördelar gällande utrymning för äldre och funktionsnedsatta. Genom att trapphuset hålls fritt från kritiska förhållanden kan rörelsehindrade ta sig till trapphuset och där påkalla hjälp. Dessutom har till exempel olika typer av boendesprinklersystem visats vara effektiva brandtekniska system för äldre och funktionsnedsatta (Runefors & Frantzich, 2017).

9.8 Kulturhistoriskt viktiga byggnader

Flera av lösningarna på utrymningsproblematiken innebär ett ingrepp i byggnadens utformning och utseende. I tidigare liknande fall där ett skäligt brandskydd och personsäkerhet ställts mot kulturhistoriska intressen har domstolar och remissinstanser tagit olika ställning. I en majoritet av fallen har dock ett skäligt brandskydd med stöd av LSO bedömts vara av större vikt än det arkitektoniska för kulturhistoriskt viktiga byggnader (MSB, 2015), på grund av att bristerna som upptäckts varit av sådan omfattning att ett ingrepp i byggnaden varit befogat. Bedömningsfrågan avgörs från fall till fall beroende av bristernas och åtgärdernas omfattning.

Den initiala genomgång av berörda fastigheter i Göteborg med utrymningsproblematik som ålagts med föreläggande från RSG och vidtagit åtgärder visade på att åtgärderna ej betraktats som förvanskning av kulturhistorisk betydelse. Åtgärderna som fastighetsägaren vidtagit har generellt uteslutande handlat om att ge boende tillgång till två av varandra oberoende utrymningsvägar och tillseende av brandcellsgränser. Utrymningsvägar har generellt tillsetts genom att aktuella lägenheter försetts med tillgång till två av varandra oberoende utrymningsvägar, antingen genom ett andra befintligt trapphus men oftast genom en tillskapad utvändig utrymningstrappa. Det kan därav dras en slutsats om att utvändig utrymningstrappa eller andra i sammanhanget förelagda åtgärder ej utgör ett större ingrepp på den kulturhistoriska byggnaden än befogat med hänsyn till LSO och ett skäligt brandskydd enligt förvaltnings- och kammarrätten, samt högsta förvaltningsdomstolen. De av rapporten analyserade alternativa lösningar av utrymningsproblematiken bedöms medföra mindre, alternativt inget, utseendeingrepp än vad en utvändig utrymningstrappa eller andra förelagda åtgärder bedömts göra. Av den anledningen analyserades ej ingrepp i den arkitektoniska utformningen eller den kulturhistoriska aspekten som en av kvalitetsdimensionerna.

9.9 Kostnad

Kostnad för att implementera och underhålla de analyserade utrymningslösningarna har inte undersökts, framförallt på grund av svårigheter att generalisera kostnad till en typbyggnad. I verkligheten kan objekten vara mycket olika utformade vilket påverkar kostnaden direkt genom exempelvis antal dörrstängare eller sprinklerhuvuden. Enligt den genomgång av domar som gjorts där det i överklaganden av bostadsrättsföreningar och fastighetsägare framgår uppskattad kostnad av en utvändig utrymningstrappa kan kostnaden variera mellan ett par hundratusen kronor till över en miljon kronor. För en del av de analyserade lösningsförslagen tillkommer förutom material och arbetskostnad dessutom kostnader för drift och underhåll. För exempelvis ett boendesprinklersystem kan kostnad för pumpar, vattenreservoarer, samt årliga besiktningkontroller tillkomma. På grund av att utrymningsproblematiken framförallt är isolerad till äldre kvartersbebyggelse i storstäder och att fastigheterna ofta står i direkt anslutning till varandra, kan en sådan investering innebära en lägre kostnad än vad exempelvis en utvändig utrymningstrappa medför på grund av att antalet utrymningstrappor och följdkrav på exempelvis brandtekniskt klassade fönster. Bostadsrättsföreningar och fastighetsägare skulle i dessa fall kunna saminvestera. I synnerhet i de fall där innergårdarnas utformning och lägenheternas planritningar ställer till det så att ett stort antal utvändiga utrymningstrappor måste tillskapas. I kalkylen behöver även sekundära effekter tas hänsyn till, exempelvis parkeringsplatser och utemiljöer som försvinner till följd av utvändiga utrymningstrappor.

På samma sätt behövs även positiva sekundära effekter tas hänsyn till. Ett boendesprinklersystem förhindrar inte enbart att kritiska förhållanden i utrymningsvägar uppstår. De har även en direkt livräddande effekt i bostäder, framförallt i äldre personers bostäder som diskuterat under 9.7. Sammantaget är kostnadsfrågan mycket komplex och allt för objektbaserad för att på ett korrekt sätt ta hänsyn till i en sådan här analys.

10 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras kopplat till rapportens problemformuleringar.

1. *Hur spridd är problematiken med åtkomst för räddningstjänsten vid assisterad utrymning i trånga kvartersmiljöer, och hur hanterar räddningstjänsten den idag?*

Det kan konstateras att problematiken med utrymning av bostäder i äldre kvartersmiljöer främst är koncentrerad till räddningstjänsterna för Sveriges tre största tätorter. Övriga räddningstjänster anger i vissa fall enskilda objekt med utrymningssvårigheter där olika specialåtgärder är vidtagna. I stort anser räddningstjänsterna ha en god överblick över sina täckningsområden, även om en fullständig inventering av bostadsbeståndet sällan har gjorts. Framförallt räddningstjänsterna i Stockholm, Göteborg, Malmö/Lund kände igen sig i problematiken men hanterar den på olika vis:

- I Stockholm tillhandahåller räddningstjänsten ett mindre stegfordon som är tänkt att verka i trånga kvartersmiljöer.
- I Göteborg förelägger räddningstjänsten fastighetsägare till bostadshus som präglas av problematiken.
- I Malmö/Lund arbetar räddningstjänsten främst med ordinarie insatsmetodik, dvs vädring av trapphus och rökdykning, i bostäder som präglas av problematiken.

2. *Vilka byggnadstekniska lösningar ger tillfredställande utrymningsmöjligheter där åtkomstproblematiken finns?*

En rad olika byggnadstekniska lösningar har föreslagits i förelägganden, i överklaganden av förelägganden som varit uppe för prövning i rättsinstanser, eller återfunnits i litteratur.

Utifrån enkätsvar kan följande två lösningar anses ge minst lika goda utrymningsmöjligheter än lägsta krav enligt dagens gällande byggregler anger:

- Utvändig trappa hela vägen ner till marknivå
- Loftgång till annat trapphus

Båda lösningarna fick ett statistiskt säkerställt bättre utslag än referenslösning på samtliga egenskaper som mättes i enkäten. Utifrån enkäten kan även en statistisk signifikant skillnad konstateras i hur de svarande värderar lösningsalternativen utifrån bransch den svarande verkar i. Brandexpertis i det privata näringslivet, ofta i egenskap av brandkonsult, värderar generellt lösningsalternativen som bättre än brandexpertis inom räddningstjänst. Ingen av de analyserade invändiga lösningsalternativen kan anses likvärdiga referenslösningen, ett Tr2-trapphus, utifrån varken tillförlitlighet eller funktion.

Utvärdering av samtliga lösningsalternativ utgår från en typbyggnad. Förutsättningar från fall till fall kan variera och därför måste en individuell prövning göras på respektive objekt. Resultaten ska

därför användas med försiktighet, och kan inte direkt appliceras utan vidare på varje objekt som omfattas av utrymningsproblematiken.

11 Vidare studier

Som denna analys visar är det svårt att analytiskt verifiera en alternativ utformning av ett Tr2-trapphus med antagandet om att ett Tr2-trapphus kan förhindra att kritiska förhållanden i trapphuset uppstår även vid övertändning och med enbart en dörr stängd. Det hade varit intressant att studera huruvida en röktät dörr faktiskt motstår ett sådant brandförlopp, och i så fall hur en röktät dörr skulle kunna kombineras med andra brandtekniska system eller riskminimerande åtgärder för att uppnå en motsvarande risknivå som ett Tr2-trapphus. Vidare hade det även varit intressant att undersöka hur dimensionerna på trapphuset påverkar resultatet.

En simulering utfördes för att studera inverkan på siktförhållandena i trapphuset om ett fönster stod öppet under hela brandförloppet. Resultatet visade på att siktförhållandena påtagligt förbättrades i trapphuset. En vidare studie om exempelvis automatisk öppning av fönster monterade i bostäder hade i sammanhanget varit intressant.

Vidare kunde det under analysens gång noteras att det saknas tillräckligt med tillförlitlig data på felsannolikheten hos dörrstängare med freeswing-funktion monterade på dörrar till bostäder. Genomgången av domar samt samtal med brandkonsulter visade på att det är en relativt vanligt förekommande föreslagen lösning, men att det saknas erforderlig utredning om tillförlitlighet. Av den anledningen finns det stora incitament för att undersöka frågan.

För att kunna bedöma om lösningsalternativen kan anses skäligen behövs en kostnadsaspekt vägas in för analyserade lösningar. Därför efterlyser rapporten en kostnads-nytta-analys på analyserade lösningsalternativ.

12 Referenser

- Ahrens, M. (2021). *US experience with sprinklers*. National Fire Protection Association. Research, Data and Analytics Division.
- Andersson, C. (1999). Risk-och kostnadsvärdering av alternativa brandskyddslösningar.
- Andersson, P., Aras, S., Arvidson, M., Frantzich, H., Larsson, I., Vermina Lundström, F., Nilsson, D., & Runefors, M. (2018). Riskreducerande åtgärder för dödsbränder i bostäder. In:
- André, E. M. (2006). *Fire escapes in urban America: History and preservation* University of Vermont].
- Arvidsson, M., Carlsten, S., Försth, M., Lindblad, L., McNamee, M., Mcnamee, R., Raquette, T., Sandström, J., & Steen-Hansen, A. (2021). Brandsäkerhet för byggnader med kulturvärden: En kunskapsöversikt. In: Insamlingsstiftelsen Brandforsk.
- Belles, D. W. (1983). Life saving potential of automatic sprinklers and early warning systems. *Building Official and Code Administrator, Part 1*, 23-25.
- Bengtsson, L.-G., & Hardestam, P. (2001). *Inomhusbrand*. Räddningsverket.
- Bergström, A. (1874). *Kongl. Maj:ts Nådiga Byggnadsstadga för rikets städer*. Håkan Ohlssons Boktryckeri.
- BIV. (2013). *CFD-beräkningar med FDS*.
- Boverket. (2009). Så mår våra hus – redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning mm. In: Boverket Karlskrona.
- Boverket. (2011). *Utredning av alternativ för förbättrat brandskydd i trapphus i flerbostadshus - Yttrande till Statens Haverikommission angående lägenhetsbranden på Kuddbygränd, Rinkeby, Stockholms län, 25 juli 2009*. Boverket.
- Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd, BBR 29, (2011:6).
- Boverkets konstruktionsregler, (2011:10).
- Boverket. (2013). *BBRAD 3*.
- Boverket. (2020). *Brandtekniska klasser för branddörrar*. Retrieved 16/11 from <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/branddorrar/>
- Utrymning med hjälp av räddningstjänsten, (2021).
- brandförsvarsförbund, S. (2011). *Brandskydd i praktiken*.
- Brohez, S., & Caravita, I. (2020). Fire induced pressure in airtight houses: Experiments and FDS validation. *Fire Safety Journal*, 114, 103008.

- BSI, & -7; P. (2019). Application of Fire Safety Engineering Principles to the Design of Buildings—Part 7: Probabilistic Risk Assessment. In: British Standards Published Document London, UK.
- Carlens, K. (2006). Analys av brandskyddets egenskaper. *LUTVDG/TVBB--5201--SE*.
- Centre, F. C. R. (1996). *Fire engineering guidelines*. Fire Code Reform Centre.
- Cowlard, A., Bittern, A., Abecassis-Empis, C., & Torero, J. (2013). Fire Safety Design for Tall Buildings. *Procedia Engineering*, 62, 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.053>
- Fire, D. B. S. B. D. (1997). Safety Engineering in Buildings. Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles. *British Standards Institution*.
- Frantzich, H. (2006). Utrymningsdimensionering. In: Boverket, Karlskrona.
- Gravestock, N. (2008). Effectiveness of fire safety systems for use in quantitative risk assessments. *New Zealand Fire Service Commission, Wellington, NZ*.
- Gulay, B., Stewart, C., & Foley, G. (1993). Field investigation survey of airtightness, air movement and indoor air quality in high-rise apartment buildings.
- Halldén, E. (2015). Kvantitativ verifiering av tekniska byten. *LUTVDG/TVBB*.
- Hurley, M. J., Gottuk, D. T., Hall Jr, J. R., Harada, K., Kuligowski, E. D., Puchovsky, M., Watts Jr, J. M., & WIECZOREK, C. J. (2015). *SFPE handbook of fire protection engineering*. Springer.
- Ingason, H. (1998). *Övertrycksventilation i medelstora lokaler. Försök med mobila fläktar*.
- INQUIRY, G. T. (2018). Grenfell Tower-fire safety investigation: The fire protection measures in place on the night of the fire, and conclusions as to: the extent to which they failed to control the spread of fire and smoke; the extent to which they contributed to the speed at which the fire spread. *Fire Safety Engineering*.
- Institution, B. S. (1997). Fire Safety Engineering in Building. Part 1: Guide to the application of fire safety engineering principles. DD 240.
- Japac, L., Ahtiainen, A., Hörngren, J., Lindén, H., Lyberg, L., & Nilsson, P. (1997). *Minska bortfallet*. Statistiska centralbyrån Stockholm.
- Jönsson, R., & Winberg, D. (2017). *Brandteknisk utredning om sprinkler i flerbostadshus*. B.-o. R. Sweco Systems.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. (1999). *Enclosure fire dynamics*. CRC press.
- Kvarnström, L., & Ericson, L. (1980). *Spiraltrappan: en diskussion om risker och rörelser*.
- Lay, S. (2014). Pressurization systems do not work & present a risk to life safety. *Case Studies in Fire Safety*, 1, 13-17.
- Li, J., Beji, T., & Merci, B. (2018). Preliminary Numerical Study of Fire-Induced Pressure Rise in a Passive House Compartment. *Journal of Physics: Conference Series*,
- Lindsten, M. (2017). *Råd och anvisning nr: 110 Räddningstjänstens insattid och förmåga*. Räddningstjänsten Storgöteborg

- Lundin, J. (2001). *Verifiering, kontroll och dokumentation vid brandteknisk projektering*. Lund University, Department of Fire Safety Engineering.
- McDermott, H., Haslam, R., & Gibb, A. (2010). Occupant interactions with self-closing fire doors in private dwellings. *Safety science*, 48(10), 1345-1350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.05.007>
- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., & Overholt, K. (2013). Fire dynamics simulator user's guide. *NIST special publication*, 1019(6), 1-339.
- Meister, D. (2014). *Psychology of system design*. Elsevier.
- MSB. (2015). *I skälighetsomfattning - Ett urval av överklagade tillsynsärenden om brandskydd*.
- MSB. (2020). *Kommunal tillsyn enligt lagen om skydd mot olyckor*. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB).
- Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, M. (2021). *Statistikdatabasen IDA - Bränder i bostäder*
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). Kompendium i aktiva system-detektion. *Lund: Lunds universitet*.
- Nilsson, P. (2013). *Brandskyddsbeskrivning Timotejen 17 - Tellus Tower*. B. B. R. AB.
- Nystedt, F. (2001). Bostadsbränder och sprinkler. En koppling till brandteknisk dimensionering.
- Nystedt, F., & Frantzich, H. (2011). Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar. *Departure of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University*.
- Otway, H., & von Winterfeldt, D. (1992). Expert judgment in risk analysis and management: process, context, and pitfalls. *Risk analysis*, 12(1), 83-93.
- Planverk, S. (1975). Svensk Bygg Norm 1975. In: Statens Planverk Stockholm.
- Poon, L. (1988). Predicting time of flashover. *Fire Safety Science*, 3, 283-294.
- Plan- och byggförordningen, (2011:338).
- Lag om skydd mot olyckor, (2003:778).
- Plan- och bygglagen, (2010:900).
- Runefors, M., & Frantzich, H. (2017). *Nyttoanalys av spivakt och portabelt sprinklersystem vid bostadsbränder*. Lund University, Department of Fire Safety Engineering.
- Runefors, M., & Persson, C. (2017). Trycksättning av trapphus - risker och möjligheter.
- Runefors, M., & Sender, J. (2020). *Tekniska lösningar för utformning av räddningshissar*. S. S. B. Utvecklingsfond.
- Rychlik, I., & Rydén, J. (2006). Probability and risk analysis.

- SCB. (2016, 2016-12-12). *Vanligast med 2 rum och kök på 57 kvadratmeter*. Retrieved 29/11 from <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2016/Vanligast-med-2-rum-och-kok-pa-57-kvadratmeter/>
- Vägledning 05: Utrymning med rätj. stegutrustning, Räddningstjänsten Östra Skaraborg, (2018).
- Staffansson, L. (2010). Selecting design fires.
- Statistiska centralbyrån, S. (2022).
- Råd och anvisning nr: 100
- Räddningstjänstens insatstid och förmåga, (2017).
- Råd och anvisning: Utrymning med hjälp av Räddningstjänsten Syd, (2021).
- Trä, S. (2022). *Exempel på avskiljande väggar*. Retrieved 06/12 from <https://www.traguiden.se/om-tra/brandsakerhet/trakonstruktioners-brandmotstand/trakonstruktioners-brandmotstand/exempel-pa-avskiljande-vaggar/>
- Wahlqvist, J., & Van Hees, P. (2013). Validation of FDS for large-scale well-confined mechanically ventilated fire scenarios with emphasis on predicting ventilation system behavior. *Fire Safety Journal*, 62, 102-114.
- Wahlqvist, J., & van Hees, P. (2017). Evaluating methods for preventing smoke spread through ventilation systems using fire dynamics simulator. *Fire and materials*, 41(6), 625-645.
- Xie, Q., Zhang, H., Wan, Y., Zhang, Q., & Cheng, X. (2008). Full - scale experimental study on crack and fallout of toughened glass with different thicknesses. *Fire and Materials: An International Journal*, 32(5), 293-306.
- Zhao, G., Beji, T., & Merci, B. (2015). Application of FDS to Under-Ventilated Enclosure Fires with External Flaming. *Fire Technology*, 52. <https://doi.org/10.1007/s10694-015-0552-4>
- Öhman, N. (2016). Rökventilationsanläggningar i höghus: Funktionssäkerhet, användbarhet och underhåll.
- Örnroth, M., Caldenby, M., Larsson, M., Johansson, A., Magnusson, L., & Hybring, J. (2018). *Gårdshävarutredningen. Ansvarsfördelning samhälle/enskild - utrymningsproblematik och gårdshävarare*. R. Storgöteborg.

Bilaga A Sammanställning enkät – kartläggning

Sammanställning av frågor till räddningstjänst om åtkomstproblematik presenteras i Tabell 16.

Tabell 16. Sammanställning av frågor till räddningstjänst om åtkomstproblematik. Svaren kan delvis vara redigerade för läsbarhet. Svaren är sorterade från storlek på tätort i fallande ordning

Tätort	Räddningstjänst	Frågeställningar		
		Används speciallösningar för assisterad utrymning av bostäder inom er räddningstjänsts täckningsområde?	Om "Ja" på föregående fråga, vad för typ av utrustning handlar det om?	Har det gjorts inventering för att säkerställa att räddningstjänstens ordinarie utrustning kan bistå med assisterad utrymning för samtliga bostäder i täckningsområdet, i de fall där assisterad utrymning förväntas ske?
Stockholm*	Stockholms Brandförsvär	Ja.	En "Alley-cat" på heltidsstation.	Nej. En bedömning om 800–1000 bostäder finns.
Göteborg*	Räddningstjänsten Storgöteborg	Nej.	Har tidigare, fram till 2017, tillhandahållit en gårdshävare.	Ja. Nyligen avslutad inventering av där problematiken uppdagats. Det kan inte uteslutas att det finns bostäder som fallit under radarn.
Malmö och Lund*	Räddningstjänsten Syd	Ja.	Längre steg av Åsbrink-fabrikat stående på deltidsstation	Nej.
Uppsala	Uppsala Brandförsvär	Nej.	-	Nej, inte i närtid. RTJ kan inte erinra sig om att de har några objekt med utrymningsproblematiken.
Upplands Väsby/ Sollentuna	Brandkåren Attunda	Nej.	-	Ingen specifik inventering. Vi har överlag god kunskap om vilka byggnader som är projekterade med att RTJ är en del i utrymningen (befintliga höjdfordon och stegar). Här har vi som rutin att göra besök då och då för att testa uppställningsplatser och åtkomlighet. För nya byggnader är vi delaktiga och stöttar våra respektive kommuner i deras plan- och byggärenden. Redan där försöker vi fånga upp och trycka på kring sådana här frågor, så att det inte ska bli några speciallösningar.
Västerås**	Räddningstjänsten Mälardalen	Ja. Två byggnader där normalt höjdfordon inte når upp. Har längre utskjutsstegar samt automatiskt brandlarm på vissa orter för att nå upp till	42-metershävare. 14-meters utskjutsstegar på vissa objekt.	Nej. Ingen systematisk och noggrann inventering har gjorts.

		översta våningen. Har veterligen inga problem med trånga innergårdar i äldre bebyggelse.		
Örebro	Nerikes Brandkår	Nej. Däremot finns ett hus med fördröjd insatstid av höjdfordon. Larmåtgärder är vidtagna i trapphus för att trygga utrymning.	-	Ja.
Linköping och Norrköping	Räddningstjänsten Östra Götaland	Nej.	-	Ja. Inventering av framkomlighet med höjdfordon har gjorts till befintliga höga bostadshus. Det har renderat i krav på räddningsvägar.
Helsingborg	Räddningstjänsten Skåne Nordväst	Nej. För att få nyttja våra höjdfordon som utrymningsväg krävs att man uppfyller kraven i våra råd och anvisningar för utrymning med m.h.a RTJ samt kraven i BBR.		Nej. Vi har inte genomfört någon särskild inventering över alla bostäder med specifikt detta syfte. Blir vi däremot uppmärksammade på att detta verkar vara ett problem vidtar vi åtgärder med anledning av det.
Jönköping**	Räddningstjänsten Jönköping Kommun	Ja, delvis.	Vi har ett antal bostadshus som inte klarar kraven enligt nuvarande bygglagstiftning gällande krav på att det inte ska vara mer än 11 meter mellan mark och underkant fönster. Det har medfört att vi nu har 14-meters bärbara stegar på räddningseenheterna. Även en speciallösning där bärbarstege lyfts upp med maskinstege för ett objekt. Objektet är	-

			försett med sprinklers.	
Umeå	Umeå Brandförsvaret	Nej.	-	Till viss del. Ett projekt påbörjades 2016 för att kartlägga uppställningsplatser vid flerbostadshus högre än 4 våningar. Projektet drevs under några månader och visade att det förekom brister i utformandet av uppställningsplatser och krav på åtgärder ställdes i tillsynsprocessen. Kraven hade koppling till framkomlighet, bärighet i mark, skyltning m.m. Projektet lades ner pga. resursbrist och prioriteringar. I övrigt gäller ordinarie hantering av bygglov eller bygganmälan vilket har varierat genom åren. Det kan även med dagens regelverk inte uteslutas att det finns lägenheter där alternativ utrymningsväg m.h.a RTJ inte kan uppfyllas.
Gävle	Gästrike Räddningstjänst	Nej.	-	Nej, sådan inventering har inte gjorts.
Södertälje	Södertörn Brandförsvarsförbundet	Nej.	-	Ja. Det är upp till varje distrikt bland medlemskommunerna att säkerställa att stegfordon och dylikt kommer fram på räddningsvägar och kommer åt balkonger/fasadsidor etc. En central inventering kan svarande inte erinra sig att det talats om för samtliga objekt.
Borås	Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbundet	Nej. Endast utrustning som hanteras i BBR och 5:323 mer specifikt.	-	Om det gjorts inventering är det innan kontaktpersonens tid. Uppställningsplatser påverkas ibland av snö, träd, felparkeringar etc. Inventering av nybyggnation sker löpande.
Halmstad	Räddningstjänsten Halmstad Kommun	-	-	-
Växjö	Värends Räddningstjänst	Nej.	-	Ja.
Eskilstuna	Räddningstjänsten Eskilstuna Kommun	-	-	-
Karlstad	Räddningstjänsten Karlstadsregionen	-	-	-

*Informationen härrör helt från intervju med räddningstjänsten

**Informationen härrör delvis från där frågor ställdes per mejl, och delvis från intervju med räddningstjänsten

Bilaga B Intervjufrågor räddningstjänstens metoder

Nedan framgår en del av de frågor som utgicks från vid intervjuer med räddningstjänst.

- *Har er ordinarie stegutrustning åtkomst till samtliga bostadshus i staden?*
- *Hur säkerställer ni att tillfredställande utrymning kan ske för de bostäder som ordinarie stegutrustning inte kan nå?*
- *Ungefär hur många bostäder behöver specialåtgärder (ex gårdshävare) för att utrymning ska kunna ske?*
- *Har speciallösningen någon gång använts skarpt? Och i så fall hur många gånger?*
- *Har ni säkerställt att specialåtgärden (ex gårdshävare) kan betjäna samtliga bostäder som avsett? Sker detta kontinuerligt? Har ni övat på dessa bostäder?*
- *Vad krävs för att kunna upprätthålla speciallösningen? (Tex utbildning, garageplats, service etc.)*
- *Vad kostar det att upprätthålla speciallösningen?*
- *Har ni funderat på andra lösningar än den speciallösning ni har för nuvarande? (både insatsmetodik och byggnadstekniskt)*
- *Tror ni det hade ställt till stora bekymmer för er om det visar sig att speciallösningen inte fungerar som tänkt? Hur hade ni tacklat den problematiken?*

Bilaga C Sammanställning av domar

I Tabell 17 presenteras de domar som legat till grund för identifiering av lösningsalternativ. Samtliga domar är ett resultat av RSG:s urdrifttagande av gårdshävarer.

Tabell 17. Domar som ligger till grund för identifiering av lösningsalternativ. I tabellen visas av vad i domen framgår att räddningstjänsten yrkar, och vad som motparten yrkar. Ett "-" i tabellen innebär att information om detta inte går att utläsa ur domen

Instans	Målnummer	Föreslagna lösningsalternativ	
		Motpart	Räddningstjänsten
Förvaltningsrätten	12220–19	Annan insatsmetodik, vad är ej specificerat.	Utvändig utrymningstrappa
Förvaltningsrätten	8407–20	Annan lösning än Tr2-trapphus eller utrymningstrappa ska vara möjlig. Längre utskjutsstege föreslås.	Utvändig utrymningstrappa och lägenhetsdörrar förstärks i brandklass EI 30, eller byts ut mot EI 30-Sm.
Förvaltningsrätten	622–20	Annan insatsmetodik, vad är ej specificerat.	Utvändig utrymningstrappa eller likvärdig lösning.
Förvaltningsrätten	9533–19	-	-
Förvaltningsrätten	16412–20	Skylift. Repstege från 14 meter, och vidare via RTJ stege.	Utvändig trappa
Förvaltningsrätten	7044–16	Vill med RTJ och sakkunnig ta fram alternativa lösningar.	Utvändig trappa och lägenhetsdörrar byts ut mot EI 30-Sm.
Förvaltningsrätten	13673–19	Skylift. Brandgasventilation med dörrstängare. Smitväg över annan lgh med tillgång till fönster som nås av RTJ. Tr2-trapphus. Stege.	Utvändig trappa eller Tr2.
Förvaltningsrätten	10492–16	Fast monterad stege eller RTJ utskjutsstege.	Utvändig trappa.
Förvaltningsrätten	7206–15	Liststege samt eventuella invändiga insatser, exempelvis trycksättning.	Utvändig trappa eller liknande.
Förvaltningsrätten	15701–19	-	Utvändig trappa.
Förvaltningsrätten	13670–19	-	-

Förvaltningsrätten	4280–20	Räddningstjänstens ansvar att tillhandahålla lösning.	Utvändig trappa.
Förvaltningsrätten	4830–19	Lucka i balkong, fast ryggstege från våning 5 till 3 eller rappellering.	Utvändig trappa samt förstärkning av lägenhetsdörrar.
Förvaltningsrätten	6231–19	Lucka i balkong med stegar, samt ryggstegar.	Utvändig trappa.
Förvaltningsrätten	8010–20	Utvändig trappa upp till tak och därifrån via RTJ maskinstege på gatusida. Tr2-variant med freeswing och automatisk brandgasventilation i form av balkongdörr. Utrymning via vind.	Utvändig trappa, eller trappa upp till tak.
Kammarrätten	4322–21	-	-
Kammarrätten	4587–21	-	-
Kammarrätten	3965–21	-	-
Kammarrätten	1440–18	-	-
Kammarrätten	2914–16	Liststege, 18 st. fönster förstärks. Lägenhetsdörrar av brandklass EI30Sm-C, automatiskt brand- och utrymningslarm, rökdetektorer på varje plan i trapphuset, automatisk brandgasventilation ansluten till brandlarmet.	Utvändig trappa eller liknande.
Kammarrätten	4399–21	-	-
Länsstyrelsen	452-30847-2017	Trycksättning av trapphus.	Utvändig trappa.
Länsstyrelsen	452-23326-2017	Via separat trapphus.	Utvändig trappa.
Länsstyrelsen	4529442–2020	-	-

Bilaga D Identifierade lösningsförslag och grovanalys

I denna bilaga presenteras identifierade lösningsförslag samt grovanalys för både utvändiga och invändiga lösningsförslag.

Två av varandra oberoende utrymningsvägar

I Tabell 18 finns samtliga identifierade lösningsförslag för att tillskapa ny utrymningsväg, kortfattad förklaring, samt identifieringsmetod.

Tabell 18. Identifierade utvändiga lösningsalternativ för att tillgodose kravet om två av varandra oberoende utrymningsvägar

Lösningsalternativ	Förklaring	Identifieringsmetod
Utvändig utrymningstrappa	Utvändig trappa från bostad till marknivå.	Föreläggande, dom
Utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats	Utvändig trappa från bostad till tillfälligt säker plats, högst belägen 11 meter ovan mark.	Föreläggande, dom
Lucka i balkong	Lucka i balkong till lägre belägen balkong som utgör tillfälligt säker plats, högst belägen 11 meter ovan mark.	Dom
Fast monterad stege	Utvändig fast monterad stege från bostad till marknivå.	Dom
Fast monterad stege till tillfälligt säker plats	Utvändig fast monterad stege från bostad till tillfälligt säker plats, högst belägen 11 meter ovan mark.	Dom
Nivåjustering av gård	Innergård höjs för att möjliggöra utrymning m.h.a räddningstjänstens bärbara stegar.	Föreläggande
Fast monterad liststege	Utvändig fast monterad liststege från bostad till marknivå.	Dom
Fast monterad liststege till tillfälligt säker plats	Utvändig fast monterad liststege från bostad till tillfälligt säker plats, högst belägen 11 meter ovan mark.	Dom
Möjlighet att nå annat trapphus via loftgång	Loftgång från bostad till annat trapphus.	Föreläggande, dom
Möjlighet att nå annat trapphus invändigt	Tillskapande av ny dörr till ett andra trapphus från bostaden.	Föreläggande

Utrymning via vind till annat trapphus	Trapphusdelen som betjänar översta bostadslägenheten avskiljs. Därefter skapas möjlighet att utrymma via vinden till annat trapphus för bostaden.	Föreläggande, dom
Sammanslagning av två lägenheter i etage	Sammanslagning som syftar till att ge bostadslägenheter tillgång till lägre belägna fönster, dit räddningstjänstens bärbara stegar når.	Föreläggande, dom
Sammanslagning av två lägenheter på samma våningsplan	Sammanslagning som syftar till att ge bostadslägenheter fönster mot gatusida, där räddningstjänstens maskinstege har åtkomst.	Föreläggande, dom
Skylift som tillhandahålls av fastighetsägaren	Skylift placerad på innergården. Skyliften används av räddningstjänsten för assisterad utrymning.	Dom
Lösa stegar som tillhandahålls av fastighetsägaren	Lösa stegar placeras på innergården. Stegarna når högre än 11 meter, och används av räddningstjänsten för assisterad utrymning.	Dom
Utrymning till tillfälligt säker plats på tak	Utvändig trappa till tak. Från taket nås gatusida, där räddningstjänstens maskinstege har åtkomst.	Föreläggande
Rappellering	Rappellering från bostad till tillfälligt säker plats.	Dom
Utrymning via repstege	Av lägenhetsinnehavaren tillhandahållen repstege från bostad till 11 meter, där räddningstjänstens bärbara stege tar vid.	Dom

Grovanalys

Lösningalternativ som inte är av byggnadsteknisk karaktär, kräver omfattande planlösningssändringar, eller i övrigt ligger utanför analysens avgränsningar väljs inte ut för en vidare analys. Vilka lösningalternativ som analyseras vidare presenteras i Tabell 19.

Tabell 19. Grovanalys av lösningförslag för att tillgodose kravet om två av varandra oberoende utrymningsvägar

Lösningalternativ	Vidare analys	Motivering
Utvändig utrymningstrappa	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Lucka i balkong	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Fast monterad stege	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Fast monterad stege till tillfälligt säker plats	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Nivåjustering av gård	Nej	Alternativet är inte att betrakta som byggnadstekniskt.
Fast monterad liststege	Nej	Alternativet förenklas till en fast monterad liststege till tillfälligt säker plats.
Fast monterad liststege till tillfälligt säker plats	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Loftgång till annat trapphus	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningssändringar.
Ny dörr till annat trapphus	Nej	Alternativet kan medföra omfattande planlösningssändringar då varje bostad måste vara direkt anslutet till det alternativa trapphuset
Utrymning via vind till annat trapphus	Nej	Alternativet kan medföra omfattande planlösningssändringar då vinden måste fungera som utrymningsväg.
Sammanlagning av två lägenheter i etage	Nej	Alternativet medför omfattande planlösningssändringar.

Sammanslagning av två lägenheter på samma våningsplan	Nej	Alternativet medför omfattande planlösningsändringar.
Skylift som tillhandahålls av fastighetsägaren	Nej	Alternativet är inte att betrakta som byggnadstekniskt.
Lösa stegar som tillhandahålls av fastighetsägaren	Nej	Alternativet är inte att betrakta som byggnadstekniskt.
Utrymning till tillfälligt säker plats på tak	Ja	Byggnadsteknisk lösning utan krav på större planlösningsändringar.
Rappellering	Nej	Alternativet är inte att betrakta som byggnadstekniskt.
Utrymning via repstege	Nej	Alternativet är inte att betrakta som byggnadstekniskt.

Av de lösningsförslag som inte valts vidare för analys presenteras en sammanfattad beskrivning nedan.

Höja innergården

En lösning är att höja innergården så att avstånd från mark till högst belägna fönster där utrymning ska tillses inte överstiger räddningstjänstens räddningshöjd genom den bärbara utskjutsstegen. Lösningen ställer krav på att en höjning av innergården är möjlig ur flera perspektiv. Bland annat kan en höjning innebära att eventuella källarfönster täcks igen. Dessutom ställs det krav på markens bärighet. Lösningen är dessutom enbart praktisk genomförbar i de fall där den erforderade höjningen för att uppnå räddningshöjd med räddningstjänstens bärbara stege är liten.

Skylift som tillhandahålls av fastighetsägaren

Lösningen kan jämföras med en gårdshävare som är fast placerad på den aktuella innergården. En fast placerad skylift på innergården hade löst problematiken med lång framkörningstid och åtkomlighet in på innergårdarna jämfört med gårdshävaren. Dock kräver det att räddningstjänsten är väl införstådda i hur den aktuella skyliften manövreras, och ställer också stora krav på underhåll och säkerställande av funktion av fastighetsägaren. Skyliften i sig som åtgärd löser ej heller de åtkomstproblem som kan finnas på innergårdar där utemöbler och parkeringar kan blockera tillgången till fasad. Lösningen är ej att betraktas som byggnadsteknisk, därav analyseras ej lösningen i denna rapport.

Lösa stegar som tillhandahålls av fastighetsägaren

Lösningen kan jämföras med den ovan beskrivna fast placerade skyliften. Lösningen avskrivs och analyseras ej vidare med samma motivering som ovan.

Sammanslagning av lägenheter

Genom att slå samman lägenheter kan utrymning tryggas. Antingen genom att lägenheter i samma plan slås samman så att de blir genomgående, och då får tillgång till fönsterutrymning via sida där räddningstjänsten har åtkomst med stegfordon. Alternativt kan lägenheter i olika plan slås samman, där den alternativa utrymningsvägen hade kunnat utgöras av fönsterutrymning och av räddningstjänsten tillhandahållen bärbar stege där höjd från mark till fönster understiger 11 m. Lösningen hade erfordrat stora ingrepp i planlösningen, och i enskilda bostäder. Därav analyseras lösningen ej vidare.

Ny dörr till annat trapphus

För bostäder som är direkt anslutna till ett alternativt trapphus men som saknar tillgång till detta finns möjlighet att uppföra en dörr mellan bostaden och trapphuset i fråga. Lösningen ställer stora krav på att dels två trapphus finns i byggnaden och dels att bostädernas planlösningar sträcker sig till båda trapphusen. Därav analyseras ej lösningen vidare.

Utrymning via vind till annat trapphus

Genom att utrymningsväg från berörda bostäder tillskapas till vind och vidare till annat brandtekniskt avskilt trapphus säkras tillgången till två av varandra oberoende utrymningsvägar. Lösningen ställer, i likhet med lösningen ovan, stora krav på planlösningens utformning. Dessutom krävs det att vinden är oinredd och att tillskapandet av en utrymningsväg genom vindsutrymnet är möjligt, vilket sällan är fallet i de berörda fastigheterna som berörs av utrymningsproblematiken. Därav avskrivs lösningen och analyseras ej vidare.

Rappellering

Lösningen förutsätter att de utrymmande har tillgång till utrustning, fysisk kapacitet, och förmågan att vid nödsituation själva rappellera sig ned till marknivå. Rappellering ställer stora krav på utbildning och övning och den enskildes fysiska förmåga. Lösningen är inte att betrakta som byggnadsteknisk och analyseras därav ej vidare.

Repstege

Lösningen förutsätter att de utrymmande vid behov har tillgång till utrustning och den fysiska kapacitet och förmåga som krävs. Lösningen kan jämföras med rappellering och analyseras därav ej vidare.

En enda utrymningsväg

För att identifiera olika lösningar för att möjliggöra trapphuset till den enda utrymningsvägen användes olika metoder. Först analyserades syftena och målen med de olika ingående brandskyddssystemen i ett Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering:

Tabell 20. Föreskrifter och komponenter i ett Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering

Föreskrift	Komponent i Tr2-trapphus (≤8 vån) enligt förenklad dimensionering
-------------------	--------------------------------------------------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> • <i>Trapphus Tr2 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas (5:246).</i> 	Brandtekniskt avskilt utrymme (EI 60) mellan bostadslägenheter och trapphus.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Trapphus Tr2 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas (5:246).</i> 	Brandgastäthetsklassad dörr med dörrstängare mellan brandtekniskt avskilt utrymme och trapphus (EI 30-S ₂₀₀ -C). Brandgastäthetsklassad dörr mellan bostad och brandtekniskt avskilt utrymme (EI 30-S _a).
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Trapphus Tr2 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas (5:246).</i> • <i>En tillträdesväg för invändiga räddningsinsatser ska finnas på varje plan (5:722).</i> 	Brandtekniskt avskilt utrymme (EI 60) mellan källare och trapphus.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Utrymningsvägar ska förses med allmänbelysning som med tillfredsställande säkerhet fungerar (5:342).</i> 	Två av varandra följande ljuspunkter ska inte slockna till följd av samma fel. Belysningsstyrkan bör i genomsnitt inte understiga 100 lux. Elkablar bör skyddas mot direkt påverkan av brand i minst 30 minuter.

De ingående brandskyddssystemen i ett Tr2-trapphus syftar till att säkerställa tillfredsställande utrymning. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till en säker plats (5:31 BBR). Med ambition om att uppfylla föreskrifterna och kriterierna för en tillfredsställande utrymning har brandskyddssystem som kan tänkas vara relevanta för en analytiskt dimensionerad utformning identifierats. Identifieringen har sin grund från litteratur och relevanta domar. Utgångspunkten i den alternativa utformningen är att det på grund av planlösningen i den identifierade typbyggnaden saknas möjlighet till ett brandtekniskt avskilt utrymme mellan bostad och trapphus.

Tabell 21. Identifierade invändiga lösningsalternativ för att tillgodose tillfredsställande utrymning genom trapphuset

Lösningsalternativ	Förklaring	Identifieringsmetod
Dörrstängare	Dörrstängare monterad på dörr till bostad	Föreläggande, dom

Boendesprinkler	Boendesprinkler (typ 2) som installeras i bostad	Intervju med räddningstjänst, litteratur (Andersson et al., 2018)
Brandlarm med larmöverföring	Överför larm till räddningstjänst	Dom och intervju med räddningstjänst
Utrymningslarm	Ljuder vid signal	Dom
Automatisk brandgasventilation	Brandgasventilation som öppnar automatiskt på signal vid detektion	Dom
Trycksättning	Trycksättning av trapphuset	Dom
Röktäthetsklassad dörr	Dörr till bostad med röktäthetsklass (EI 30- S ₂₀₀ eller EI 30-S _a)	Föreläggande, dom
Spisvakt	Spisvakt påkallar uppmärksamhet eller stänger av spisen vid risk för brand	Litteratur (Andersson et al., 2018)
Vägledande markeringar	Vägledande markeringar (utrymningsskyltning) i trapphus	Intervju med räddningstjänst

Grovanalys

Lösningalternativ, eller del av lösningpaket, bedömdes utefter litteratur och översiktlig genomgång av befintliga alternativa utformningar av Tr2-trapphus. Vilka lösningalternativ som analyseras vidare presenteras i Tabell 22.

Tabell 22. Identifierade invändiga lösningalternativ för att tillgodose kravet om en enda utrymningsväg.

Lösningalternativ	Vidare analys	Motivering
Boendesprinkler	Ja	Bedömdes kunna sänka temperatur och effektutveckling, och således tryckuppbyggnad och läckage till trapphus.
Dörrstängare på dörr till bostad	Ja	Ökar sannolikhet att dörr till bostad stängs efter utrymning, och således motverkar brand- och brandgasspridning till trapphus.

Automatisk brandgasventilation	Ja	Ventilerar trapphuset och således minskar mängd brandgaser, temperatur, värmestrålning och ökar sikten i trapphuset.
Brandgastät dörr till bostad	Ja	Förhindrar att brandgaser läcker ut till trapphuset.
Trycksättning av trapphus	Nej	Motverkar brandgasspridning till trapphus, analyseras ej på grund av låg tillförlitlighet.
Brandlarm med larmöverföring	Nej	Automatiskt brandlarm med larmöverföring kan tidigarelägga detektion samt förkorta räddningstjänstens insatstid. Analyseras ej på grund av rapportens avgränsningar.
Utrymningslarm	Nej	Tidigarelägger utrymningen. Analyseras ej på grund av dess kontraproduktiva eller försumbara påverkan.
Spisvakt	Nej	Minskar sannolikhet för att brand som uppstår på spis sprids. Analyseras ej på grund av försumbar påverkan då den bara är effektiv för köksrelaterade bränder.
Vägledande markering	-	Kan möjliggöra utrymning i trapphus där rökspridning lett till försämrad sikt. Behandlas endast översiktligt, se diskussion.

Nedan beskrivs kortfattat de lösningar som ej analyseras vidare i rapporten:

Tr2-trapphus

Genom att befintligt trapphus utformas som ett Tr2-trapphus kan den utgöra den enda utrymningsvägen. I likhet med utrymning via vind till annat trapphus, och sammanslagning av lägenheter, ställer det stora krav på planlösningen. De av utrymningsproblematiken berörda fastigheter har uteslutande bostäder som angränsar direkt till trapphuset. För att slussar ska tillskapas mellan bostäder och Tr2-trapphus krävs ingrepp i enskilda bostäder, vilket som tidigare nämnt bedömts som orimligt och praktiskt ogenomförbart. Istället analyseras varianter av Tr2-trapphus, där enskilda brandskyddskomponenter ingår och jämförs med skyddsnivån av Tr2-trapphus.

Heltäckande brandlarm

För att möjliggöra tidigare detektion av brand och utrymning, samt aktivering av aktiva system kan byggnader berörda av problematiken förses med heltäckande brand- och utrymningslarm. Ett heltäckande automatiskt brandlarm kan göra tidigare detektion och aktivering av eventuella aktiva

system såsom exempelvis brandgasventilation och stängning av magnetuppställda dörrar möjlig. Automatiskt brandlarm kan även utrustas med larmöverföringsfunktion för att automatiskt larma räddningstjänst vid detektion (Nilsson & Holmstedt, 2008).

Utrymningslarm

Utrymningslarm minskar varseblivnings- och förberedelsetiden hos utrymmande, och minskar den totala utrymningstiden (Nilsson & Holmstedt, 2008). Utrymning av hela byggnaden kan dock ha tveksam effekt i flerbostadshus då utrymningsstrategin ofta utgörs av så kallad defend-in-place (Nilsson, 2013).

Som alternativ till brand- och utrymningslarm används ofta brandvarnare i bostäder. Enligt BBR (Boverket, 2011:6) bör anordning för tidig upptäckt och varning av i händelse av brand vara brandvarnare i verksamhetsklass 3A. Enligt en studie gjord av Boverket (2009) har 85% av svenska hushåll en brandvarnare, 80% har en fungerande brandvarnare och 74% av hushållen har en fungerande och korrekt installerad brandvarnare.

Trycksättning av trapphus

Ett trycksatt trapphus minskar ansamlingen av rök och brandgaser i trapphuset genom att en fläkt säkerställer övertryck i sluss eller trapphus. På så sätt förhindras eller begränsas mängden brandgaser som tränger ut från brandutsatt lägenhet. Lösningen valdes inte att analyseras på grund av stora osäkerheter kring tillförlitlighet (Lay, 2014).

Spisvakt

Spisvakt övervakar risk för uppkomst av brand på spis och vid aktivering antingen påkallar uppmärksamhet från omgivningen eller släcker branden.

Vägledande markering

Vägledande markeringar i trapphus kan installeras för att möjliggöra tillfredsställande utrymning genom trapphus vid sämre siktförhållanden.

Bilaga E Utformning och sammanställning enkät – utvändiga utrymningslösningar

I denna bilagan framgår utformning av enkät samt sammanställning av svaren.

Utformning av enkät

Nedan i Figur 37 och Figur 38 redovisas utformning av enkäten. Respektive utvärdig utrymningslösning kompletterades med illustrationer.

Utbildning:

- Brandingenjör
- Civilingenjör inom riskhantering
- RUB
- Annat

Om annat, vänligen utveckla:

Bransch:

- Brandkonsult
- Räddningstjänst
- Annat

Om annat, vänligen utveckla:

Relevant arbetserfarenhet:

- < 5 år
- 5-10 år
- > 10 år

Figur 37. Förstasidan där respondenterna efterfrågades yrke och arbetserfarenhet.

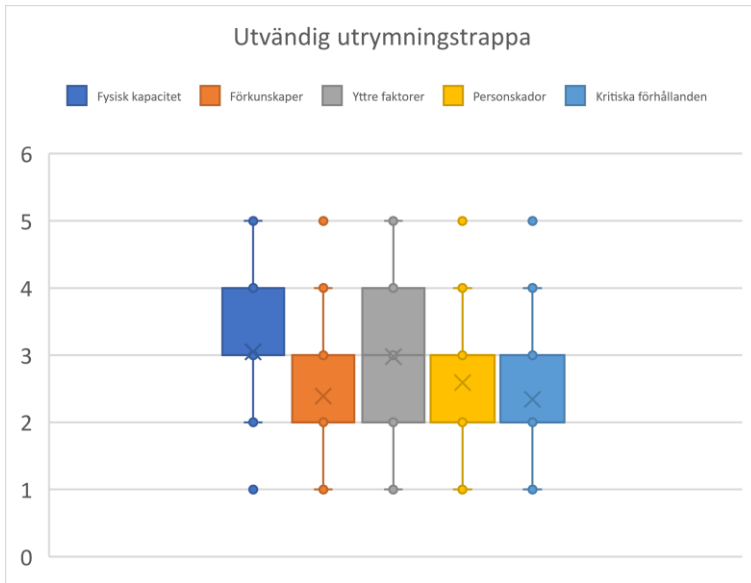
Svara på nedanstående frågor för den specifika utvändiga utrymningslösningen.

	Obetydlig	Mycket låg	Låg	Hög	Mycket hög
Fysisk kapacitet för att klara av att utrymma med hjälp av lösningen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Utrymningslösningens krav på förkunskaper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Risk att yttre faktorer gör utrymningslösningen mindre användbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Risk för personskador (ej kopplat till brandförloppet) vid användandet av lösningen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Risk att utrymmande utsätts för kritiska förhållanden (exempelvis temperatur eller sikt)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

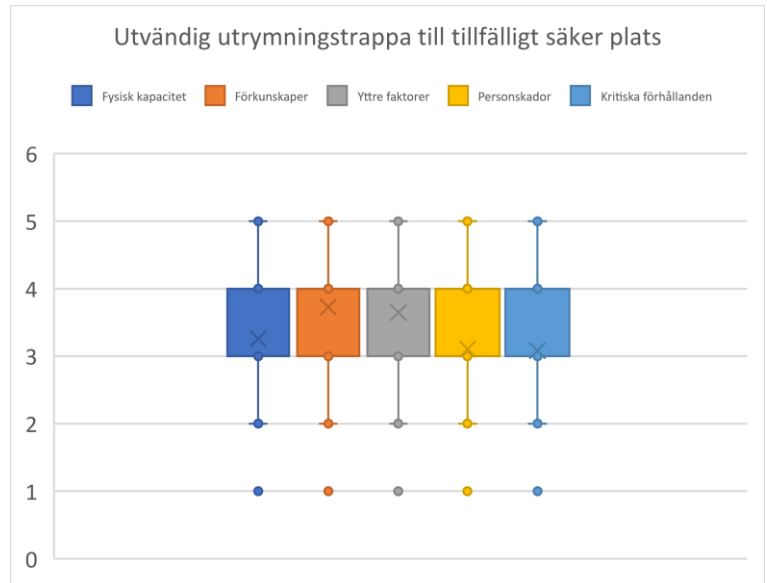
Figur 38. Frågor som ställdes för respektive utvändig utrymningslösning i enkäten.

Sammanställning av enkät

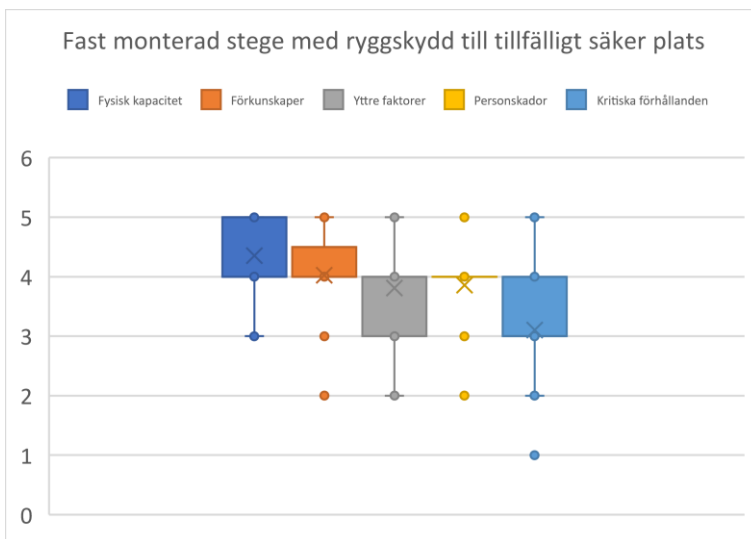
Respondenternas svar med medelvärde och spridning för de olika utvändiga utrymningslösningarna framgår av Figur 39 till Figur 46. Respondenternas svar med hänseende till erfarenhet av olika egenskaper framgår av Figur 48 till Figur 52. Respondenternas svar med hänseende till bransch framgår av Figur 57 till Figur 65.



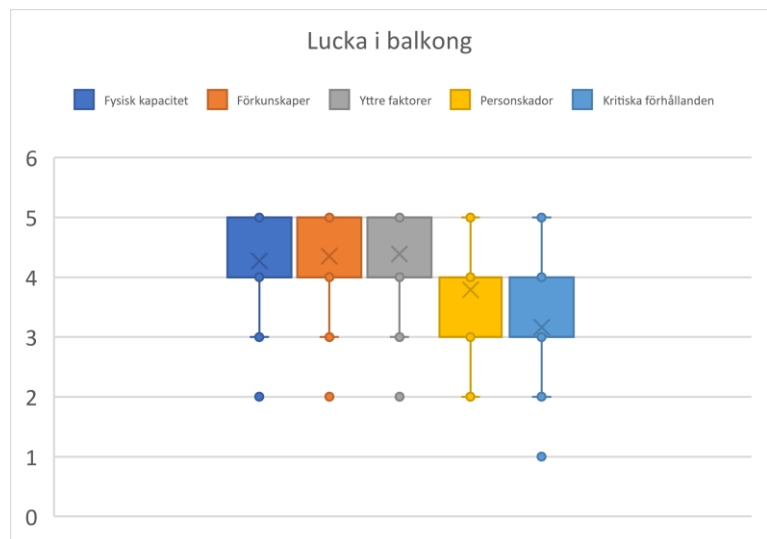
Figur 39. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utvändig utrymningstrappa.



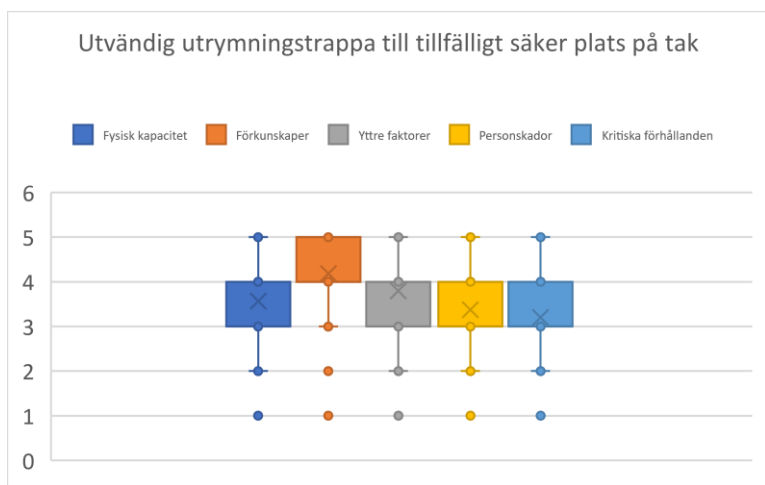
Figur 40. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats.



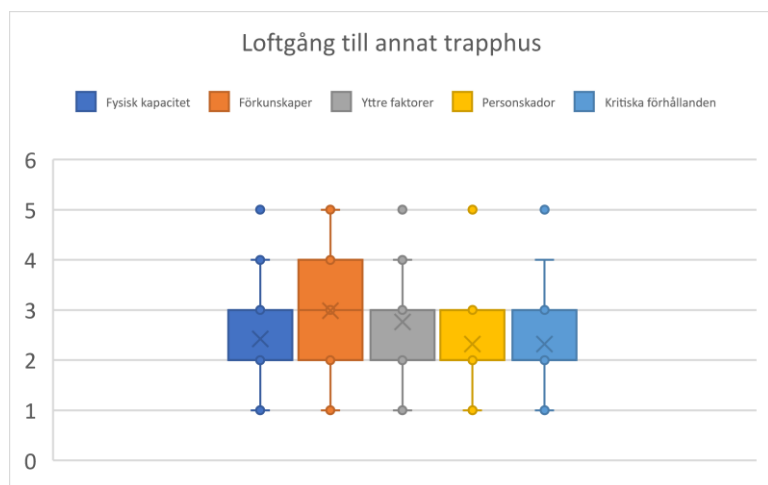
Figur 41. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om fast monterad steg med ryggskydd till tillfälligt säker plats.



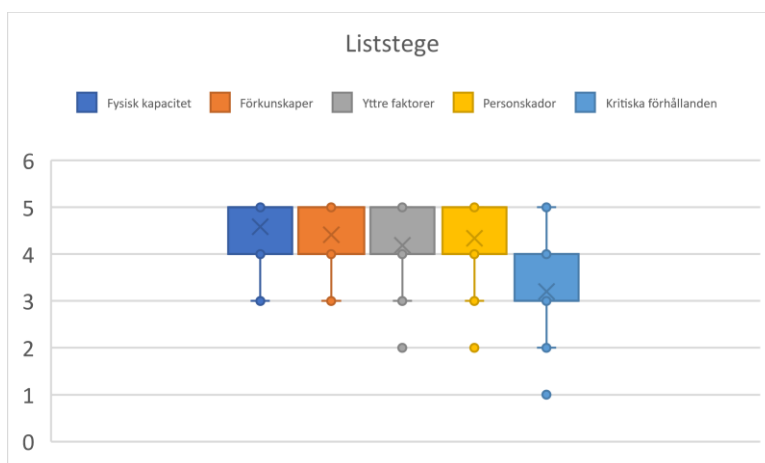
Figur 42. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om lucka i balkong.



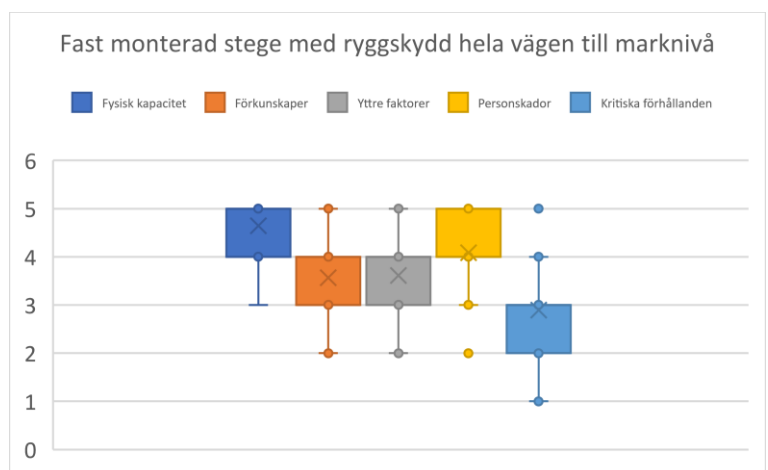
Figur 43. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utväändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak.



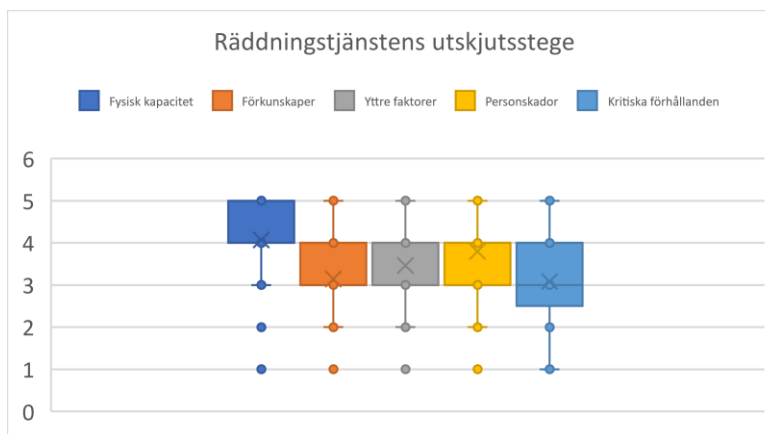
Figur 44. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om loftgång till annat trapphus.



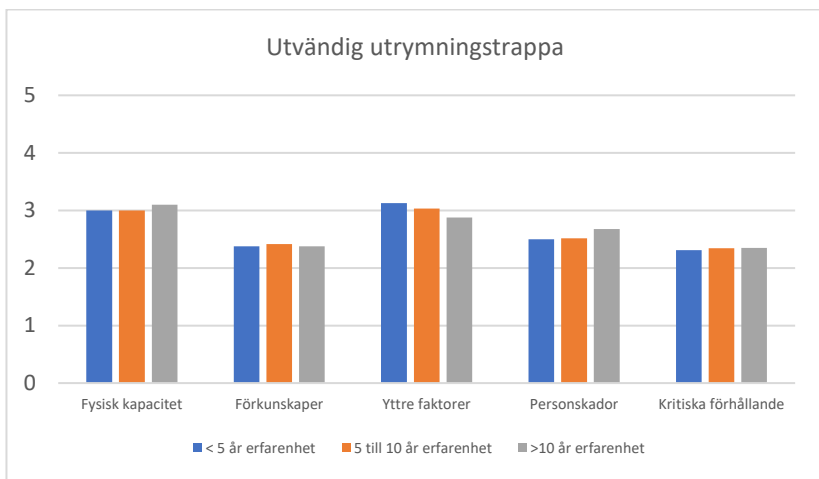
Figur 45. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om liststege.



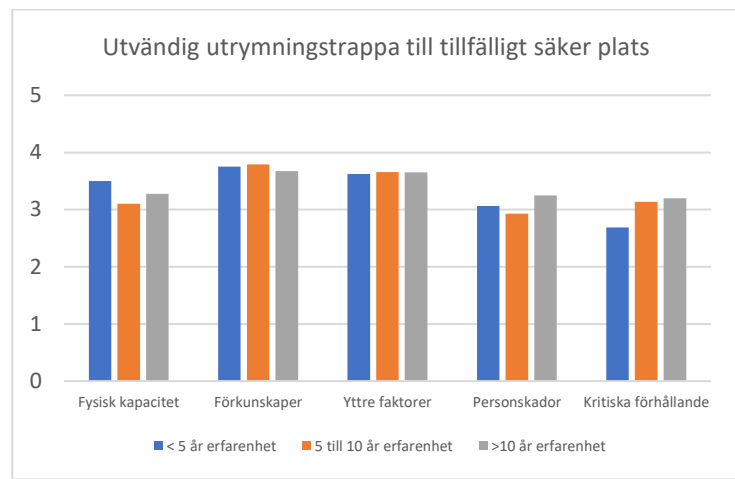
Figur 46. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om fast monterad stege med ryggskydd hela vägen till marknivå.



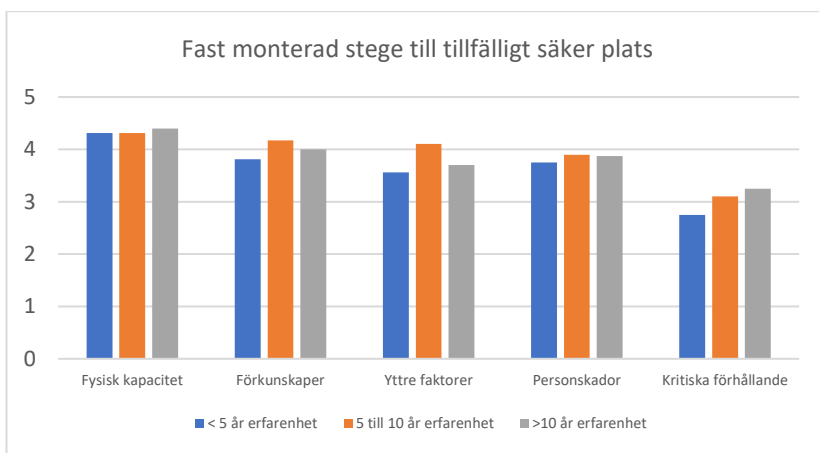
Figur 47. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om räddningstjänstens utskjutsstege



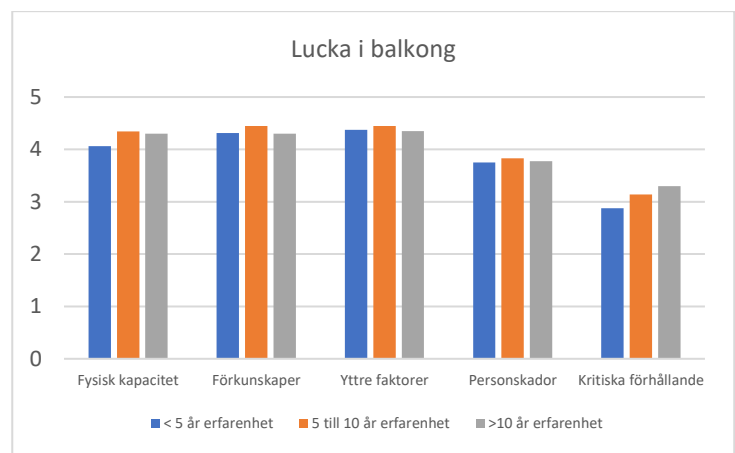
Figur 48. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utväändig utrymningstrappa uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



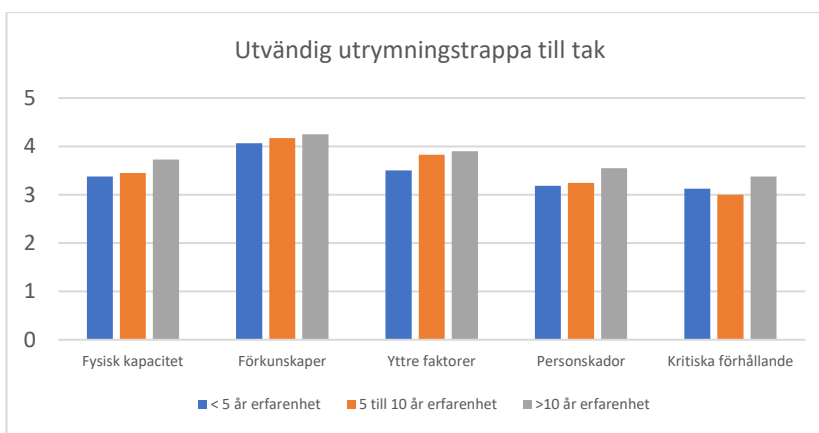
Figur 49. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utväändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



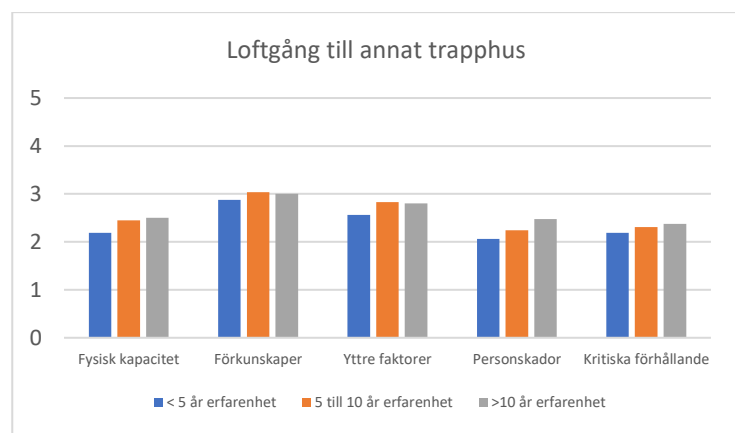
Figur 50. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om fast monterad stege till tillfälligt säker plats uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



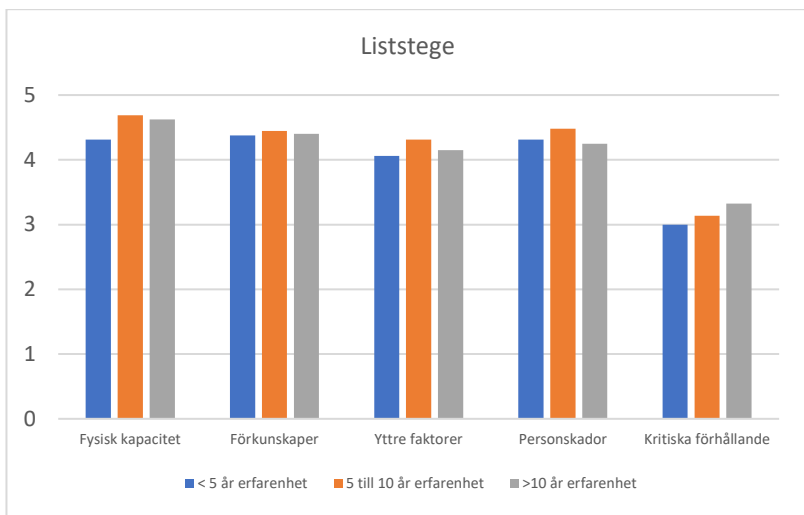
Figur 51. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om lucka i balkong uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



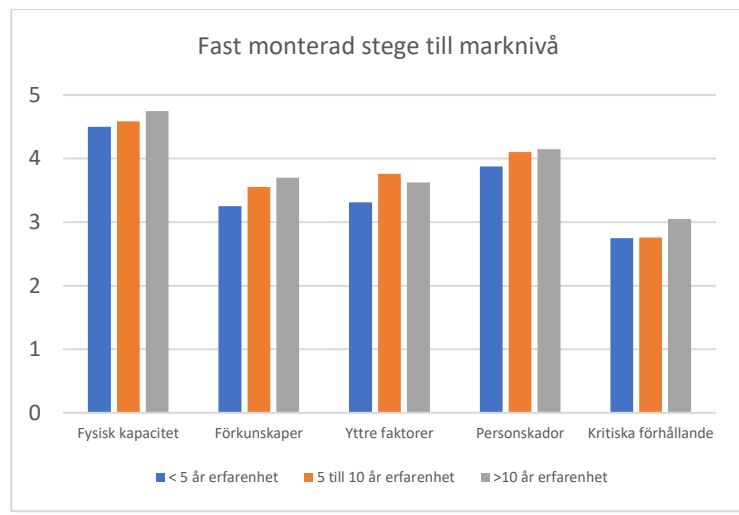
Figur 52. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utväändig utrymningstrappa till tak uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



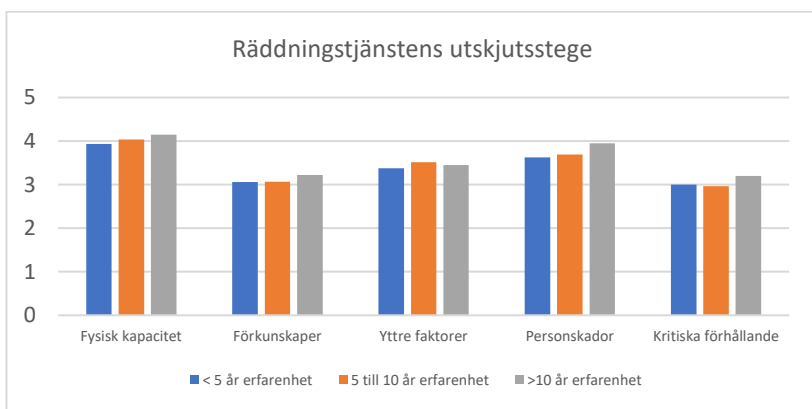
Figur 53. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om loftgång till annat trapphus uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



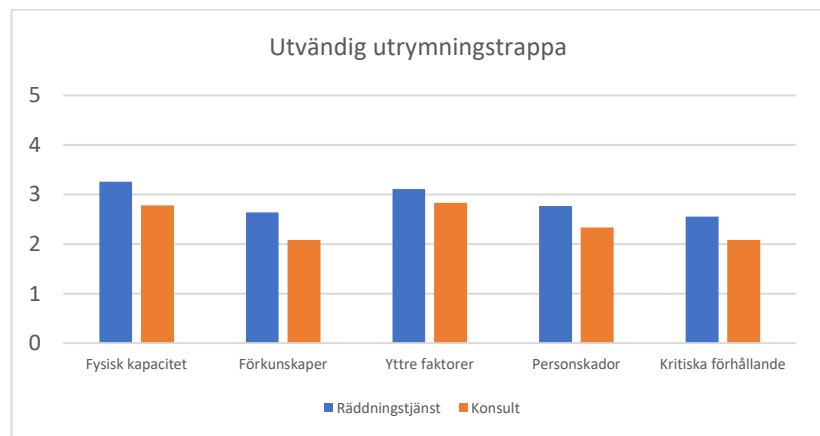
Figur 54. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om liststege till tillfälligt säker plats uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



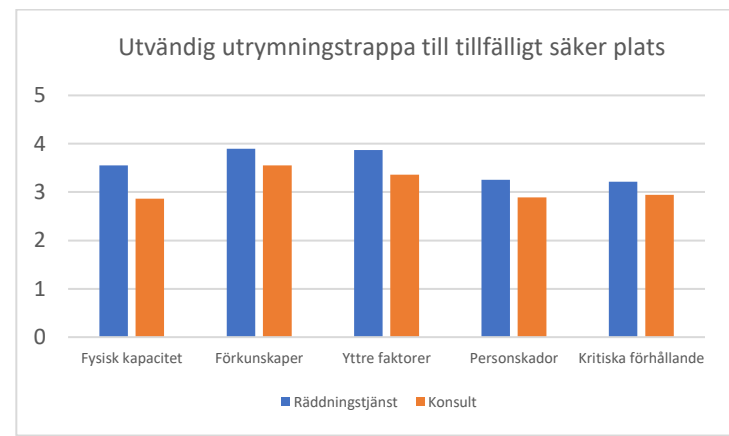
Figur 55. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om fast monterad stege till marknivå uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



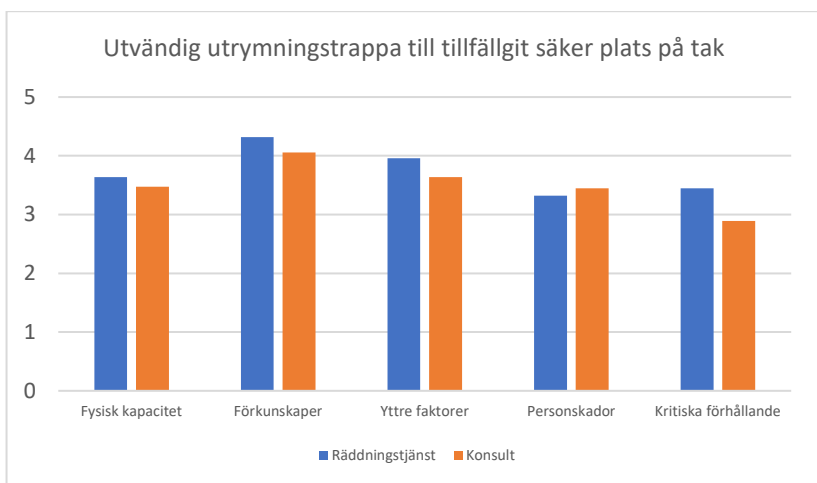
Figur 56. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om räddningstjänstens utskjutsstege uppdelat i vad man angett för arbetserfarenhet.



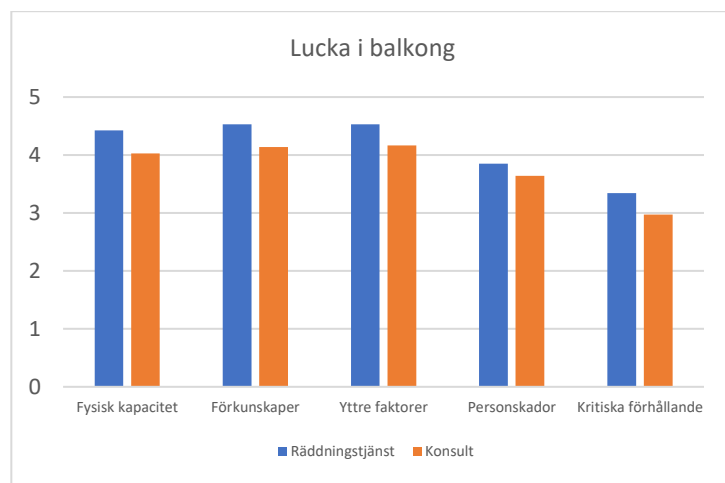
Figur 57. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utvändig utrymningstrappa uppdelat i vad man angett för bransch.



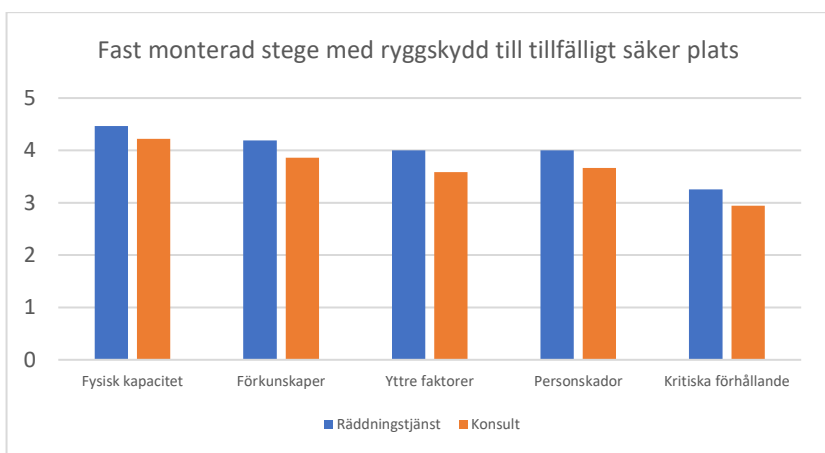
Figur 59. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utvändig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats uppdelat i vad man angett för bransch.



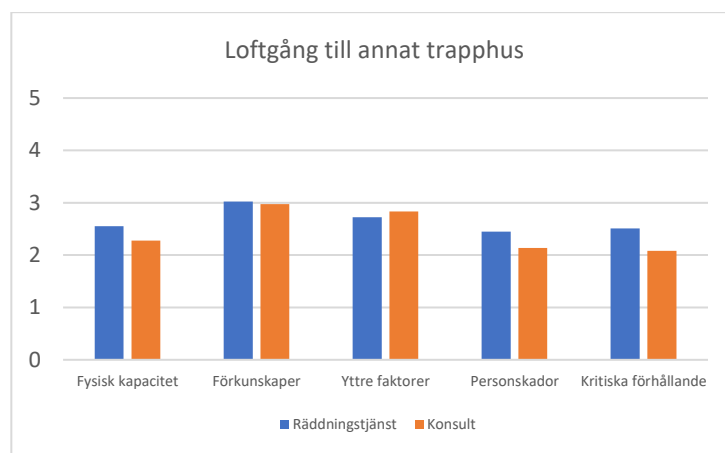
Figur 58. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om utvärdig utrymningstrappa till tillfälligt säker plats på tak uppdelat i vad man angett för bransch.



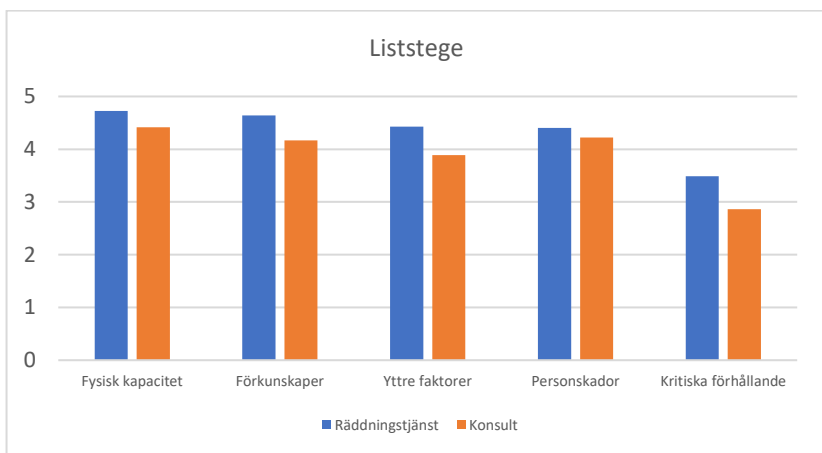
Figur 60. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om lucka i balkong uppdelat i vad man angett för bransch.



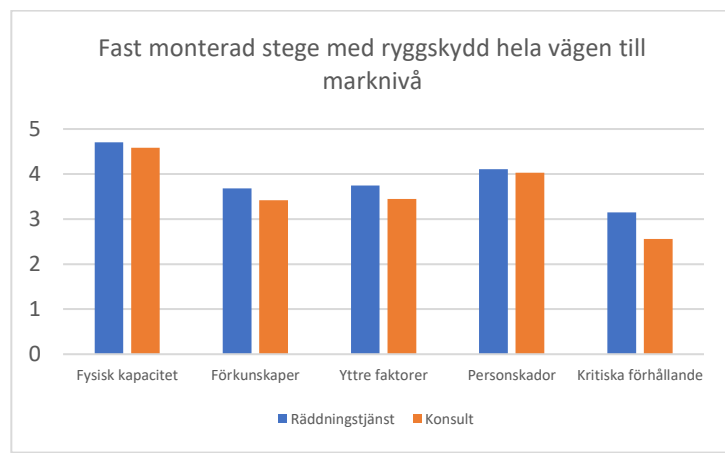
Figur 61. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om fast monterad steg med ryggskydd till tillfälligt säker plats uppdelat i vad man angett för bransch.



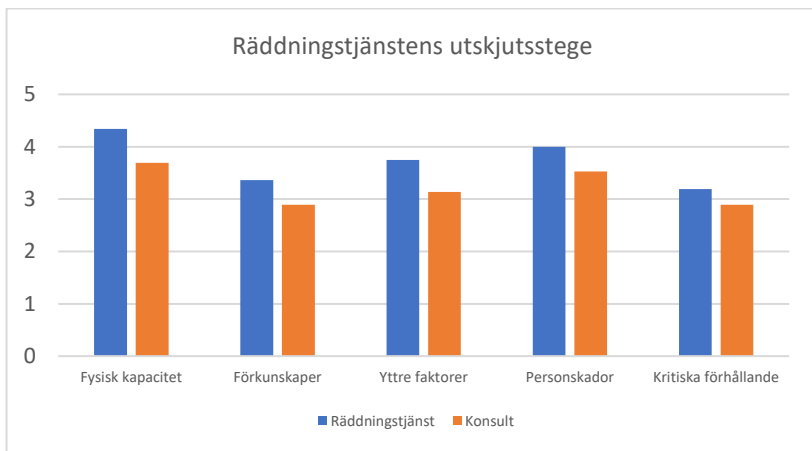
Figur 62. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om loftgång till annat trapphus uppdelat i vad man angett för bransch.



Figur 63. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om liststege uppdelat i vad man angett för bransch.



Figur 64. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om fast monterad steg med ryggskydd hela vägen till marknivå uppdelat i vad man angett för bransch.



Figur 65. Respondenternas svar med medelvärde och spridning på frågor om räddningstjänstens utskjutsstege uppdelat i vad man angett för bransch.

Bilaga F Simuleringsförutsättningar

I denna bilaga presenteras de förutsättningar och indata som ligger till grund för simuleringarna.

Dimensionerande brand

Branden placeras i mitten av brandrummet och antas växa efter t^2 -branden enligt Ekvation 1.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

Ekvation 1. Effektutveckling som en funktion av tillväxthastighet och tid

Kvoten mellan brandens karaktäristiska diameter och cellstorleken i simuleringsmodellen, Ekvation 2, ska anta ett värde mellan 10-20 nära branden för att vara giltig under större del av brandförloppet (BIV, 2013). Brandens karaktäristiska diameter bestäms enligt Ekvation 3.

$$\frac{D^*}{\delta x} \qquad D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

Ekvation 2. Kvot mellan brandens karaktäristiska diameter och cellstorlek

Ekvation 3. Brandens karaktäristiska diameter som en funktion av brandeffekt, omgivande lufts densitet, värmekapacitet, temperatur samt gravitationskonstanten

På samma sätt ska den dimensionslösa effektutvecklingen vara mellan 0,3 och 2,5 (BIV, 2013). Den dimensionslösa effektutvecklingen beräknas med Ekvation 4.

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D D^2}$$

Ekvation 4: Brandens dimensionslösa effektutveckling som en funktion av brandeffekt, omgivande lufts densitet, värmekapacitet, temperatur, gravitationskonstanten samt diameter.

Vidare rekommenderar BIV (2013) att där den karakteristiska diametern genom rumshöjden (D^*/H) understiger 0,5 bör den karakteristiska diametern genom cellstorleken vara minst 15, vilket i simuleringarna inte uppfyllts. Anledningen till det är att simuleringarna hade blivit för beräkningskrävande. För att möjliggöra mindre cellstorlekar nära branden hade antingen hela brandrummet behövts försees med mindre cellstorlekar, vilket hade dubblat det totala antalet celler och således hade en flera gånger längre simuleringsstid erhållits. Alternativt hade beräkningsdomänen nära branden försetts med mindre cellstorlekar, och således hade stora gränsövergångar i cellstorlek i x- och y-led fått, vilket inte rekommenderas där stora flödes hastigheter kan tänkas finnas (BIV, 2013) på grund av den informationsförlust som kan ske.

Konstanter som används framgår av Tabell 23.

Tabell 23. Konstanter för beräkning av brandens karaktäristiska diameter

Variabel	Värde
Omgivande lufts densitet, kg/m^3	1,2

Värmekapacitet för luft, J/kgK	1000
Omgivande lufts temperatur, K	293
Gravitationskonstant, m ³ /kgs ²	9,81

För att brandens karakteristiska effektutveckling ska vara giltig under hela brandförloppet imiteras en radiellt växande brand med konstant hastighet enligt en spread-funktion (BIV, 2013). Spridningshastigheten bestäms enligt Ekvation 5.

$$SPREAD_RATE = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi \cdot HRRPUA}}$$

Ekvation 5. Spridningshastighet som en funktion av tillväxthastighet och effektutveckling per areaenhet.

Molekyluppsättning för bränslet ansätts till 60 massprocent trä och 40 massprocent polyuretan. Stor brand ansetts till ett allvarligt brandförlopp, ett värsta troligt fall med hög brandeffekt och snabb effektutveckling för bostäder enligt BBRAD 3 (Boverket, 2013), med en brandeffekt om 5 MW. Liten brand ansetts till en mindre påfrestning på byggnadens brandskydd med något lägre brandeffekt om 2 MW.

Boverkets dimensionerande värden för det tidiga brandförloppet (Boverket, 2013) används. Tillväxthastighet, cellstorlek, förbränningsvärme, sot- CO- och CO₂-produktion samt molekyluppsättning för liten brand och sprinklad brand framgår av Tabell 24. Maximal effektutveckling, brandarea och spridningshastighet för liten brand framgår av Tabell 25.

Tabell 24. Dimensionerande tillväxthastighet, cellstorlek, förbränningsvärme och produktion av brandgaser för det tidiga brandförloppet och liten brand

Variabel	Värde
Tillväxthastighet, kW/s ²	0,047
Cellstorlek, m	0,1
Förbränningsvärme, MJ/kg	20
Sotproduktion, g/g	0,1
CO-produktion, g/g	0,1
CO ₂ -produktion, g/g	2,5
Molekyluppsättning, CHON	4,56, 6,56, 2,34, 0,4

Tabell 25. Maximal effektutveckling, brandarea, brandeffekt per area-enhet samt spridningshastighet för liten brand

Variabel	Värde
----------	-------

Maximal effektutveckling för liten brand, MW	2
Brandarea, m ²	3,6
Effektutveckling per area-enhet, kW/m ²	554
Spridningshastighet, m/s	0,0052

För att inte FDS ska underskatta massflödet in och ut genom ventilationsöppningarna ska förhållandet mellan ventilationsfaktorn och cellstorleken samt mellan den hydrauliska diametern av ventilationsöppningarna och cellstorleken överstiga 10 (Zhao et al., 2015). Vilket kontrolleras med Ekvation 6 och Ekvation 7 nedan.

$$l_1^* = \frac{(A_o \sqrt{H_o})^{\frac{2}{5}}}{\delta_x}$$

Ekvation 6: Förhållande mellan ventilationsfaktorn och cellstorleken, karakteristisk längd

$$l_2^* = \frac{D_h}{\delta_x} = \frac{2W \cdot H}{W + H}$$

Ekvation 7: Förhållande mellan den hydrauliska diametern av ventilationsöppningarna och cellstorleken, karakteristisk längd

Konstanter som används i beräkningen framgår av Tabell 26.

Tabell 26. Ventilationsfaktor, bredd, och höjd som används i Ekvation 6 och 7.

Variabel	Värde
Ventilationsfaktor, m	7,35
Bredd, m	1
Höjd, m	1,5

Beräkningarna visar på att båda förhållandena med cellstorleken överstiger 10.

Ventilationsförhållande

Syrgaskoncentrationen vid en brand är en viktig parameter för bland annat brandens effektutveckling (Karlsson & Quintiere, 1999). En lägre syrekoncentration medför att effektutvecklingen minskas, och en för låg syrekoncentration omöjliggör förbränning. När branden blir syredämpad minskar alltså effektutvecklingen och i sin tur brandgaslagrets temperatur och produktionen av sot, ofullständigt förbrända brandgaser, samt toxiska gaser ökar. Därav sänks övertrycket skapat av branden och läckaget från brandutsatt lägenhet till trapphus minskar. Vid underventilerade förhållanden bildas dock brandgaser som har en högre halt av toxiska gaser, bland

annat kolmonoxid (Staffansson, 2010). Det är därav svårt att veta i förhand vad för slags brand som utgör den mest konservativa. FDS använder approximationer och förenklingar för de kemiska reaktioner som utgör förbränningen (McGrattan et al., 2013).

Fram till att fönster gått sönder av brandförloppet, eller i de fall där alla fönster till brandrummet är intakta, beräknas den mängd syre som branden förbrukat. Tid till då fönster går sönder fås från simulering. Förbrukad syremängd subtraheras i sin tur från den totala mängden tillgängligt syre i brandrummet. Om kvarvarande syremängd är större eller lika med 15% antas branden vara välventilerad (Karlsson & Quintiere, 1999). Varje kilogram syre i rummet utöver gränsen för välventilerad brand antas kunna ge upphov till 13 MJ energi. Uträknad tid till syrekoncentrationen understiger 15% för brandrummet och tid då första fönstret gett vika av brandförloppet framgår av Tabell 27.

Tabell 27. Resultat av kontrollberäkningar för ventilationsförhållandena i brandutsatt lägenhet

Brandscenario	Tid till 15% O ₂ -koncentration utan fönster (s)	Tid då första fönstret gett vika i brandrummet (s)
Stor brand	234	Simulerades ej
Sprinklerkontrollerad brand	-	-
Liten brand	238	Ca 180*

* Beroende på scenario

Ventilationsförhållanden kontrolleras med handberäkningar givet det antal fönster som gått sönder vid respektive simulering enligt Ekvation 8 **Error! Reference source not found.**

$$Q_{max} = C \cdot \Delta H c_{luft} \cdot A_0 \sqrt{H_0}$$

Ekvation 8: Beräkning av ventilationskontrollerad effektutveckling vid övertändning

Där $\Delta H c_{luft} = 3000 \text{ kJ/kg}$ och $C = 0,41$

Effektutvecklingen då alla fönster gått sönder fås då till cirka 8,3 MW.

I samtliga scenarion som inte leder till övertändning är bränderna att betrakta som bränslekontrollerade. I de fall övertändning sker styr ventilationen effektutveckling enligt Ekvation 8. Vid ventilationskontrollerade bränder ökar produktionen av sot, kolmonoxid, samt koldioxid (Staffansson, 2010). Staffansson (2010) diskuterar värdena som återfinns i *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 1999) och argumenterar för att en typisk rumsbrand där en blandning av bränsle återfinns kan produktionen av sot, CO och CO₂ uppgå till 2,27 respektive 0,3 och 1,1 g/g.

Övertändning

För att kontrollera om en brand leder till övertändning i lägenheten utförs handberäkningar. Det finns ett antal olika metoder för att beräkna tid till övertändning, exempelvis av McAffrey et al., Thomas, och Babrauskas (Hurley et al., 2015; Poon, 1988). Sambanden framgår av Ekvation 9, Ekvation 10 och Ekvation 11.

$$\dot{Q}_{FO} = 610 \cdot \sqrt{h_k A_T A_0 \sqrt{H_0}}$$

Ekvation 9. Övertändning enligt McAffrey et al. Effektutveckling vid övertändning uttryckt som en funktion av värmeöverföringskoefficient, omslutande väggarea och ventilationsfaktor.

$$\dot{Q}_{FO} = 750 \cdot A_0 \sqrt{H_0}$$

Ekvation 10. Övertändning enligt Thomas. Effektutveckling vid övertändning uttryckt som en funktion av ventilationsfaktor.

$$\dot{Q}_{FO} = 7,8 \cdot A_T + 378 \cdot A_0 \sqrt{H_0}$$

Ekvation 11. Övertändning enligt Babrauskas. Effektutveckling vid övertändning uttryckt som en funktion av omslutande väggarea och ventilationsfaktor.

$$t_p = \frac{\delta^2}{4 \cdot k}$$

Ekvation 12. Penetrationstid som en funktion av omslutande väggars tjocklek och materialegenskaper.

$$\text{Om } t < t_p: \quad h_k = \sqrt{\frac{\lambda \rho c}{t}}$$

$$\text{Om } t \geq t_p: \quad h_k = \frac{\lambda}{\delta}$$

Ekvation 13. Värmeöverföringskoefficient som en funktion av omslutande väggars materialegenskaper och tid då tiden är mindre än penetrationstiden. Då tiden är lika med eller större än penetrationstiden uttrycks värmeöverföringskoefficienten som en funktion av omslutande väggars konduktivitet och tjocklek.

En övertändning leder till att effektutvecklingen ökar, därav har det mest konservativa värdet av de tre metoderna använts i analysen. Då det finns olika parametrar, framförallt effektutvecklingen och ventilationsförhållandena, som styr huruvida övertändning inträffar genomförs beräkningarna för olika scenarier. Övertändning antogs inträffa när brandgaslagrets medeltemperatur är 500-600° C (Hurley et al., 2015; Poon, 1988). Samma förutsättningar i övrigt gäller. Variabler som använts för beräkningar av övertändning återfinns i Tabell 28 och resultatet från beräkningarna presenteras i Tabell 28.

Tabell 28. Värden som använts för beräkningar av övertändning.

Variabel	Värde	
Omslutande väggarea, m ²	200,4	
Ventilationsfaktor, m	7,3	
	Värde för gips	Värde för mineralull
Omslutande väggars tjocklek, m	0,025	0,15
Omslutande väggars konduktivitet, W/mK	0,48	0,041
Omslutande väggars densitet, kg/m ³	1440	100
Omslutande väggars specifika värmeledningsförmåga, J/kgK	840	800

Tabell 29. Resultat av handberäkningar när eller om övertändning sker i brandutsatt lägenhet.

Brandscenario	\dot{Q}_{FO} , MW		
	McAffrey et al.	Thomas	Babrauskas
5 MW brand	3,8 (1,4*)	4,3	5,5

*För konstant effektutveckling

Beräkningarna visade på att övertändning inte inträffade vid något fall med liten brand eller med boendesprinkler installerat. Vid simulering av liten brand uppnådde brandgaslagret en temperatur om 300-400°C vilket tyder på att övertändning inte bör ske. Beräkningarna förutsätter att fönsterna är öppna under hela brandförloppet. Som diskuterat tidigare kommer brandens tillväxthastighet att minska innan fönster öppnas då en lägre syrekoncentration minskar förbränningshastigheten (Karlsson & Quintiere, 1999). Samtidigt kommer ett brandgaslager bildas i brandrummet och således kommer strålningen från brandgaslagret mot golvet att öka innan ventilationsöppningar öppnas. Det finns därav stora osäkerheter med utförda beräkningar. Det utgör dock ett konservativt antagande om att övertändning vid 5MW brand inträffar.

Läckage genom ytterväggar

För ta hänsyn till att omslutande väggar inte är helt täta och på så vis motverka onaturlig tryckupbyggnad definieras läckage genom väggarna. Värden för läckage genom väggar i trapphus och brandrum tas från tabell 50.5 i SFPE handboken (Hurley et al., 2015), där läckage genom väggar klassificeras från 'Loose' till 'Tight'. För både trapphuset och lägenheten väljs värdet motsvarande 'Loose', då äldre byggnader har visat sig ha ett större läckage genom väggar (Gulay et al., 1993). Simuleringen av läckage genom väggar i FDS genomförs enligt metodik beskriven

av Wahlqvist & Van Hees (2017). Läckagearean genom väggar beräknas enligt Ekvation 14 och läckagedimensioner framgår av Ekvation 14 **Error! Reference source not found.**

$$Läckage_{totalt\ väggar} = \frac{A}{A_w} \cdot A_w\ trapphus + \frac{A}{A_w} \cdot A_w\ brandrum = 0,072\ m^2$$

Ekvation 14. Totalt läckage genom väggar som en funktion av läckagearea per areaenhet vägg och väggarea av trapphus samt brandrum.

Flödet genom läckage är tryckberoende dels genom att ett högre tryck direkt resulterar i ett högre flöde, och dels genom att tryckupbyggnad i brandrummet även till att läckagearean ökar då mellanrum och otätheter öppnas (Brohez & Caravita, 2020). FDS använder Ekvation 15 nedan för att beräkna läckageareans tryckberoende, och låter användaren specificera tryckkoefficienten Leak pressure exponent n och tryckreferens Leak reference pressure Δp_{ref} (McGrattan et al., 2013).

$$A_L = A_{L,ref} \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_{ref}} \right)^{n-0,5}$$

Ekvation 15: Ekvation för läckageareans tryckberoende i FDS.

På grund av att inga fullskaleexperiment utförs tas värden för referenstrycket från valideringsexperiment. Dessa värden har uppmätts för olika läckageareor, cirka 9 cm² vid 50 Pa (Li et al., 2018) respektive cirka 20 cm² vid 58 Pa (Brohez & Caravita, 2020). Att använda dessa siffror introducerar en felkälla, men på grund av de kunskapsosäkerheter som redan finns gällande typbyggnadens faktiska väggläckagearea så anses de i sammanhanget godtagbara. Därav ansattes tryck-koefficienten Leak pressure exponent n ansattes till 0,7 vid tryckreferens Leak reference pressure Δp_{ref} 50 Pa i enlighet med fullskaleexperiment utförda av Brohez & Caravita (2020) och Li et al. (2018).

Brandklassad dörr (EI 30)

Dörr mellan lägenhet och trapphus antas till av brandklass EI 30. Dörren förutsätts vara intakt under hela brandförloppet. Då dörren är stängd simuleras rökspridning genom läckage mellan dörrblad och karm till trapphuset. Konservativt antas arean av läckaget motsvara det maximalt tillåtna glipa mellan dörrblad och karm vid provning av branddörrar enligt provningsstandard SS-EN 16034:2014. Vid tröskeln tillåts en maximal glipa om 25 mm, och vid övriga dörren ett totalt läckage om 150 gånger 6 mm. Totala läckagearean för branddörr beräknas enligt Ekvation 16 och dörr- samt läckagedimensioner presenteras i **Error! Reference source not found.**

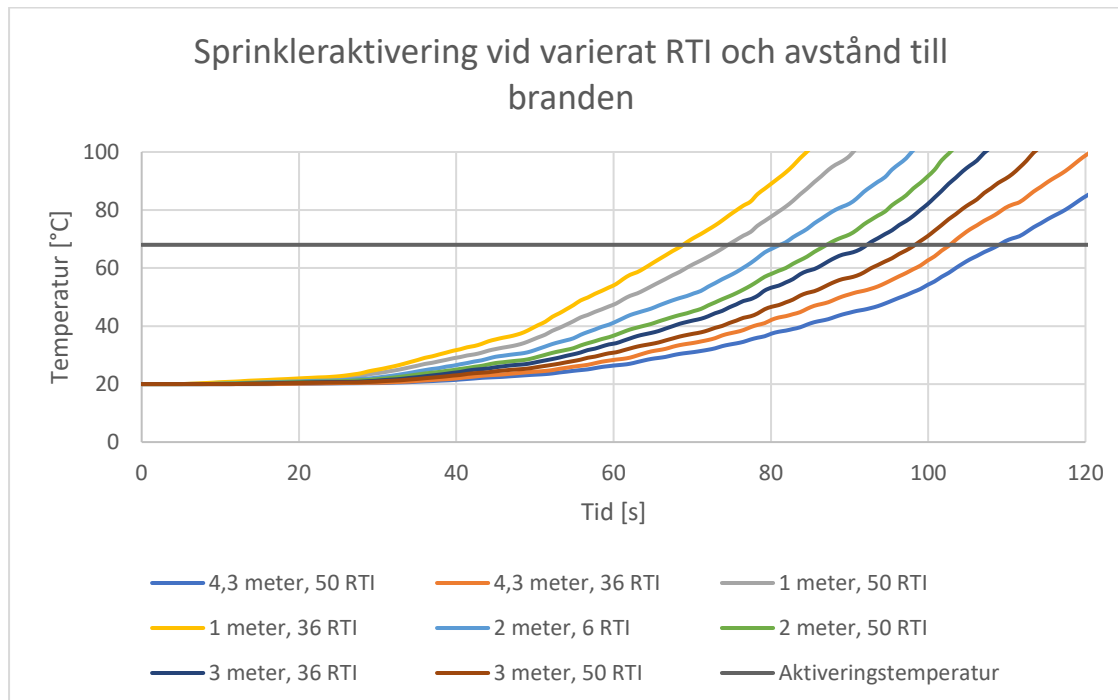
$$\begin{aligned} Läckage_{totalt\ dörr} &= Läckage_{karm} + Läckage_{tröskel} = 0,15 \cdot 0,006 + 0,025 \cdot 0,9 \\ &= 0,0234\ m^2 \end{aligned}$$

Ekvation 16. Total läckagearea för branddörr.

Simuleringen för läckage genom dörr utfördes enligt metodik beskrivet av Wahlqvist & Van Hees (2013) där den totala läckagearean delades upp i cellerna mellan dörrblad och karm respektive tröskel.

Boendesprinkler

Ett antal värmedetektorer med RTI-värde 36 och 50 placerades ut med olika avstånd till branden med en aktiveringstemperatur på 68°C. Avstånden mellan brand och sprinklerhuvud varierades mellan högsta avstånd tillåtna avstånd, 4,3 meter, och 1,0 meter. Aktiveringstiderna framgår av Figur 66.



Figur 66. Simulerad sprinkleraktivering för olika avstånd till branden och med olika RTI-värden på sprinklerhuvudet. Aktivering sker när aktiveringstemperaturen, 68°C, för sprinklerhuvudet.

Boendesprinklern ansätts ett RTI-värde om 36 och en aktiveringstid på 90 sekunder.

Brandens effektutveckling behandlas enligt BBRAD:s allmänna råd om påverkan av automatiska släcksystem (Boverket, 2013). Effektutvecklingen växer därför enligt tidigare definierade tillväxthastighet, därefter hålls effekten konstant under 60 sekunder, för att slutligen reduceras till en tredjedel av effekten vid tidpunkt för sprinkleraktivering.

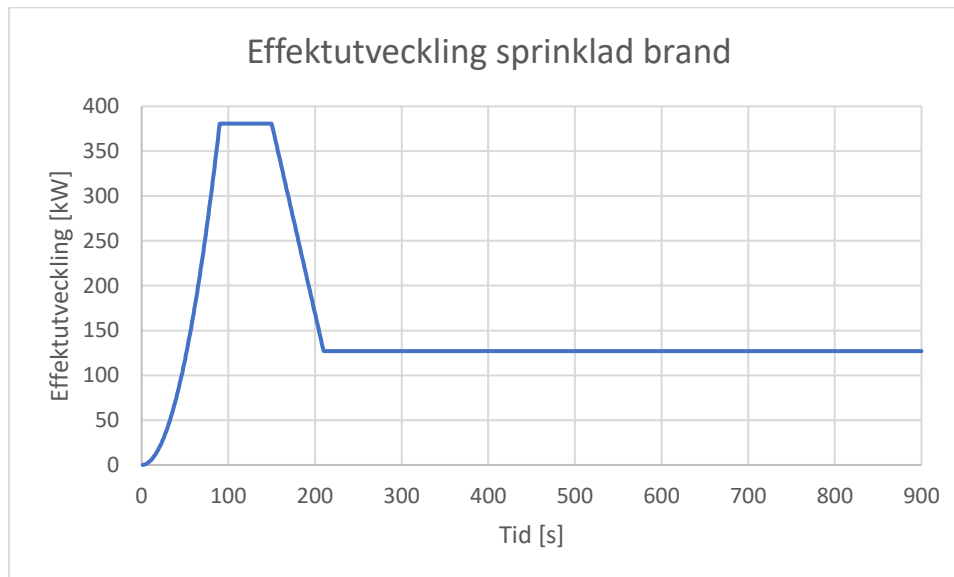
För att fånga in effektutvecklingens avtagande beteende används RAMP-funktionen. Brandarean bestäms utifrån Ekvation 4. För att erhålla en korrekt gridupplösning enligt Ekvation 2 minskas cellstorleken nära branden till 5 cm. På grund av den sprinklade brandens lägre effektutveckling fås mycket mindre flödes hastigheter än motsvarande för stor eller liten brand.

Kriteriet om att där den karakteristiska diametern genom höjden (D^*/H) överstiger 0,5 uppfylls inte. BIV (2013) nämner att kriteriet för sprinklade brand leder till att cellstorleken blir mycket liten på grund av en låg effektutveckling, vilket leder till en mycket lång simulerings tid. Av den anledningen rekommenderar de att samma gridstorlek som för den icke-simulerade branden kan anses vara godtagbar.

Branddimensioner, cellstorlek och maximal effektutveckling för det sprinklerkontrollerade brandfallet presenteras i Tabell 30. Effektutvecklingskurva för sprinklad brand visas i Figur 67

Tabell 30. Branddimensioner, cellstorlek och effektutveckling för sprinklerkontrollerad brand

Variabel	Värde
Brandarea, m ²	0,16
Cellstorlek, m	0,05
Brandkällas sida, m	0,4
Maximal effektutveckling, kW	381
RTI, (ms) ^{1/2}	36
Aktiveringstemperatur, °C	68
Aktiveringstid, s	90
HRRPUA, kW/m ²	2379



Figur 67. Principskiss av effektutveckling för sprinklad brand.

Brandgasventilation

Brandgasventilationens frånluft simuleras som en röklucka i toppen av trapphuset, och tilluft som en öppen dörr i trapphusets fasad. För att dörren i trapphusets fasad ska agera tilluft och inte ventilera ut brandgaser, ansätts ett lägre beläget våningsplan i trapphuset. Röklucka och tilluftsöppning öppnas automatiskt och aktiveras av en rökdetektor i trapphuset. Från- och tilluftsarea samt presenteras i Tabell 31.

Tabell 31. Från- och tilluftsareor tid för brandgasventilation

Variabel	Värde
Frånluft, m ²	1,0
Tilluft, m ²	1,89
Aktiveringstid, s	60 s*

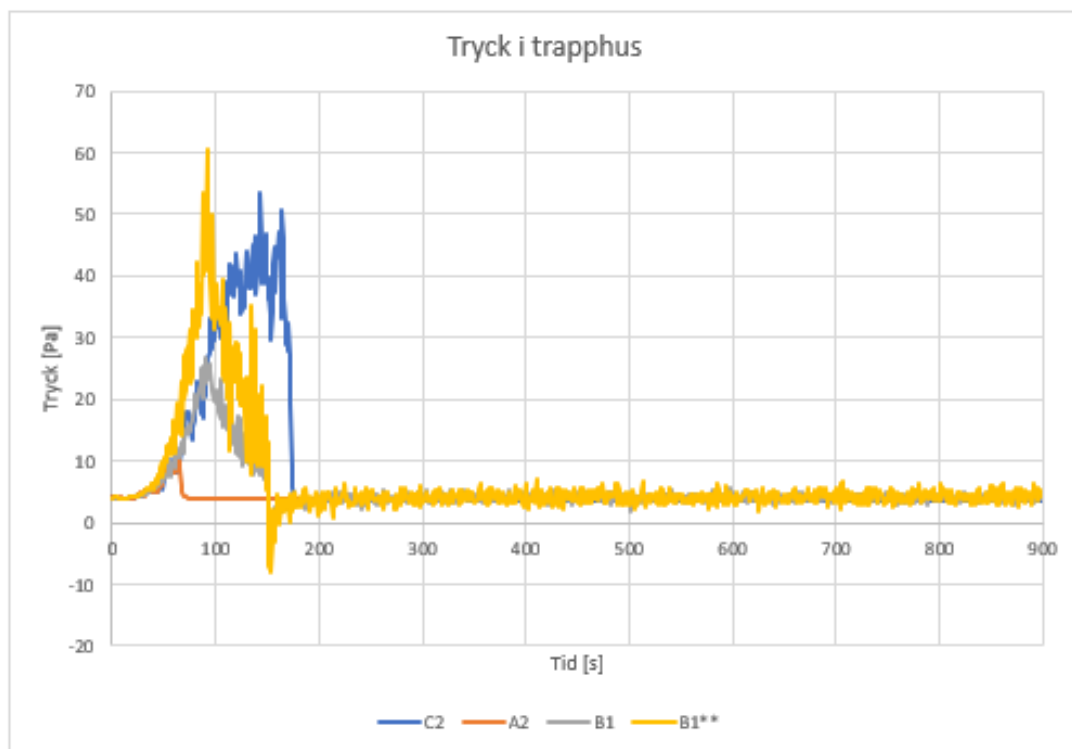
*Efter erhållande av simuleringsresultat.

Bilaga G Simuleringsresultat

I denna bilaga erhålls samtliga uppmätta parametrar från simulerade scenarier.

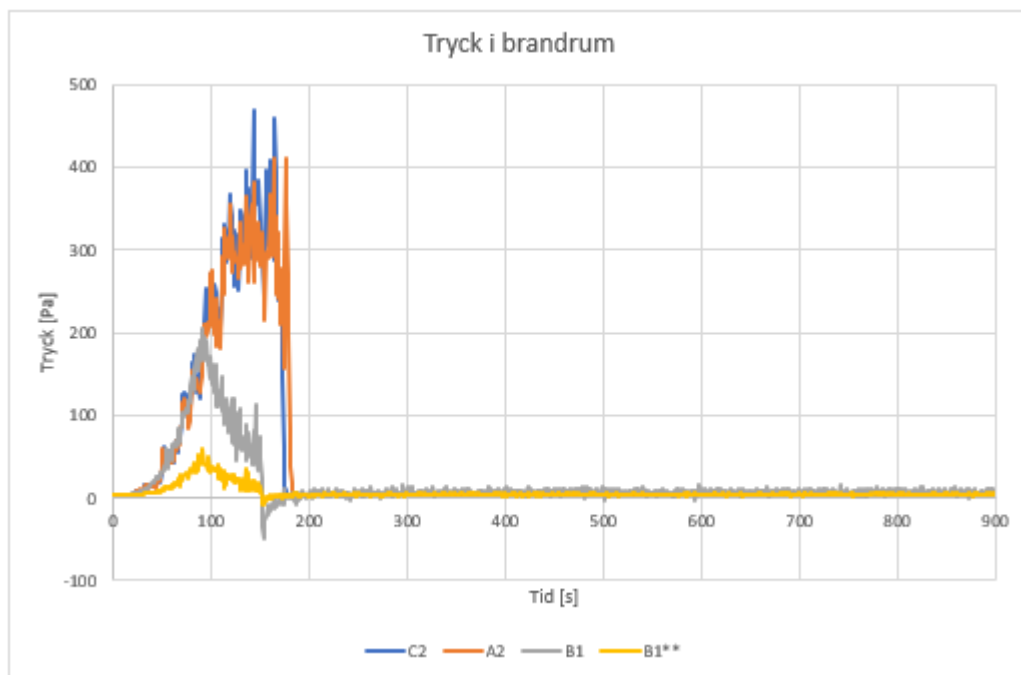
Tryck

I figuren nedan återfinns det uppmätta övertrycket för de olika scenarierna. Trycket mättes utanför brandrummet på våning 1 respektive i brandrummet.



Figur 68. Tryck i trapphuset precis utanför brandrummet för respektive scenario.

Högst tryck i trapphuset erhålls vid scenario C2 (Lägenhetsdörr med brandteknisk klass EI 30) följt av scenario A2 (Automatisk brandgasventilation och lägenhetsdörr med brandteknisk klass EI 30).

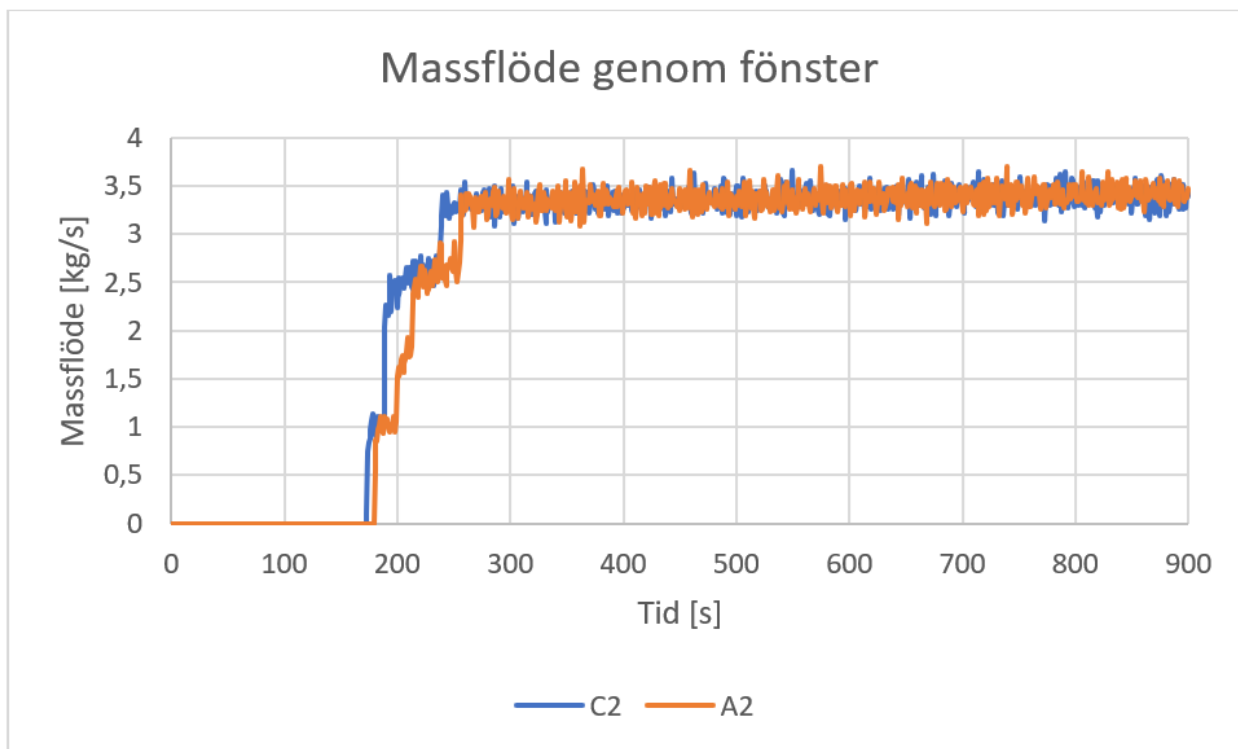


Figur 69. Tryck i brandrummet.

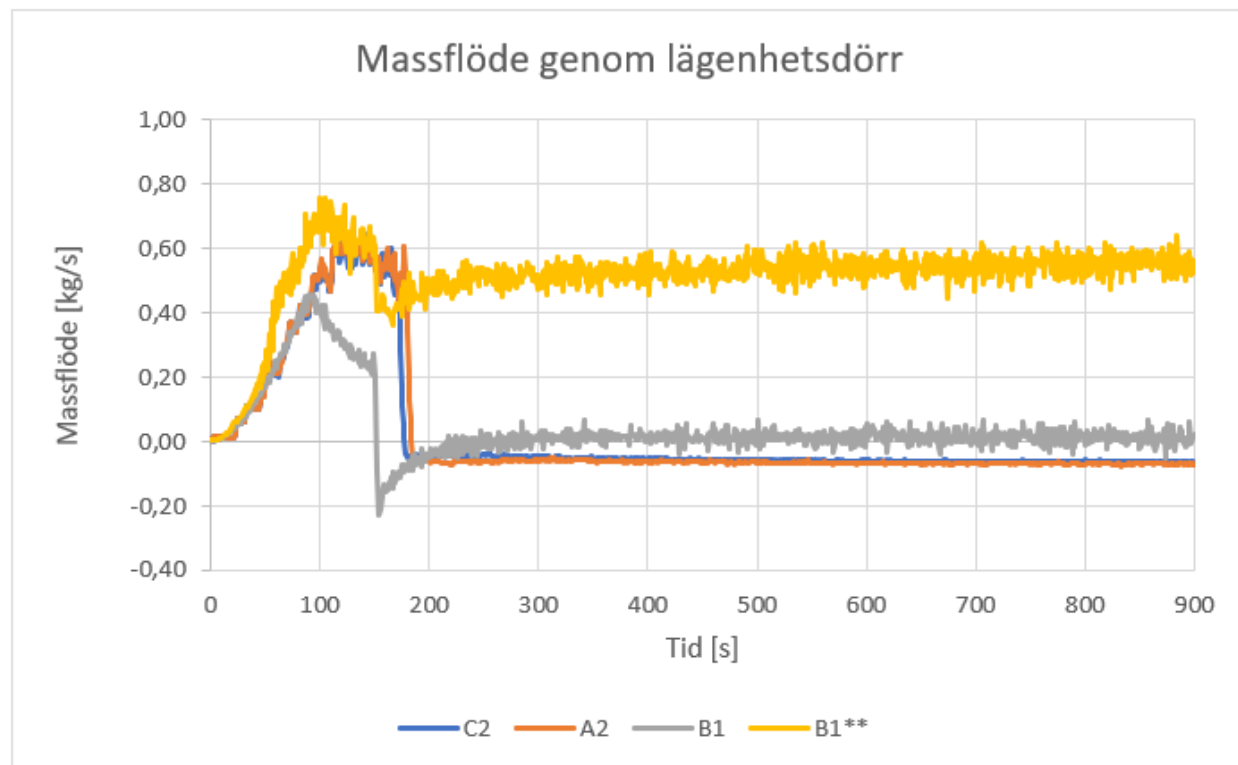
Resultatet visar på att högst tryck uppmättes i scenariot utan tryckavlastning i form av röklucka. För scenarier med boendesprinkler sker endast en relativt liten tryckökning på grund av den lägre effektutvecklingen.

Massflöde

Högst massflöde ut genom fönsterna uppmättes i scenario C2. För scenarier med boendesprinkler erhöles aldrig tillräckligt hög temperatur på brandgasernas för att fönsterna skulle gå sönder. För läckaget genom dörren är det uppmätta massflödet ungefär likvärdigt för scenario C2 som A2. Högst flöde genom dörröppningen återfanns i det scenariot med öppen dörr (B1**). Det uppmätta massflödet in och ut genom fönsterna i brandrummet och för läckaget genom dörren för respektive scenario framgår av figurerna nedan.

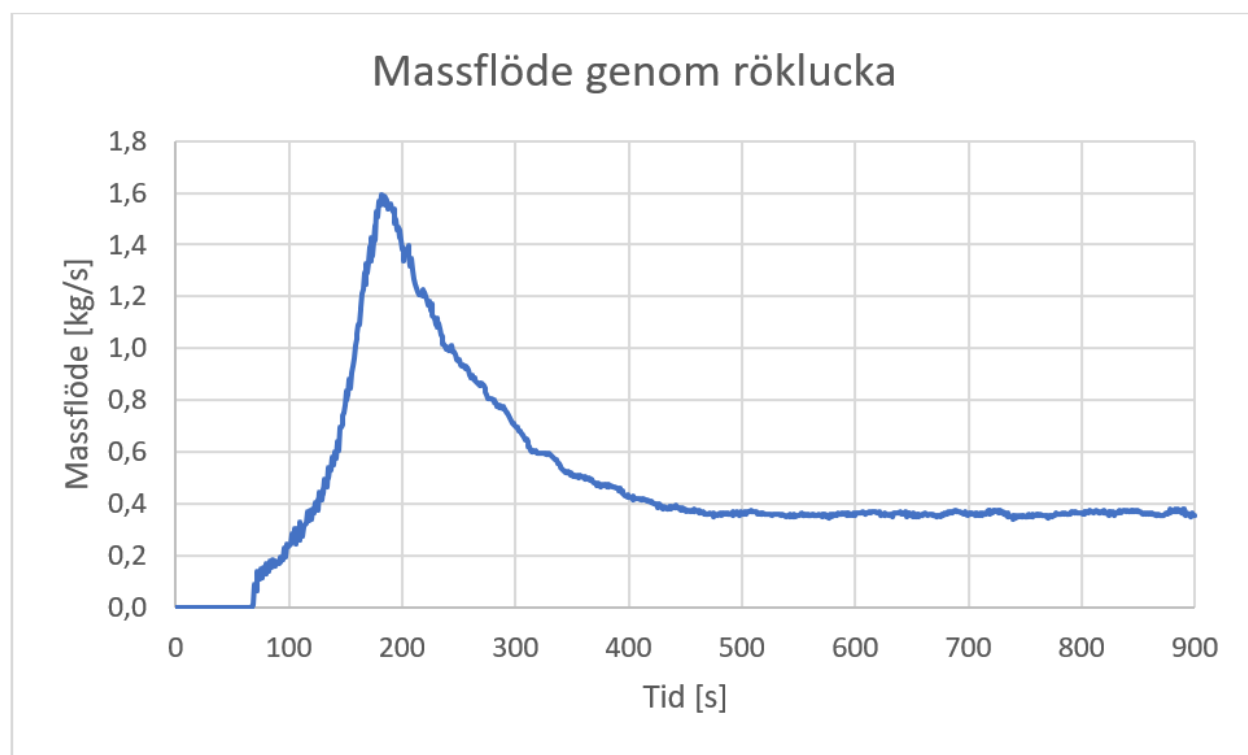


Figur 70. Massflöde in och ut genom fönster i brandrummet för respektive scenario.



Figur 71. Massflöde läckage genom dörr mellan lägenhet och trapphus.

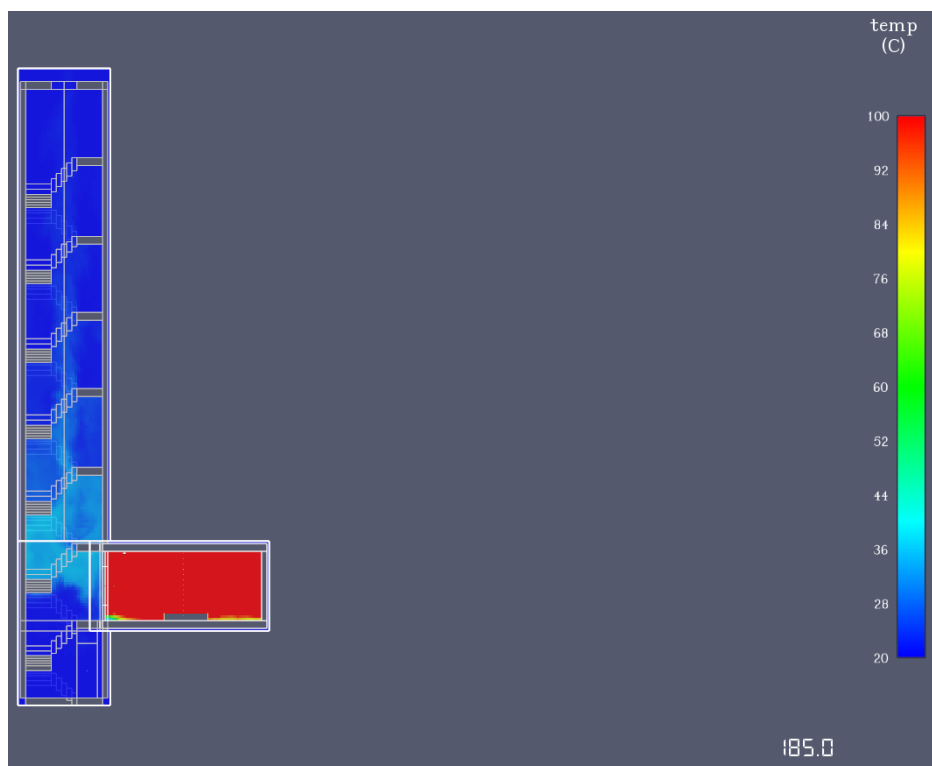
I figuren nedan återfinns massflödet genom rökluckan för scenariot med automatisk brandgasventilation (A2).



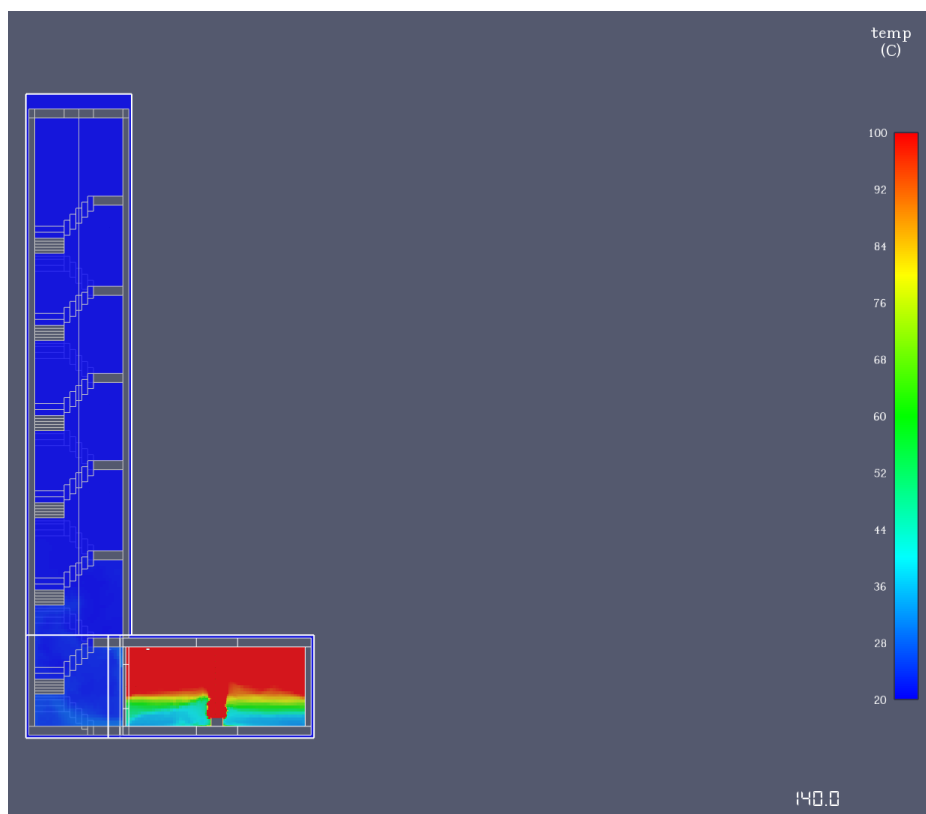
Figur 72. Massflöde genom rökluckan i scenariot med automatisk brandgasventilation (A2).

Temperatur

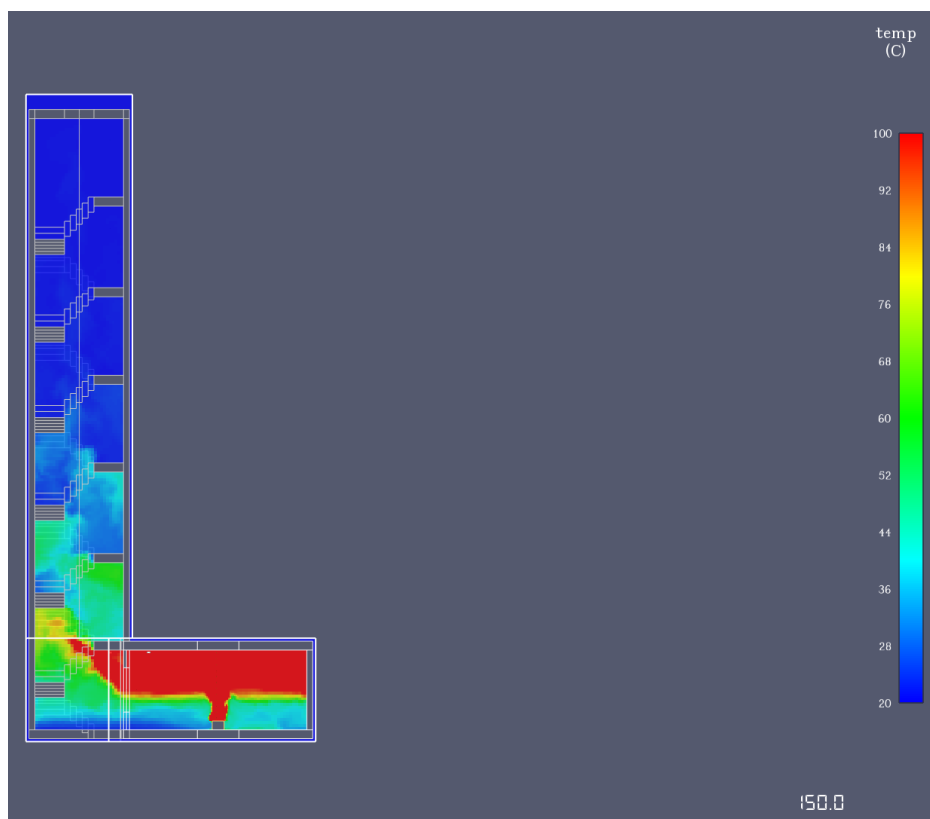
Inget scenario uppmätte kritisk temperatur i trapphuset. Temperaturprofiler vid tidpunkt då högst temperatur uppmätts i trapphuset framgår av figurer nedan.



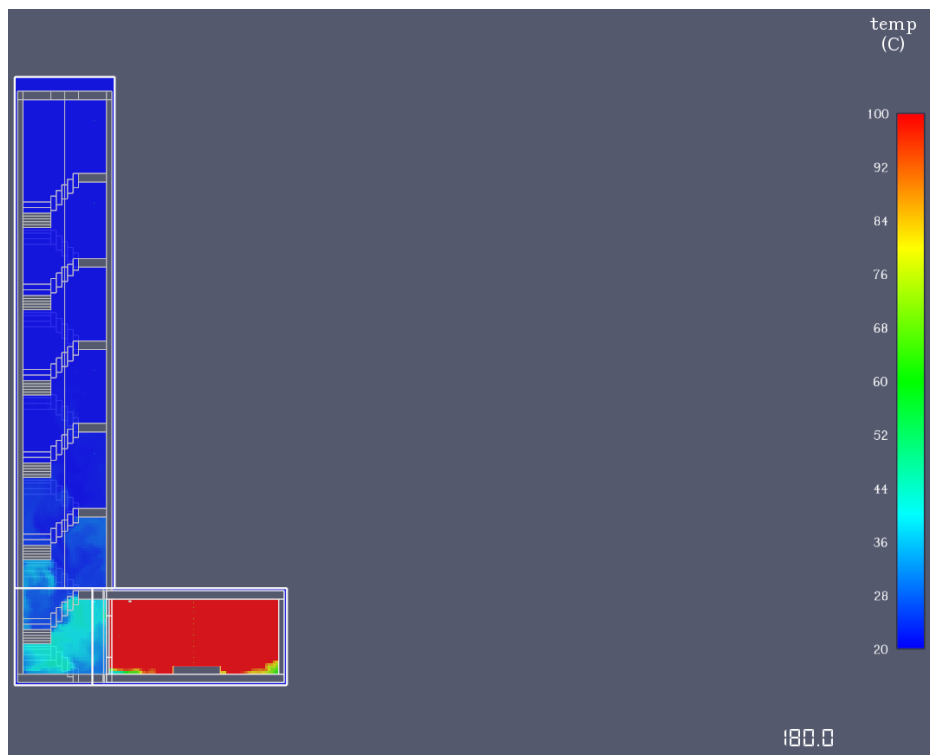
Figur 73. Temperaturprofil vid tidpunkt då högst temperatur uppmätts i trapphuset för scenario med stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 samt automatisk brandgasventilation (A2).



Figur 74. Temperaturprofil vid tidpunkt då högst temperatur uppmätts i trapphuset för scenario med stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 samt boendesprinkler (B1).



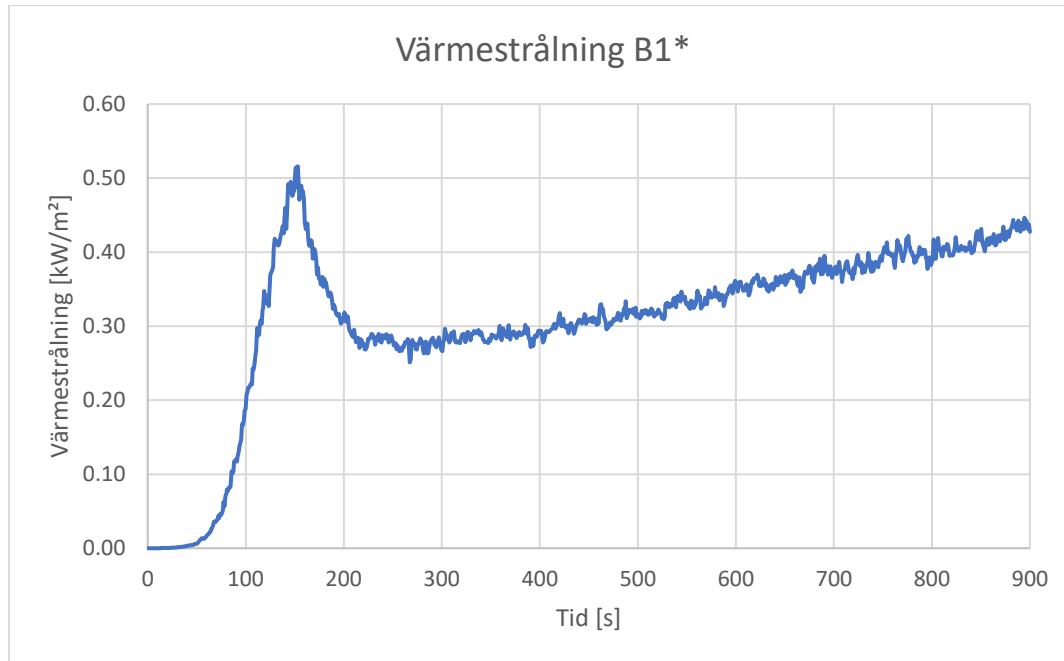
Figur 75. Temperaturprofil vid tidpunkt då högst temperatur uppmätts i trapphuset för scenario med öppen lägenhetsdörr i brandklass EI 30 samt boendesprinkler (B1**).



Figur 76. Temperaturprofil vid tidpunkt då högst temperatur uppmätts i trapphuset för scenario med stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 (C2).

Värmestrålning

Inget scenario uppmätte kritisk strålningsnivå i trapphuset. Strålningsprofiler vid tidpunkt då högst strålningsnivåer uppmätts i trapphuset var för scenariot med boendesprinkler och öppen lägenhetsdörr (B1**) och framgår i Figur 77 nedan.

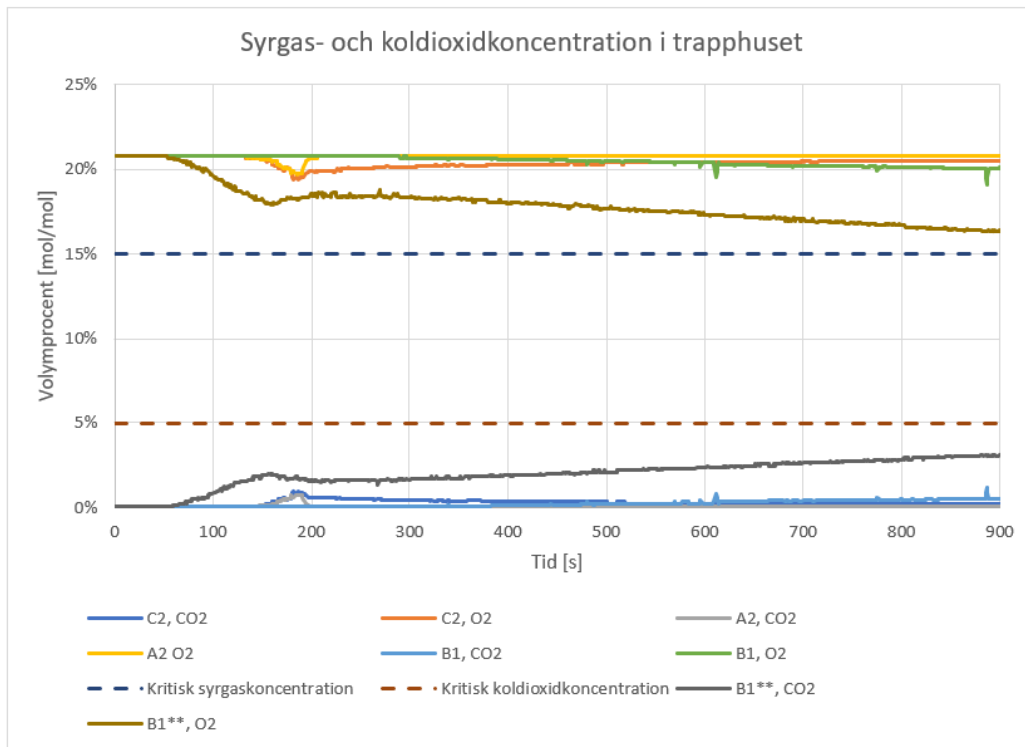


Figur 77. Uppmätt värmestrålning i trapphuset precis utanför brandrummet vid scenario B1**.

På grund av att dörren i resterande simulerade scenarier är stängd sker ingen värmestrålning från flaman direkt ut till trapphuset. På grund av den relativt låga temperaturen i brandgaserna fås heller ingen skadlig värmestrålning från brandgaserna.

Syrgaskoncentration och koldioxidkoncentration

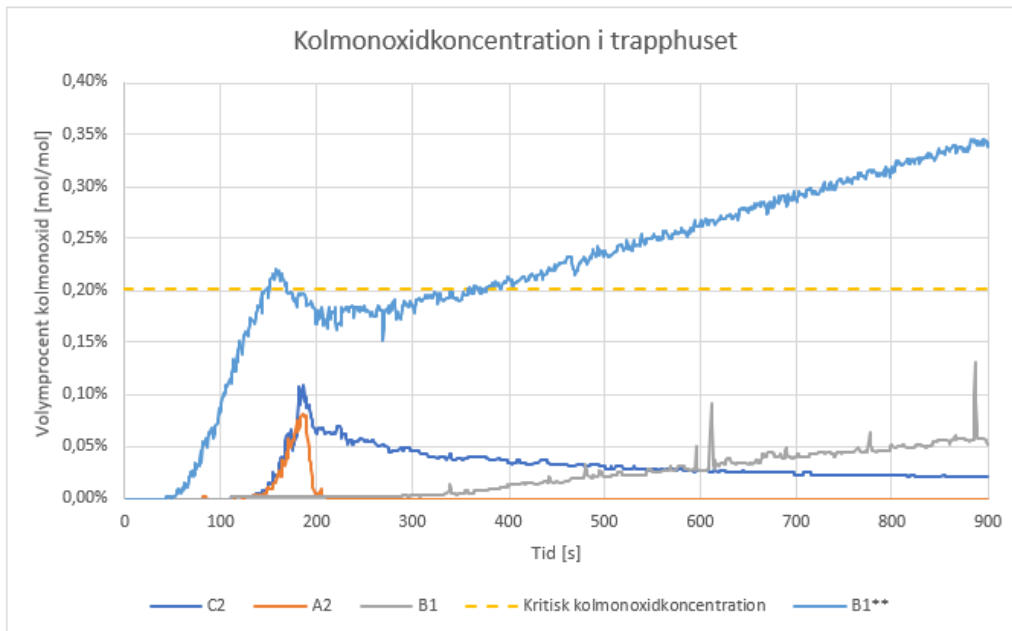
I figuren nedan återfinns de uppmätta syrgaskoncentrationerna samt koldioxidkoncentrationerna i trapphuset för respektive scenario. Som kan utläsas ur figuren nedan överskrider ingen av scenarierna det kritiska värdet för koldioxidkoncentrationen eller understiger den lägst godtagbara syrgashalten i trapphuset.



Figur 78. Syrgas- samt koldioxidkoncentration precis utanför brandrummet för respektive scenario.

Kolmonoxidkoncentration

Simuleringarna visade på att inga scenarion uppnår kritiska koncentrationer av kolmonoxid i trapphuset. Högst halt fås i scenario B1**.

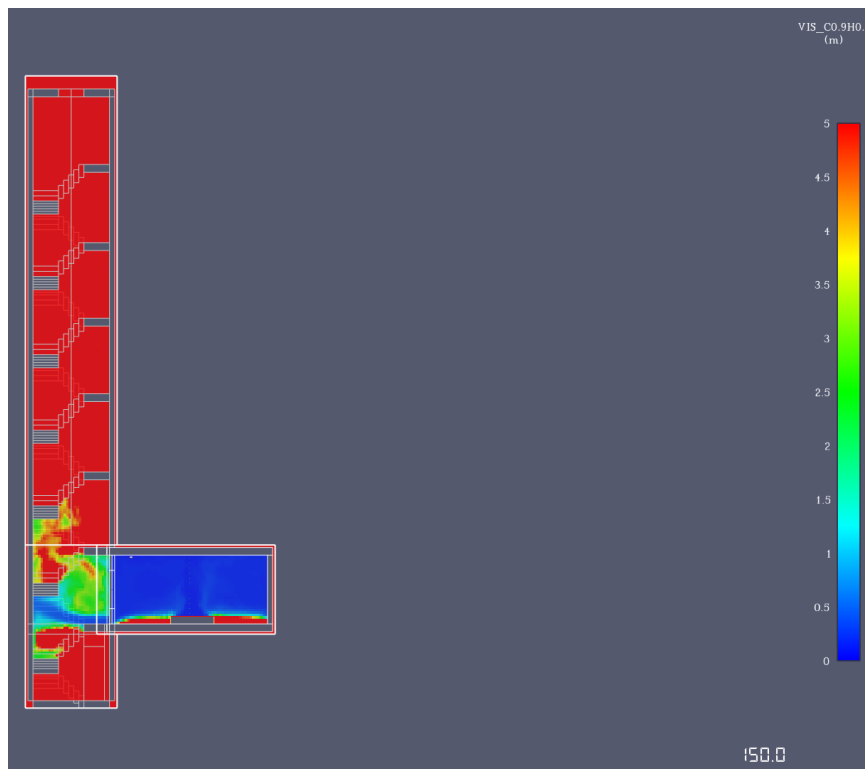


Figur 79. Kolmonoxidkoncentration precis utanför brandrummet för respektive scenario.

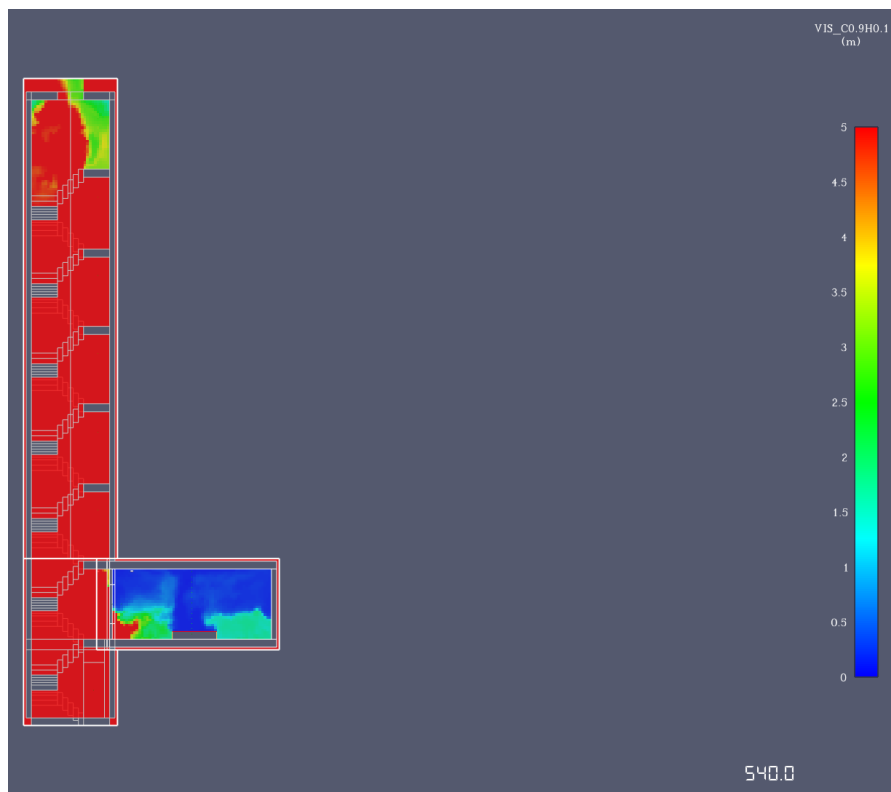
De momentana topparna som återfinns i figuren ovan kan förklaras av att endast en punktmätning gjordes för att mäta kolmonoxid i trapphuset. Slicefiles användes för att kontrollera att resultatet var överensstämmande.

Sikt

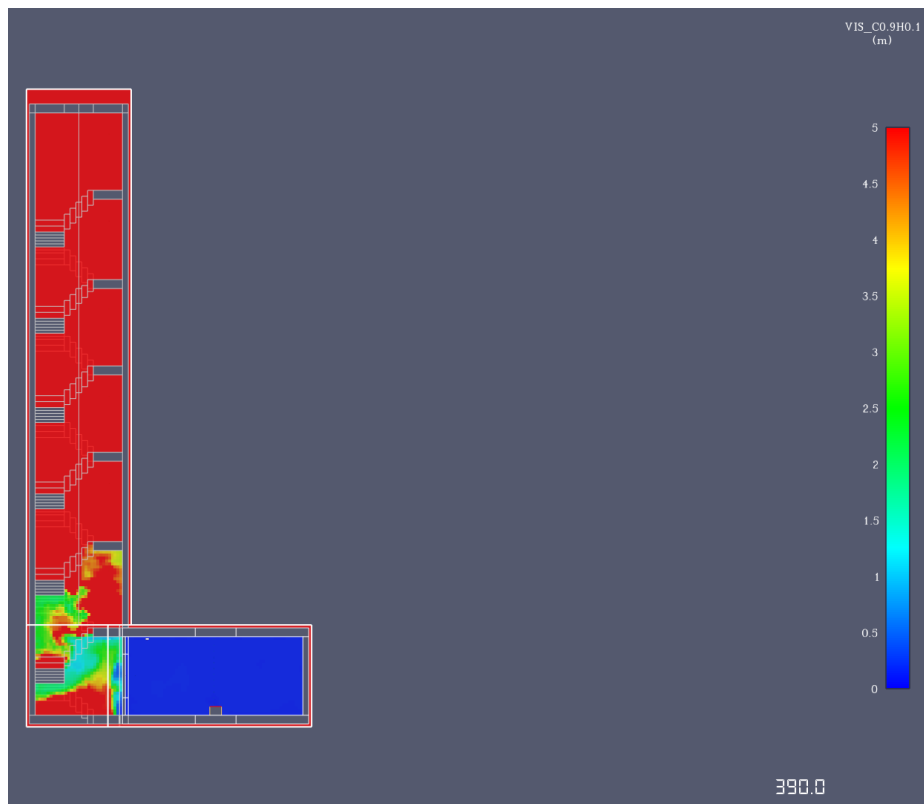
Samtliga simulerade scenarion uppnådde kritisk sikt vid något tillfälle. Med automatisk brandgasventilation och stängd dörr i brandklass EI 30 (A2) infinner sig steady-state-förhållande efter att röklucka öppnat och fönster gett vika i brandrummet. Under dessa förhållanden råder inte kritisk sikt. Vid tidpunkt före steady-state-förhållande infunnit sig är sikten kritisk. Skärmbild för siktförhållande precis innan och efter kritisk sikt infunnit sig i trapphuset framgår av Figur 80 och Figur 81.



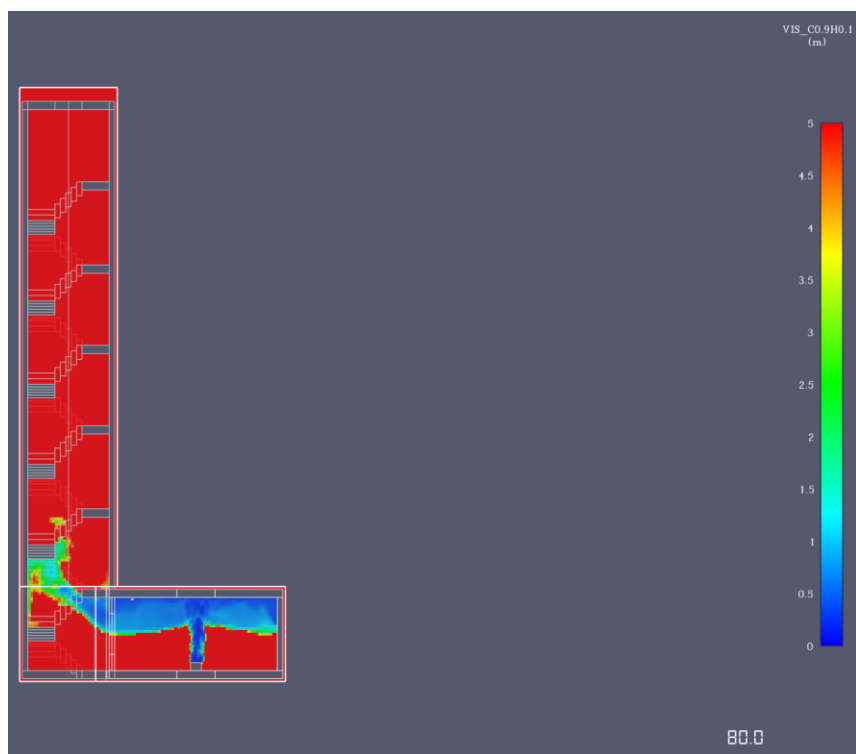
Figur 80. Tidpunkt då kritisk sikt infunnit sig för brandscenario med stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 samt automatisk brandgasventilation (A2).



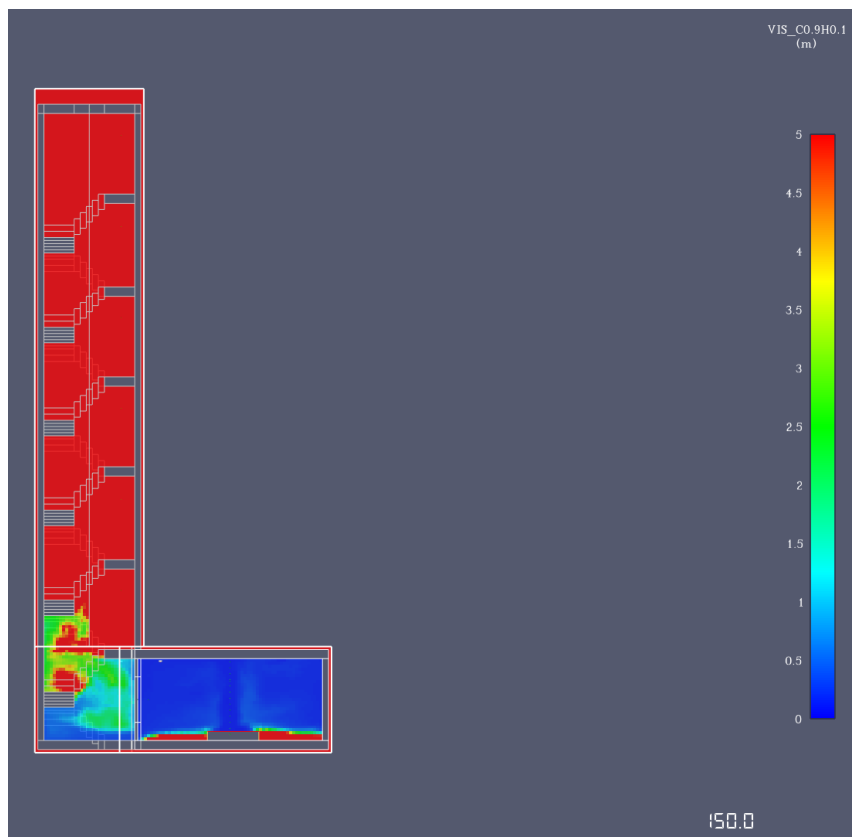
Figur 81. Tidpunkt då steady-state-förhållande infunnit sig med stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 samt automatisk brandgasventilation (A2).



Figur 82. Tid då kritisk sikt infunnit sig för sprinklerkontrollerad brand och stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 (B1).



Figur 83. Tidpunkt då kritisk sikt infunnit sig för sprinklerkontrollerad brand och öppen lägenhetsdörr (B1**).



Figur 84. Tidpunkt då kritisk sikt infunnit sig för brandscenario med stängd lägenhetsdörr i brandklass EI 30 (C2).

Bilaga H Tillförlitlighetsanalys

I denna bilaga förs diskussion om källornas trovärdighet, bakgrund till felsannolikheterna, samt uträkning av felsannolikhet genom felträdsanalys för Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering. Där flera felsannolikheter identifierats används ett medelvärde i analysen. Tabellen nedan visar de felsannolikheter och frekvenser som identifierats från undersökt litteratur.

Tabell 32. Felsannolikheter och frekvenser

System	Händelse	Felsannolikhet	Referens
Brand uppstår	Stor brand	Normalfördelning μ : 0,16 σ : 0,015	(Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2021) och (Statistiska centralbyrån, 2022)
	Liten brand	Normalfördelning μ : 0,84 σ : 0,015	(Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2021) och (Statistiska centralbyrån, 2022)
	Brand uppstår (frekvens per år och flerbostadshus)	Normalfördelning μ : 0,00124 σ : 00004915	(Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2021) och (Statistiska centralbyrån, 2022)
Boendesprinkler	Sprinklersystem kontrollerar ej brand	0,079	(Ahrens, 2021)
		0,04	(Belles, 1983)
		0,05	(Fire, 1997)
		Pertfördelning: Min: 0,034 Max: 0,41	(Gravestock, 2008)

		Expected: 0,1	
Automatisk brandgasventilation	Automatisk brandgasventilation ventilerar ej ut brandgaser	0,1	(Fire, 1997)
		Uniformfördelning: Min: 0,0 Max: 0,25	(Öhman, 2016)
		Triangfördelning: Min: 0,05 Max: 0,1 Expected: 0,05	(Andersson, 1999)
		Pertfördelning: Min: 0,034 Max: 0,21 Expected: 0,079	(Gravestock, 2008)
Trycksättning av trapphus	Tryckförlust i trapphuset vid brand	0,5	(Gravestock, 2008)
		0,9	(Cowlard et al., 2013)
		0,1	(Fire, 1997)
Dörrstängare på lägenhetsdörr	Konventionell dörrstängare stänger ej lägenhetsdörr	Triangfördelning: Min: 0,1 Max: 0,2 Expected: 0,2	(McDermott et al., 2010)**
		0,1	(Institution, 1997)*
	Dörrstängare med freeswing-funktion stänger ej lägenhetsdörr	Antas vara samma som för konventionell dörrstängare på slussdörr	

	Lägenhetsdörr stängs ej av utrymmande	Se nedan	Se nedan
		B1*B2	
Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering	Slussdörr stängs ej automatiskt	0,2	(BSI & -7:, 2019)
		0,1	(Fire, 1997)
		0,1	(Centre, 1996)
		Betafördelning: $\alpha: 77$ $\beta: 4$ Expected: 0,0494	(Runefors & Persson, 2017; Runefors & Sender, 2020)
	Dörrar stängs ej av utrymmande	B2*B3	
	Lägenhetsdörr stängs ej av utrymmande	0,2	(Jönsson & Winberg, 2017)
		Pertfördelning: Min: 0,05 Max: 0,15 Expected: 0,1	(Runefors & Sender, 2020)
		Slussdörr stängs ej av utrymmande	0,2
		Pertfördelning: Min: 0,05 Max: 0,15 Expected: 0,1	(Runefors & Sender, 2020)
	Kritiska förhållanden i trapphuset	M1*M2	

* Förutsätter underhåll

** Skattad från data

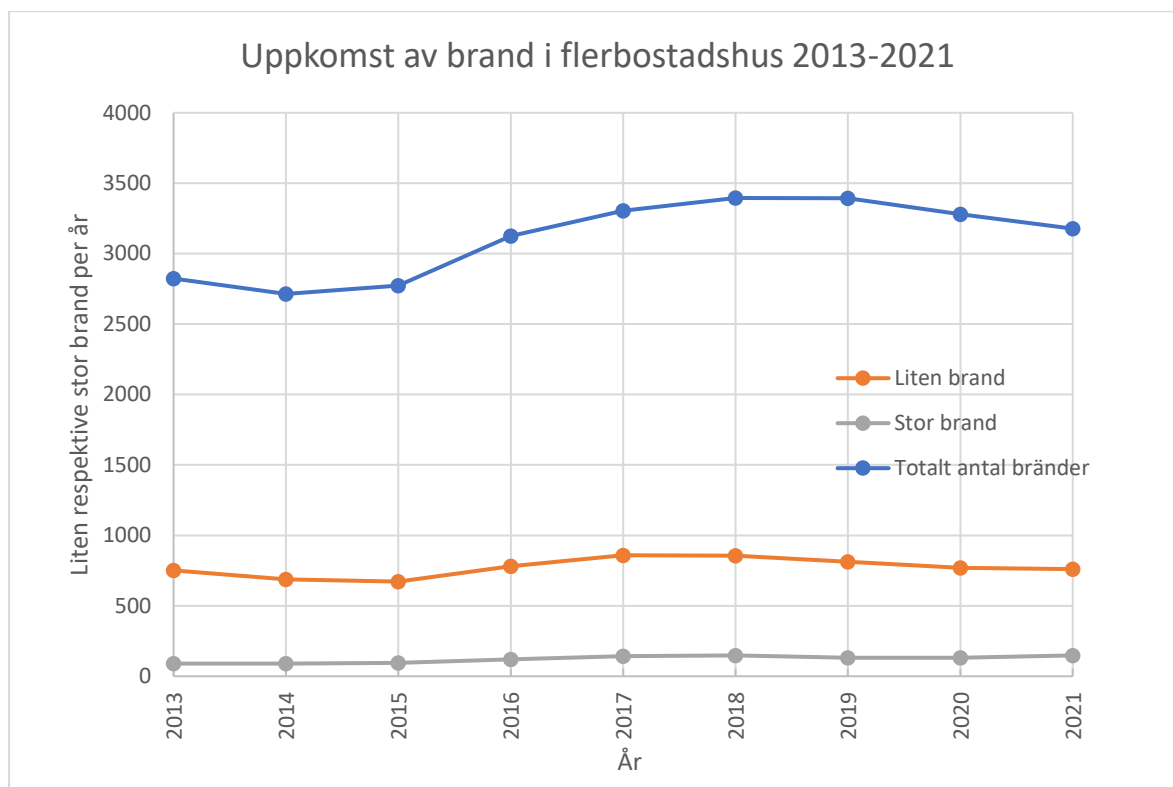
Uppkomst av brand i flerbostadshus

Beräkning av risk för uppkomst av brand i flerbostadshus baseras på tillgänglig statistik från MSB:s statistikdatabas IDA (2021). Samhällsrisker för att brand i flerbostadshus uppstår har viktats mot antalet flerbostadshus det aktuella året från SCB (2022). Från statistiken har *liten brand* definierats som ”I det objekt som först antändes” samt ”I utrymmet där branden startade”. För *stor brand* som ”I flera utrymmen i samma brandcell” och ”I flera brandceller”. Dessa används för att räkna ut den relativa risken att liten brand respektive stor brand uppstår givet att brand uppstår. Antagandet kan anses vara konservativt då antalet stora bränder överskattas. Dessutom kan det tänkas vara ett antal bränder som antingen självslocknar eller släcks av lägenhetsinnehavaren, där räddningstjänsten aldrig blir tillkallade. För beräkningen av den totala risken att brand uppstår i flerbostadshus används statistiken för totala antalet bränder per år. Tabellen nedan visar totalt antal bränder och brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst.

Tabell 33. Totalt antal bränder i flerbostadshus under 2013-2021 och brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2021)

Omfattning vid ankomst	Antal insatser
Branden pågick inte	8259
I det objekt som först antändes	3060
I utrymmet där branden startade	3888
I flera utrymmen i samma brandcell	837
I flera brandceller	259
Uppgift saknas	11
Inte tillämpbar	11 672
Totaler	27 986

Då SCB ändrade ingående statistik för flerbostadshus 2013 används enbart statistik från och med 2013. Totala antalet bränder i flerbostadshus mellan 1998–2012 var liknande antalet mellan 2013–2021. Det är därav troligt att brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst tidigare år är liknande som för den ovan redovisade statistiken. Grafen nedan visas risken att brand uppstår i ett flerbostadshus under ett givet år mellan 2013–2021.



Figur 85. Risk för uppkomst av liten respektive stor brand samt totalt antal bränder under ett år i ett flerbostadshus i Sverige.

Som kan avläsas ur figuren kan ingen ihållande ökning eller minskning av bränder identifieras, dock finns det små variationer varje år. Variationen över tid anpassas genom att en tidsvarierande kurva anpassas i programmet @risk. Det byggs cirka 3700 nya flerbostadshus i Sverige årligen. Ökat antal flerbostadshus leder dels troligen till att antal bränder i flerbostadshus ökar, men också till att risken per flerbostadshus för brand är relativt konstant. För att få överensstämmande resultat med korrelerande bränder per år anpassas även en varierande kurva för antal flerbostadshus.

Boendesprinkler

För sprinklersystem finns det ett stort statistiskt underlag och felsannolikheter. Det är dock oklart huruvida felsannolikheter för konventionellt sprinklersystem kan anses vara representativt för ett boendesprinklersystem. Ett boendesprinklersystem kan dessutom utformas på flera olika sätt. Av de anledningarna har enbart tillgänglig statistik och felsannolikheter för boendesprinklersystem med våtrörsystem valts att tas med. Till största delen har tillgänglig statistik från NFPA (Ahrens, 2021) för USA mellan 2015-2019 använts. Andra källor ger överlag överensstämmande felsannolikheter.

Automatisk brandgasventilation

Det föreföll sig svårt att hitta felsannolikheter för automatisk brandgasventilation i trapphus. Mest detaljerad statistik återfanns från en finsk rapport baserat på ett relativt litet statistiskt underlag från en kommunal räddningstjänst (Öhman, 2016). Totalt hittades 10 stycken insatsrapporter där brandgasventilationen angetts felfungera baserat på 5 års underlag. Av underlaget framgår ej typ

av brandgasventilation, och enbart i vissa fall anges felorsak. Rapporten kommer fram till att felfrekvensen varierade mellan 0–25% per år. Baserat på genomgångar av fall och intervjuer med räddningstjänst konstaterar rapporten också att underhåll av brandgasventilationen var en avgörande faktor. BSI som ger ut standarder i Storbritannien anger 0,1 som felsannolikhet för att automatisk brandgasventilation inte fungerar som avsett (1997). Felsannolikheten förutsätter att erforderat underhåll sköts. I en analys av Boverket (2011) för att utreda brandskyddshöjande åtgärder i befintliga trapphus används samma siffra. Andra identifierade felsannolikheter från andra källor anger ungefär samma felsannolikhet.

Trycksättning av trapphus

Ett antal händelser identifierades som skulle kunna leda till att ett trycksatt trapphus ej fungerar som avsett vid brand. Då trycksättningssystem kan utformas på flera olika sätt var det svårt att hitta tillämpbar statistik och felsannolikhet. Dessutom kan ett felfungerande övertrycksättningssystem förvärra utrymningsförhållandena i ett trapphus, då ett för högt tryck i trapphuset kan leda till att kraften som krävs för att öppna utåtgående dörrar mot trapphuset blir för högt (Runefors & Persson, 2017). Cowlard et al. (2013) menar på att trycksättningssystem i flerbostadshus vid 90% av de undersökta fallen inte fungerat som avsett vid brand. Det är dock oklart huruvida statistiken är tillämpbar på svenska förhållanden, dessutom undersöks enbart mycket höga byggnader. I en annan källa återfinns felsannolikheten 0,1 för samma topphändelse (Fire, 1997), vilket är samma felsannolikhet Boverket (2011) använder i deras rapport om brandskyddsåtgärder för befintliga trapphus. En annan källa ger en total sannolikhet, det vill säga effektivitet och tillförlitlighet kombinerat, att en övertrycksättning av trapphus fungerar som avsett på 50% (Gravestock, 2008).

Dörrstängare på lägenhetsdörr

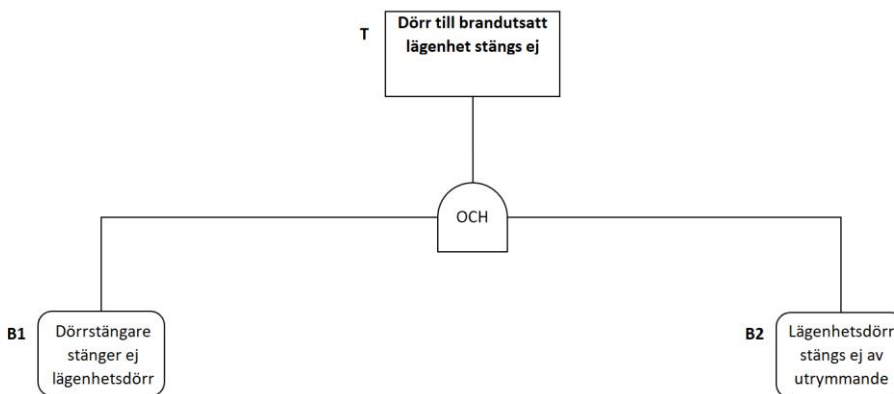
Dörrstängare på lägenhetsdörrar är ingen föreskriven lösning i byggreglerna. Därav är det i Sverige relativt ovanligt förekommande. En av anledningarna kan vara att det råder oklarhet i hur tillförlitlig en dörrstängare är på en dörr till bostäder. Utredningen om branden i Grenfell Tower visade på att flera av de installerade dörrstängarna på lägenhetsdörrar var antingen avhängda eller helt nedmonterade (INQUIRY, 2018). I en källa återfinns felsannolikheten 0,1 för att en dörrstängare ej stänger en dörr (Fire, 1997), vilket är samma felsannolikhet Boverket (2011) använder i deras rapport om brandskyddsåtgärder för befintliga trapphus. Felsannolikheten förutsätter att erforderat underhåll sköts.

En undersökning utförd i Sverige har undersökt frekvensen för att en dörr med dörrstängare står uppställd i Tr1/Tr2-trapphus som vetter mot bland annat bostäder (Runefors & Persson, 2017). Sannolikheten för att en dörrstängare på en lägenhetsdörr stänger som avsett räknades ut baserat på observationer för dörrstängare på lägenhetsdörrar mot slussar och på samma sätt som Runefors & Sender (2020) räknar ut motsvarande sannolikheter för andra verksamheter. Uträkningen sker enligt metod beskriven i *Probability and Risk Analysis* (Rychlik & Rydén, 2006) och genom att ansätta en a-priori beta-fördelning där varje utfall antas vara lika sannolikt. Med en Bayesiansk uppdatering fås en posteriori betafördelning. Den punktskattade felsannolikheten blir då 0,167 med

ett 95% konfidensintervall 0,005 till 0,522. Då stickprovet för dörrstängare på lägenhetsdörr är relativt litet fås en så pass stor spridning på konfidensintervallet.

En undersökning utförd i Storbritannien av McDermott et al. (2010) undersökte dörrstängare i boendemiljöer. De undersökta dörrstängarna var av olika typer, men vanligast förekommande var en dold dörrstängare med länkarm infäst i dörrbladet och karmen vid gångjärnen. Studien genomfördes genom att enkäter till bostäder med dörrstängare på innerdörrar skickades ut. 19,6% av respondenterna uppgav att de monterat ner eller hängt av dörrstängaren. Troligtvis kan det anses vara mer störande med en dörrstängare på en innerdörr mellan exempelvis kök och vardagsrum än på en ytterdörr, detta då ytterdörren dels används mer sällan men också att den hålls stängd vid normala fall. Det talar för att felsannolikheten som resultat av undersökningen i kontext av denna analys kan anses vara konservativt.

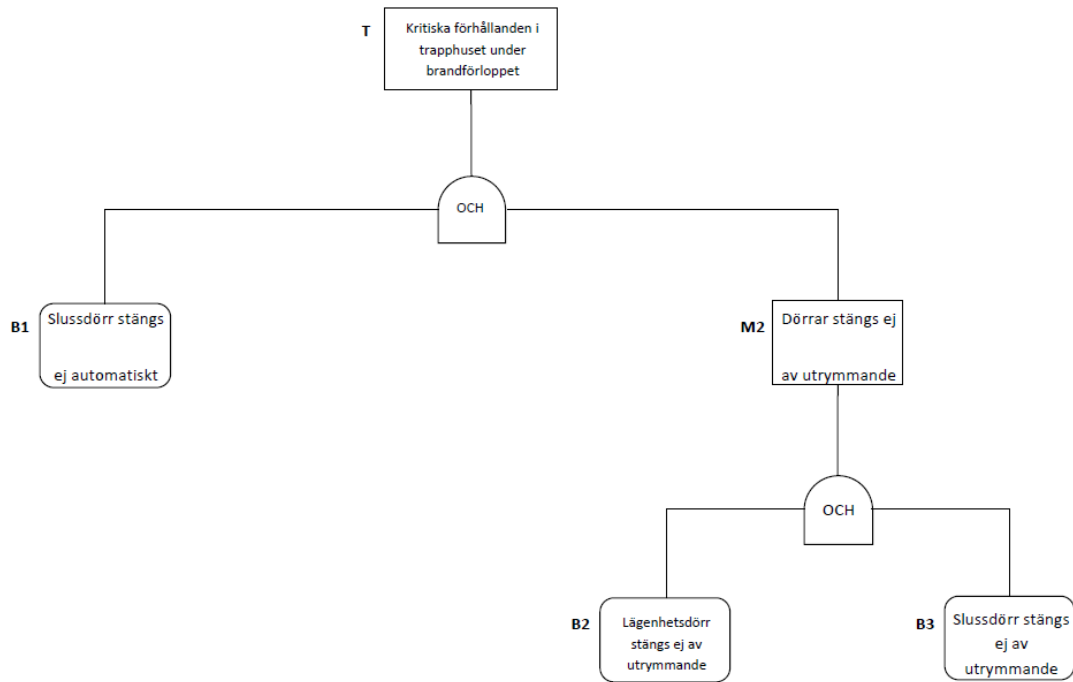
Det har visat sig vara svårt att hitta aktuell data för felsannolikheter för dörrstängare på dörrar till bostäder. Vid samtal med fastighetsägare för flerbostadshus där dörrstängare finns installerat på lägenhetsdörrar har de uppgett att de inte känner till något fall där dörrstängaren monterats ner eller hängt av. Andra källor uppger att det är ett vanligt förekommande fenomen på grund av att en dörrstängare i boendemiljö kan anses vara störande (McDermott et al., 2010). Analysen antar en felsannolikhet en triangelfördelad felsannolikhet med typvärde 0,2. Felsannolikheten är behäftad med osäkerheter men anses vara konservativt skattad i jämförelse med andra källor (Boverket, 2011; Fire, 1997). Ett förenklat felträd för dörrstängare på lägenhetsdörr visas i figuren nedan.



Figur 86. Förenklat felträd för att dörr till lägenhet som är försedd med dörrstängare är öppen under brandförloppet.

Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering

Data för sannolikheten att utrymmande manuellt stänger dörr mellan sluss och trapphus kunde ej hittas. Därför har det antagits att felsannolikheten för att dörr mellan sluss och trapphus stängs manuellt är samma som för att utrymmande stänger lägenhetsdörren. Troligtvis utgör det en underskattning av felsannolikheten, utrymmande torde vara mer måna om att stänga dörren till sin bostad än dörren till trapphuset som utgör allmän yta för de boende. Antagandet resulterar i att mer konservativa resultat för analysen fås, då en underskattad felsannolikhet för Tr2-trapphuset enligt förenklad dimensionering i jämförelse med de analytiskt dimensionerade lösningarna ger ett mer konservativt resultat. Sannolikheten för topphändelsen räknas ut med hjälp av felträdsanalys.



Figur 87. Felträd för att ett Tr2-trapphus enligt förenklad dimensionering ej lyckas hålla trapphuset fritt från rök under brandförloppet.