

Brandscenario för ledningsträning

Johan Josefsson
Ronnie Lindberg

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5039, Lund 1999

Brandscenario för ledningsträning

**Johan Josefsson
Ronnie Lindberg**

Lund 1999

Brandscenario för ledningsträning

Johan Josefsson
Ronnie Lindberg

Report 5039
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--5039--SE

Number of pages: 40 + Appendixes
Illustrations: Johan Josefsson, Ronnie Lindberg

Keywords

Simulation, fire, scenario, commander, practice, Gerdahallen, fire modelling, HAZARD.

Abstract

The aim of this study was to create a scenario for a simulation model where the Swedish fire commanders could practice tactics, techniques and giving orders in a rescue operation. The object on which the fire scenario is created is an athletic centre in Lund called Gerdahallen. Both the computer model HAZARD and hand calculations have been used to construct a model of the fire in this building. The actions taken by the fire service which is necessary to reach a successful operation is thereafter identified. Finally an event tree is introduced where the necessary actions and the time within this actions must be in progress are presented. This event tree is then the base of the simulation model for the scenario.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1999.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Förord

Vi vill särskilt tacka några personer som har haft stor betydelse för framtagandet av denna rapport.

Våra handledare Robert Jönsson vid Institutionen för brandteknik samt Magnus Qvant och Johan Sjöberg vid Räddningsskolan i Revinge.

Stefan Svensson på Räddningsskolan i Revinge, Stefan Särqvist vid Institutionen för brandteknik samt Ola Slettenmark för värdefulla synpunkter och kommentarer under arbetets gång.

Sammanfattning

På räddningsskolan i Revinge finns en ledningsträningsanläggning (LTA), där brandingenjörer, brandmästare och övriga personer med ledningsfunktioner kan övas i bl.a. beslutsfattning, taktik och ordergivning vid räddningsinsatser. I dagsläget är scenarierna i spelen enbart baserade på erfarenhetsmässiga bedömningar och saknar vetenskaplig grund.

Syftet med arbetet är att ta fram ett spel där händelseförloppet i scenariot bygger på ingenjörsmässiga modeller och beräkningar.

Tillvägagångssättet för att ta fram ett spel består i en mängd moment där första steget är att hitta ett lämpligt objekt. Som grund för val av objekt bör syftet med scenariot ligga, d.v.s. vad skall övas. Scenariot i denna rapport är utvecklat kring en brand i Gerdahallen som är ett tränings- och friskvårdscentrum i Lund och består av bl.a. en lägenhet, motionshallar och två tennishallar.

I nästa skede fastställs hur branden skulle utvecklas och spridas om det inte gjordes några försök att hindra eller begränsa brandförloppet. Detta görs genom att en initialbrand väljs och därefter bestäms hur det inledande brandförloppet ser ut samt om och när initialbranden sprids till närliggande utrymmen. Till detta har handberäkningar, egna modeller samt simuleringar i datorprogrammet HAZARD använts. Därefter undersöks brandförloppen i de utrymmen dit initialbranden spridits. På detta sätt identifieras skedena i det opåverkade brandförloppet till dess att hela byggnaden är involverad i brand. Detta resulterar i ett s.k. opåverkat brandförlopp vilket redovisas i tabellen nedan.

Tid (min)	Händelse
0	Branden utbryter i lägenheten
2	Fönstret i brandrummet går sönder
4	Övertändning i brandrummet
6	Takfoten ovanför brandrummet antänds
10	Ytterligare lägenhetsfönster går sönder Vindsbrand börjar
12	Fullt utvecklad brand i hela lägenheten
20	Brand genom servicedelens yttertak
25	Brandspridning till vestibulen
30	Brandspridning även genom innertaket till vindsutrymmet Brandspridning till tennishallarna via lägenhetsvägg och vestibul Rökspridning till korridorerna
37	Tennishall 1 övertänd
40	Brandspridning till Studenthälsan
60	Brandspridning från tennishallarna till övriga Gerdahallen och Studenthälsan
70	Tennishallarna kollapsar

Sammanställning av det opåverkade händelseförloppet.

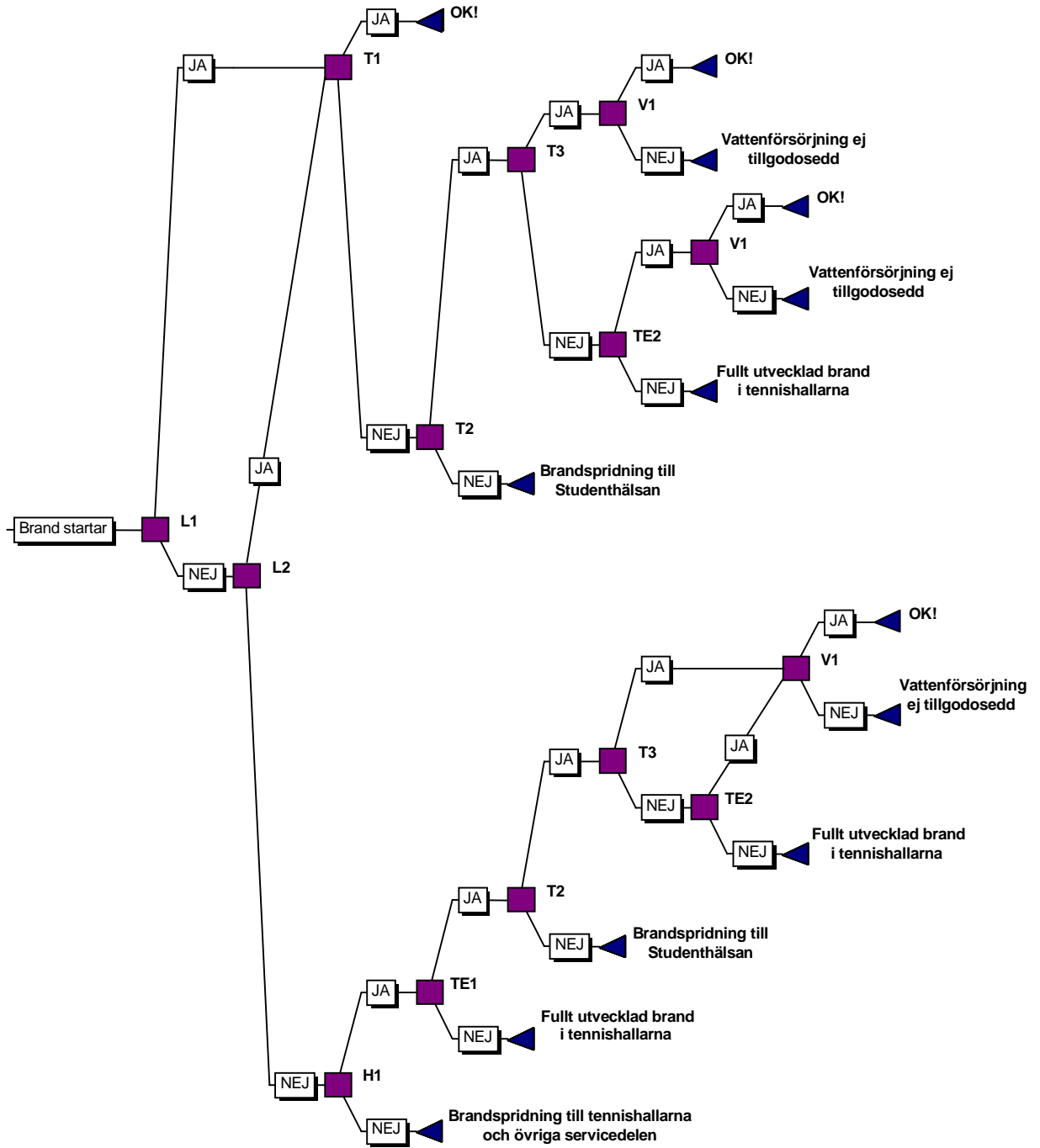
Slutligen skall effekterna av räddningstjänstens insatser bestämmas. Detta görs genom att branden delas in i skeden där varje skede är en ”isolerad” brand t.ex. brand i lägenhet, brand på vind etc. För varje skede görs sedan i princip en OBBO (Orientering, Bedömning, Beslut, Order) och de avgörande insatser som krävs för att avbryta eller begränsa skadeutvecklingen identifieras. Identifieringen av erforderliga insatser sker bland annat med hjälp av beräkningsmetoder för hur stor släckkapacitet de olika insatserna har. Dessa jämförs sedan med utvecklad brandeffekt vid de olika skedena i det opåverkade brandförloppet och tidsintervall erhålls för när de identifierade insatserna måste genomföras. De identifierade insatserna redovisas i tabellen nedan.

Beteckning	Innebörd	Personalbehov	Vattenbehov (l/min)
L1	En rökdykargrupp genomför släckinsats i lägenheten inom 11 minuter.	1+1+2 PS+RDL+RD+RD	300 + 300
L2	Två rökdykargrupper genomför släckinsats i lägenheten inom 25 minuter.	(1)+1+1+2+2 (PS)+PS+RDL+RD +RD	300+300 + 300
T1	Ventilera taket inom 15 minuter.	2-4	300
T2	Takbrand begränsad mot Studenthälsan inom 40 minuter.	2-4	300
T3	Takbrand begränsad mot tennishallarna inom 40 minuter.	2-4	300
H1	Rökdykargrupp förhindrar brandspridning till tennishallarna från lägenhet via vestibulen inom 30 minuter.	(1)+1+2 (PS)+RDL+RD+RD	300 + 300
TE1	En rökdykargrupp genomför släckinsats i tennishallarna inom 35 minuter.	(1)+1+2 (+2)* (PS)+RDL+RD+RD (+RD+RD)*	300 + 300 (+300)*
TE2	En rökdykargrupp i tennishallarna förhindrar brandspridning via service- delens takbjälklag inom 45 minuter.	(1)+1+2 (+2)* (PS)+RDL+RD+RD (+RD+RD)*	300 + 300 (+300)*
V1	Finns tillräckligt med släckvatten?	-	?

Definition av insatser för det påverkade brandförloppet. PS = pumpskötare, RDL = rökdykarledare, RD = rökdykare, * = Vid lång inträngningsväg

Arbetet med att fastställa det opåverkade brandförloppet och identifieringen av de avgörande insatserna resulterar i att ett scenario kan konstrueras. Detta sker genom att de olika delarna vävs samman till ett händelsetråd som sedan ligger till grund för spelet.

Arbetet har även resulterat i ett förslag till en generell arbetsmetod som kan användas vid framtagandet av nya scenarier till LTA. Dessa är utarbetade utifrån de erfarenheter som gjorts vid framtagandet av det aktuella scenariot och är således endast applicerbara vid spel med bränder.



Händelseträd för Scenario Gerdahallen.

Summary

The Swedish rescue school in Revinge have a LTA (fire command training centre) where Incident Commanders can be trained in planning, organising and in giving orders at a fire scene. Until now the scenarios for the LTA has been based on experience judgements.

The aim of this work is to develop a new scenario for the LTA where the judgements are based on engineering models and calculations.

The procedure to make such a scenario is made of certain steps where the first one is to find an appropriate object. The purpose of the scenario, i.e. what is the aim of training the commander, is an important fact to have in mind when choosing an object. The scenario in this report is developed at a fitness centre in Lund, which contains tennis courts, several workout facilities and an apartment. The next step is to confirm how the fire would develop and spread if no attempt is made to extinguish or stop the spread of the fire. This is made by first choosing an initial fire and thereafter simulate the fire in the computer model HAZARD and calculate the spread of the fire. In this way the fire and the spread of the fire is defined until the whole building is involved in fire. This results in a course of events for an unaffected fire.

Time (minutes)	Event
0	A fire starts in the apartment
2	The window in the fire origin compartment breaks
4	Flashover in the fire origin compartment
6	The roof above the window in the fire origin compartment ignites
10	Additional windows in the apartment breaks A fire starts in the loft
12	Fully developed fire in the whole apartment
20	The fire burns trough the roof of the apartment
25	The fire spread to the vestibule
30	The fire burns trough the ceiling to the loft The fire spread to the tennis-halls trough the wall of the apartment and by way of the vestibule Smoke spread to the corridors
37	Flashover in Tennis-hall 1
40	The fire spread to the Studenthälsan
60	The fire spread from the tennis-halls to the rest of the Gerdahallen and the Studenthälsan
70	The tennis-halls collapses

The course of events for the unaffected fire.

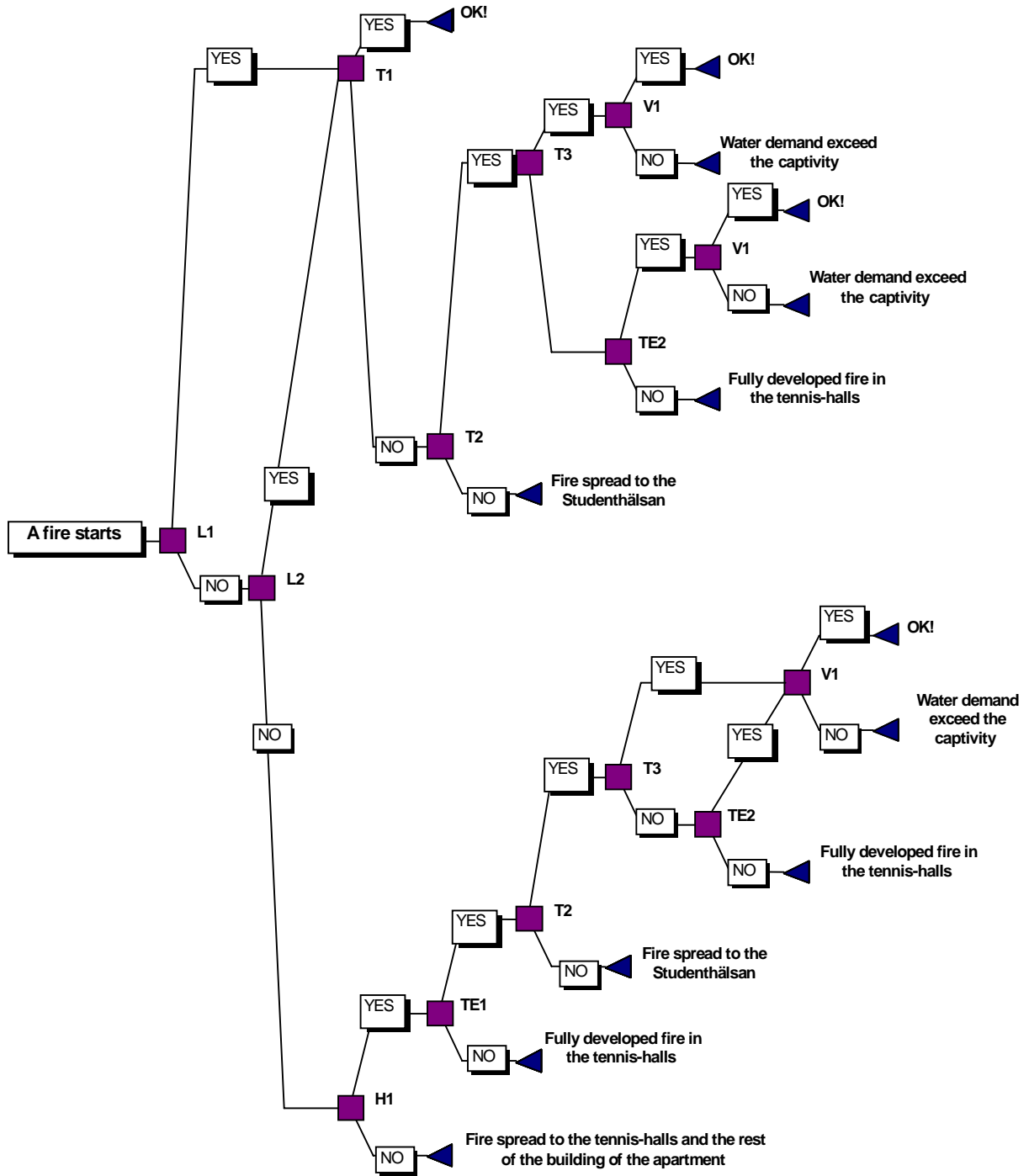
Finally the effects on the fire from the actions taken by the fire service are to be identified. The first step in this procedure is the creation of isolated fire stages for the unaffected fire, e.g. the apartment fire, the roof fire and so on. Thereafter the necessary actions to overcome or control the fire are identified for each stage. This is made by using calculation methods where the extinguish capacity of the different actions are defined and compared with the rate of heat release for the different stages. The results are time intervals where the actions must be in progress.

Denomination	Meaning	Required personnel	Water demand (l/min)
L1	Offensive attack by a BA team within the apartment in less than 11 minutes.	1+1+2 PS+RDL+RD+RD	300 + 300
L2	Offensive attack by two BA teams within the apartment in less than 25 minutes.	(1)+1+1+2+2 (PS)+PS+RDL+RD +RD	300+300 + 300
T1	Ventilate the roof in less than 15 minutes.	2-4	300
T2	Confine the fire in the roof towards the Studenthälsan in less than 40 minutes.	2-4	300
T3	Confine the fire in the roof towards the tennis-halls in less than 40 minutes.	2-4	300
H1	A BA team prevents the fire from spreading towards the tennis-halls by way of the vestibule, in less than 30 minutes.	(1)+1+2 (PS)+RDL+RD+RD	300 + 300
TE1	Offensive attack by two BA teams within the tennis-halls in less than 35 minutes.	(1)+1+2 (+2)* (PS)+RDL+RD+RD (+RD+RD)*	300 + 300 (+300)*
TE2	A BA team prevents the fire from spreading towards the tennis-halls by way of the loft, in less than 45 minutes.	(1)+1+2 (+2)* (PS)+RDL+RD+RD (+RD+RD)*	300 + 300 (+300)*
V1	Are the demands for water higher than the captivity?	-	?

*Definition of the efforts by the fire brigade for the course of events.. PS = pumppmanager, RDL = BA team commander, RD = BA team personnel, * = At complexes interior attacks*

The definition of the course of events for the unaffected fire and the identification of the necessary actions results in the creation of a scenario. The course of events for the unaffected fire and the necessary identified actions are combined into an event tree which then is the base in the simulation model for the scenario.

The work has also resulted in a proposal to a generally way to create new scenarios to the LTA. The generally way is made out of the experiences in this work and is therefore only applicable in the work with fires.



Event tree for the scenario

1. INLEDNING	1
2. RÄDDNINGSTAKTIK	3
2.1 TAKTISK HUVUDINRIKTNING	3
2.2 TAKTISKA GRUNDINRIKTNINGAR	3
2.3 KRAV PÅ RÄDDNINGSLIDAREN	4
3. SIMULATORER	9
3.1 SIMULERINGSTRÄNING	9
3.2 SIMULERINGSMODELLER	10
4. GENERELL MODELL FÖR FRAMTAGANDE AV SCENARIER	13
4.1 SYFTE	13
4.2 FÖRUTSÄTTNINGAR	13
4.3 ANTAGANDEN	13
4.4 BEGRÄNSNINGAR	13
4.5 METOD	13
5. SCENARIOFRAMTAGANDE GERDAHALLEN	17
5.1 FÖRUTSÄTTNINGAR	17
5.2 ANTAGANDEN	17
5.3 BEGRÄNSNINGAR	17
5.4 OBJEKTBSKRIVNING	18
5.5 DET OPÅVERKADE BRANDFÖRLOPPET	20
5.6 DET PÅVERKADE BRANDFÖRLOPPET	29
6. SPEL GERDAHALLEN	33
6.1 INSATSER	33
6.2 HÄNDELSETRÄD	35
7. DISKUSSION	37
REFERENSER	39
BILAGA 1. BRAND I LÄGENHETEN	43
BILAGA 2. BRANDSPRIDNING TILL TAKFOT OCH YTTERVÄGG	49
BILAGA 3. YTFLAMSPRIDNING	55
BILAGA 4. BRAND I VESTIBULEN	65
BILAGA 5. BRAND I TENNISHALLARNA	69
BILAGA 6. TABELLER	75
6.1 TABELL ÖVER SLÄCKKAPACITET	75
6.2 OLIKA DELKOMPONENTERS BIDRAG TILL BRANDMOTSTÅNDET	76
6.3 MATERIALDATA	77
BILAGA 7. INSATSPLAN	81

1. Inledning

Denna rapport ingår som obligatoriskt moment i kursen Problembaserad brandteknisk riskvärdering som ges av Institutionen för brandteknik, LTH. Syftet med kursen är att teknologerna skall visa förmågan att tillämpa de kunskaper och färdigheter som förvärvats under utbildningen och att självständigt analysera och redovisa en relativt omfattande uppgift på ett vetenskapligt metodiskt sätt.

På räddningsskolan i Revinge finns en ledningsträningsanläggning (LTA), där brandingenjörer, brandmästare och övriga personer med ledningsfunktioner kan övas i t.ex. beslutsfattning, taktik samt ordergivning vid räddningsinsatser. I dagsläget är scenarierna i spelen baserade på erfarenhetsmässiga bedömningar och saknar vetenskaplig grund.

Syftet med arbetet är att ta fram ett spel där händelseförloppet i scenariot bygger på ingenjörsmässiga modeller och beräkningar. Arbetet syftar också till att framställa en generell metod för utvecklandet av nya scenarier till LTA.

Rapportens inledande del behandlar räddningstaktik och därefter beskrivs hur simuleringsmodeller kan användas för träning av olika funktioner. Den inledande delen syftar till att ge en bakgrund till hur scenariot och den generella modellen tagits fram samt förklara några av de begrepp som används i rapporten. Därefter redovisas den generella modellen och slutligen presenteras det framtagna scenariot som ligger till grund för spelet vid LTA.

Vid identifiering av de insatser som krävs för att begränsa eller bryta händelseutvecklingen har först läget i den aktuella situationen och därefter den fortsatta skadeutvecklingen undersökts. Sedan har de insatser som bedömts som nödvändiga identifierats. De insatser som *ej* begränsar eller bryter händelseutvecklingen har således inte studerats och detta är en av begränsningarna i arbetet. Ytterligare en är begränsningarna som dagens datormodeller är behäftade med och de antaganden som måste göras vid konstruktionen av effektkurvor.

2. Räddningstaktik

Räddningstaktik är hur arbetet på en skadeplats utformas så att ett så bra insatsresultat som möjligt nås. Vid utformningen skall hänsyn tas till syftet med räddningstjänst, skadans art och tillgången på resurser.

Med utformning menas bland annat att identifiera räddningsproblem, formulera mål, förutse händelseutvecklingen och samordna räddningsinsatsen. Kraven på taktisk utformning kan vara mer eller mindre stora och agerandet kan vara del- eller helhetsinriktat beroende på den aktuella situationen.

2.1 Taktisk huvudinriktning

Räddningstjänstens verksamhet grundar sig på räddningstjänstlagstiftningen, d.v.s. räddningstjänstlagen och räddningstjänstförordningen. I lagens 2 § klargörs vad som menas med räddningstjänst:

2 § Med räddningstjänst avses i lagen de räddningsinsatser som staten eller kommunerna skall svara för vid olyckshändelser och överhängande fara för olyckshändelser för att hindra och begränsa skador på människor eller egendom eller i miljön./1/

Räddningstjänstlagen uttrycker att räddningsinsatsen skall syfta till att rädda människor, egendom eller miljö, antingen genom att hindra att skador uppstår eller att begränsa redan uppkomna skador. Här ligger de taktiska huvudinriktningarna vilken den i allt övergripande inriktningen är att rädda människoliv för att därefter begränsa skador på egendom eller miljö.

Det är alltid den presumtive räddningsledaren som måste avgöra om en situation är att betrakta som räddningstjänst eller inte och i det flesta fall går det med lagtexten som grund avgöra det. I vissa situationer är det dock inte lika självklart hur definitionen ska göras.

2.2 Taktiska grundinriktningar

Ur de taktiska huvudinriktningarna kan taktiska grundinriktningar, TGI, härledas /2/. Dessa kan på ett konkret sätt användas vid utformningen av en räddningsinsats. De utgörs av fyra olika inriktningar som var och en kan kopplas till en huvudinriktning. Dessa grundinriktningar kan, var för sig eller flera tillsammans, utgöra måldelen i ett beslut i stort, BIS. De måste då kompletteras med anvisningar om hur den taktiska grundinriktningen skall följas.

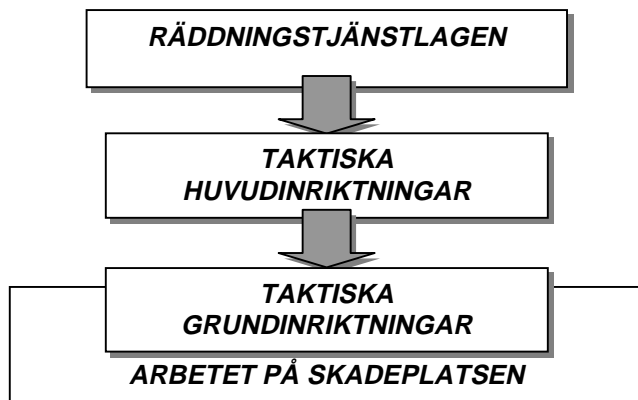
Att arbeta inom ramen för en taktisk grundinriktning ger möjligheter för alla agerande att förstå helheten. Att efteråt betrakta och analysera en insats utifrån en taktisk grundinriktning ger möjlighet till både förståelse och utveckling.

Taktisk huvudinriktning

- Rädda människor
- Rädda egendom/miljö

Taktisk grundinriktning

- Rädda människor
- Tillintetgöra skadekällan
- Begränsa skadeutbredningen
- Fördröja skadeutbredningen



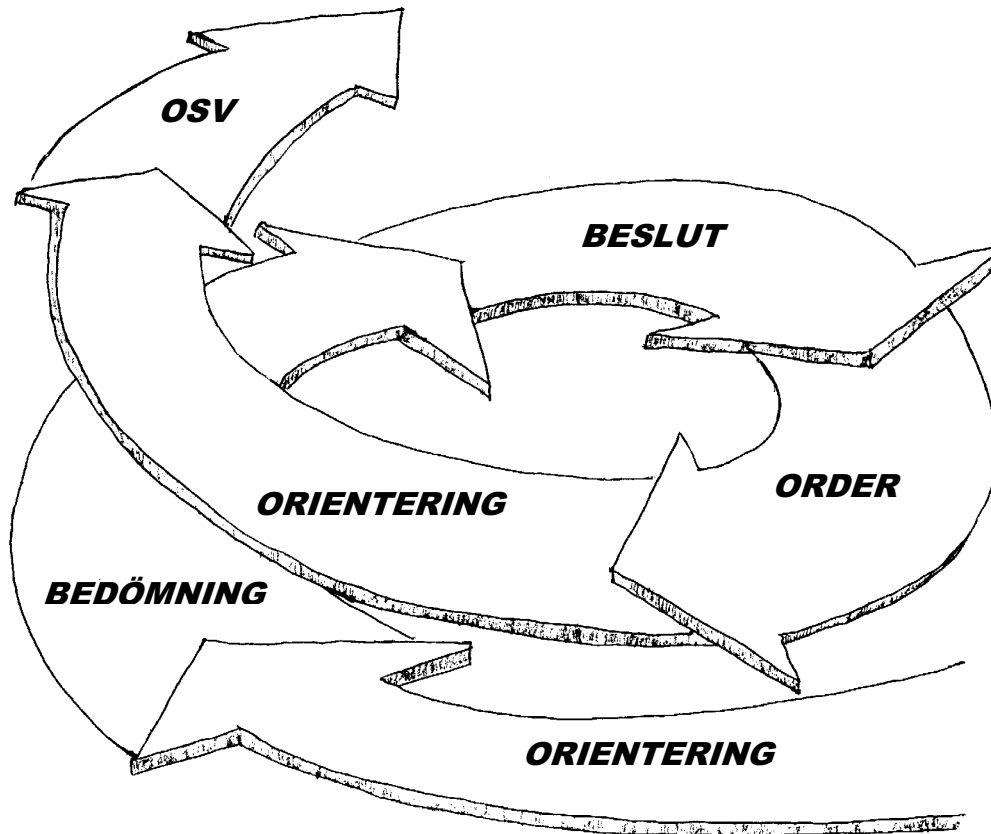
2.3 Krav på räddningsledaren

I räddningstjänstlagstiftningen finns krav på hur räddningstjänsten skall bedriva sin operativa verksamhet:

31 § Vid varje räddningsinsats skall det finnas en räddningsledare./1/

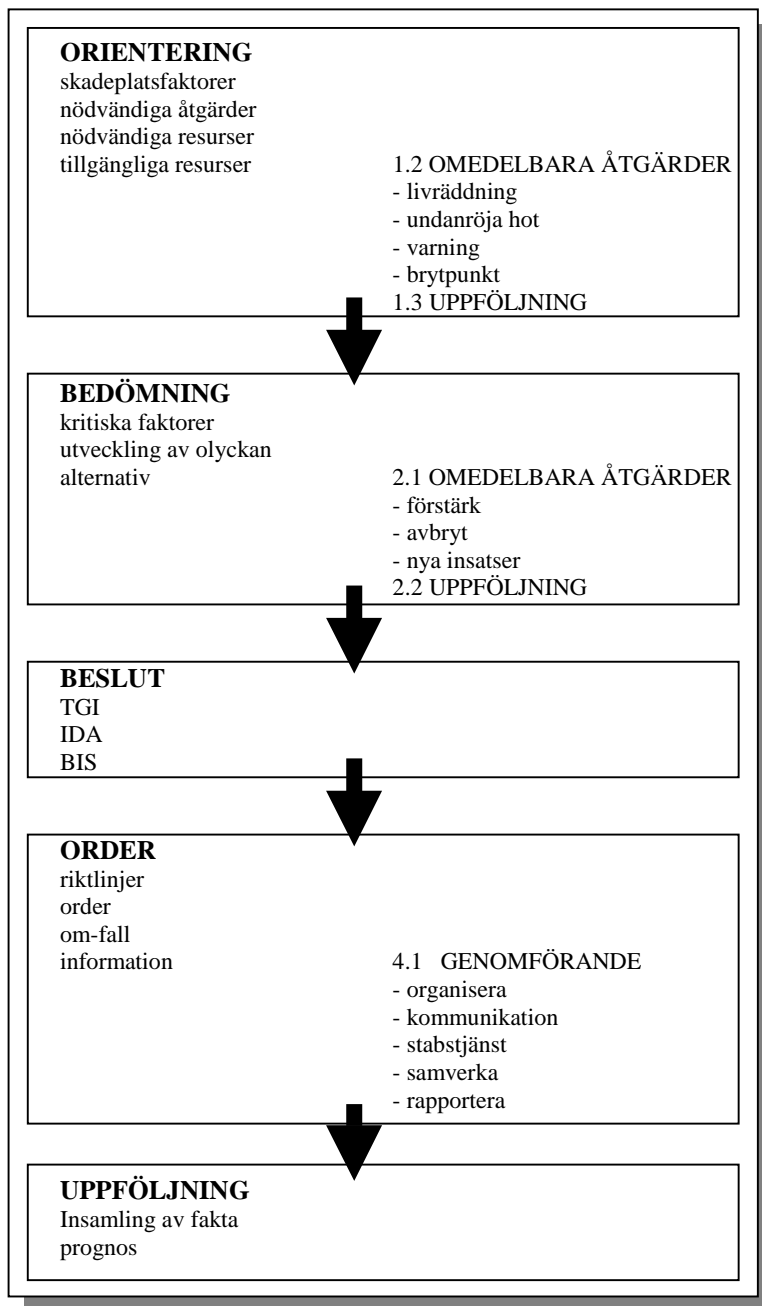
I lagen ställs krav på att det för varje insats skall finnas en räddningsledare vars roll, befogenheter och skyldigheter också regleras i lagstiftningen. Räddningsledarens ansvar och stora befogenheter ställer höga krav på duglighet på honom eller henne. Räddningsledaren måste ha kunskaper om skadans art och vilka lag- och avtalsmässiga grunder som finns samt vad som är verksamhetens mål. Han eller hon måste också känna till de egna resursernas förmåga samt ha ett tekniskt kunnande för att kunna avgöra vilka insatser som är möjliga att genomföra. En stor portion självinsikt och kunskaper om hur andra reagerar samt förmågan till ledning och samordning är också förutsättningar för att genomföra en lyckad insats /2/.

Innan en insats genomförs måste räddningsledaren värdera den aktuella situationen utifrån sina egna erfarenheter och kunskaper. Därefter skall han eller hon utifrån syftet med räddningstjänst och hänsyn taget till tillgängliga resurser och skadans art bestämma sig för en taktisk utformning av insatsen. Detta beslut måste vara resultatet av en medveten, dynamisk process så att resultatet av vidtagna åtgärder kontinuerligt kan värderas och utformningen av insatsen vid behov kan ändras.



Figur 2.1: Beslutsprocessen /2/

Som stöd i beslutsprocessen kan en bedömandemall användas. Syftet med en mall är dels för inläring, dels för användning i komplicerade och ovanliga situationer där erfarenhet och kunskaper saknas hos dem som skall fatta beslut. En mall kan naturligtvis även användas som stöd i enklare akuta situationer. Nedan följer ett exempel på en fickmodell avsedd som bedömandemall vid akuta situationer /2/.



Figur 2.2: Bedömandemall för räddningstjänstsituationer /2/

I korthet beskriver punkterna följande:

Orientering: Avser att räddningsledaren i inledningen av olyckan måste förstå vilka skadeplatsfaktorer som är aktuella, t.ex. fara för personer, skadans art och omfattning, objektet i sig, omgivningen, tillgängliga resurser nu och senare. Sedan måste räddningsledaren skapa sig en uppfattning om behovet av räddningsåtgärder och vilka krav på resurser det ställer. Det kan innebära att omedelbara åtgärder som t.ex. livräddning måste vidtagas.

Bedömning: Här skall det som framkom under orienteringen behandlas. Inledningsvis skall avgöras vilka av skadeplatsfaktorerna som är kritiska, d.v.s. avgörande för vilka beslut som

skall fattas. Därefter bedöms skadeutvecklingen och slutligen skall olika alternativ bedömas och värderas. Det kan även i denna fas leda till beslut om omedelbara åtgärder, t.ex. att en tidigare påbörjad insats förstärks eller avbryts.

Beslut: Denna fas inleds med att räddningsledaren gör ett val av taktisk grundinriktning, TGI, med de tidigare dragna slutsatserna som grund. Detta beskriver *vad* som skall uppnås. Därefter skall beslut tas om *hur* målet skall uppnås vilket kan göras i tre steg, I, D, A: Inledningsvis skall..., Därefter skall..., Avslutningsvis skall...
TGI och IDA leder fram till ett beslut i stort, BIS, som dels skall uttrycka vad som skall uppnås med insatsen och dels hur detta skall ske.

Order: Här skall på ett klart och entydigt sätt beskrivas för räddningsstyrkorna hur insatsen skall genomföras. Detta kan göras med målstyrning vilket innebär riktlinjer för genomförandet eller med direktstyrning där order beskriver genomförandet.

Uppföljning: Direkt när BIS, order eller omedelbara åtgärder är vidtagna skall uppföljningen påbörjas. Syftet är att kunna förutse händelseförloppet så att eventuella åtgärder lättare kan vidtagas.

En räddningsinsats är en komplicerad process där en väsentlig del i utformningen består i att hantera en mängd intryck och omsätta dessa i någon form av mål eller beslut. Besluten ligger sedan till grund för hur det konkreta räddningsarbetet skall bedrivas. Ofta finns det inte tid att göra ett genomarbetat BIS. I de fallen är det i oftast bättre med en omedelbar åtgärd men även en sådan åtgärd kräver att räddningsledaren har gått igenom sin ”mentala” bedömandemall.

3. Simulatorer

Syftet med följande avsnitt är att beskriva hur simuleringsmodeller kan användas för träning av olika funktioner. I avsnittet beskrivs även den pedagogiska idén med användandet av simuleringar i utbildningen och exempel på kriterier som kan nyttjas för att utvärdera metodens lämplighet.

3.1 Simuleringsträning

I interagerandet mellan en elev och en simulator sker en simulering, det vill säga en efterlikning av en situation eller ett förlopp. Denna efterlikning möjliggör för eleven att få erfarenheter av en miljö eller situation utan att verkligen uppleva den. Den pedagogiska idén med utbildning som genomförs med hjälp av simuleringar och spel kan således säga vara detsamma som erfarenhetsbaserat lärande.

Att träna på situationer i verkligheten torde vara det bästa sättet att lära sig på, detta har dock samtidigt tre betydande nackdelar ur pedagogisk synpunkt. Dels finns det situationer som sällan uppkommer i verkligheten och som man genom simuleringar kan lära sig att hantera. Många av dessa verkliga situationer är samtidigt förknippade med stora faror och ett misslyckande skulle få ödesdigra konsekvenser. En annan nackdel är de stora kostnader som det innebär att träna på verkliga objekt. Dessa tre nackdelar: låg frekvens, fara samt höga kostnader gör det motiverat att använda simuleringar för att skapa en bild av verkligheten. Här kan eleven träna till relativt låga kostnader utan att riskera livet, om och om igen på situationer som sällan uppstår i verkligheten. En annan stor fördel med att använda simulatorer är att man kan backa händelseförloppet för att se var det gick fel och sedan träna samma moment igen men med ett nytt beteende.

En nackdel med simulatorer är att man endast kan öva på det som är känt. Okända eller otänkbara olyckor kan vi ju inte tänka oss och därför kan vi ej heller göra spel till eller spela med dem. En risk med detta är att eleven luras in i det välkända och att man missar det okända /3/.

För att utvärdera huruvida en given simulering är en lämplig metod för att uppnå det önskade resultatet föreslås ibland annat /4/ att man använder sig av de inom forskning vanliga kriterierna validitet, reliabilitet och användbarhet.

Validitet står för realism på olika plan. Detta betyder att realism måste uppnås vad gäller regler, roller, interagerande, mål etc. Detta uppnås genom att den övade kan se likheterna med verkligheten i det som övas, t.ex. med verklighetstroga bilder i spelet, en organisation som är lik verkligheten och kommunikationsvägar som är verklighetstroga.

Med reliabilitet avses tillförlitlighet med avseende på reproducerbarhet. En simulering bör vara möjlig att återupprepa, och i någon mån kunna förutsägas. Detta kan uppnås genom att ta fram en modell för hur simuleringar skall skapas samtidigt som dessa efterliknar verkligheten i möjligaste mån. Detta är ett av syftena med arbetet i denna rapport.

Slutligen måste användbarheten uppskattas i någon sorts kostnad/nytta analys där kostnaderna jämförs med vilka resultat som kan uppnås kontra andra utbildningsmetoder.

3.2 Simuleringsmodeller

I rapporten *Utbildningssimulatorer för räddningstjänst /5/* indelas en insats eller flera insatser i olika funktioner i olika nivåer. En funktion ses som en form av verksamhet som gagnar syftet med insatsen eller insatserna. Dessa verksamheter ses i olika nivåer som är integrerade i varandra. Fyra funktionsområden urskiljs. De är strategiska, taktiska och tekniska funktioner samt hanterandet av tekniska system. Alla dessa verksamheter styrs av den övergripande doktrinen att i första hand rädda liv och därefter egendom och miljö (se kapitel 2.2 *Taktiska grundinriktningar*).

- Med strategisk funktion menas ledning av insatser på flera skadeplatser eller ledning av arbetet på en mycket stor skadeplats, t.ex. snöoväder, översvämning på stora ytor eller en bombad stad. Konkret kan det som exempel innebära att länsstyrelse eller civilförsvaret leder insatser.
- Taktiska funktioner innebär att utifrån en analys av situationen och tillgängliga resurser kunna forma ett handlingsmönster för att hantera den just nu konkreta situationen. Räddningsledarens uppgifter är typiska taktiska situationer.
- Med tekniska funktioner menas sådant som man brukar benämna med brandsläckningens teknik eller räddningsteknik. Detta innebär att bete sig enligt vissa mönster som är adekvata i förhållande till uppgiftens krav. Exempel på tekniska funktioner är rökdykning, stegresning, pump till öppet vatten o.s.v.
- Med att hantera tekniska system menas att ha färdighet i att hantera den utrustning som finns. Denna utgörs av olika tekniska system, t.ex. en motorsåg eller en maskinstege.

De ovan nämnda funktionerna kan tränas i olika simuleringsystem. Den funktion som är avsedd att tränas med modellen framtagen i denna rapport är den taktiska funktionen där syftet med simuleringssträningen är att ge grundutbildning för att kunna agera som räddningsledare på sådant sätt att grundläggande och accepterade taktiska mönster utgör basen i agerandet.

I rapporten *Utbildningssimulatorer för räddningstjänst /5/* delas simuleringsprogrammen upp efter sina olika "logiker". Dessa utgör det mönster efter vilket ett simulerat förlopp framspelas eller kan framspelas. Här talas det också om öppna och slutna problem där ett slutet problem är ett problem där man i huvudsak kan definiera en riktig eller flera riktiga lösningar. Med öppet problem menas ett problem där man i förväg inte klart kan definiera den eller de rätta lösningarna. Det finns dock ingen skarp gräns mellan dessa båda problemtyper.

I en modell som benämns *Förgrenad framspelningslogik för slutna modeller /5/* avgör elevsvaren vilken information som skall presenteras härnäst. Alla förgreningsalternativen är i förväg inprogrammerade och framspelningslogiken återspeglar en verklighetsmodell över ett slutet problem, d.v.s. ett skeende där man i förväg kan identifiera de rätta agerandena. Eleven kan sedan ges feedback på i vilken utsträckning han/hon gör rätt. Ett typexempel inom denna kategori är kärnkraftsindustrins simuleringar av olyckor i kärnkraftverk. Operatörerna presenteras olika typer av missöden, som framträder på paneler i kontrollrummet. Operatörerna får agera och genom de rätta agerandena lär de sig behärska situationerna.

I modellen *Förgrenad framspelningslogik för öppna modeller /5/* är skillnaden mot den förra kategorin att det inte i förväg går att definiera de rätta agerandena. Alla förgreningsalternativ är i förväg inprogrammerade och återspeglar således en i förväg definierad modell av ett verkligt skeende. När eleven agerar får han/hon feedback på vilken betydelse hans eller hennes agerande hade för det skeende som kommer härnäst.

För att kunna träna den taktiska funktionen så bra som möjligt har i detta arbete en modell använts där simuleringssystemet utgörs av en kombination av lärar- och programbaserad. Lärarna är de överordnat styrande och styr skeendet i förhållande till ett öppet problem. Alla förgreningsalternativ som leder till en lyckad insats är i förväg inprogrammerade som för ett slutet problem men läraren styr händelseutvecklingen med hjälp av mallar där de insatser som krävs för att nå ett lyckat slutresultat finns definierade, här kan även lärarens egna bedömningar av vilka insatser som lyckas eller ej komma att styra händelseutvecklingen. Detta gör att modellen kommer att vara en kombination av *Förgrenad framspelningslogik för slutna modeller* och *Förgrenad framspelningslogik för öppna modeller*.

4. Generell modell för framtagande av scenarier

4.1 Syfte

Det första som måste göras vid konstruerandet av ett scenario är att ta reda på vilket syfte som skall uppnås med träningen i simulatoren, samtidigt med detta bör frågan ställas om simulatorträning är det bästa och mest kostnadseffektiva sätt att träna detta på. Syftena med simulatorträningen kan vara många, skall träningen bestå av att lösa strategiska, taktiska och tekniska problem eller hanterandet av tekniska system? (se kapitel 3.1 *Simuleringsmodeller*). Vilka moment i t.ex. de taktiska problemen skall tränas? OBBO, ledning, taktiska prioriteringar, taktiska grundmönster, kemikalieolyckor etc. Detta är frågor som måste besvaras innan arbetet med att ta fram nya spel påbörjas.

4.2 Förutsättningar

Innan konstruktionen av ett scenario kan börja måste konstruktören sätta sig in i problemet och ange förutsättningarna för spelet. Dessa kan t.ex. vara hur stor styrka från räddningstjänsten som kommer till platsen eller om personer befinner sig kvar i byggnaden eller ej. Vissa av förutsättningarna kan sedan varieras utifrån vilket syfte som vill uppnås med spelet eller för att variera situationerna och svårighetsgraden.

4.3 Antaganden

Vid konstruktionen av spelet måste under hela arbetsgången en mängd antaganden göras för alla de parametrar som är okända t.ex. vilka dörrar som är öppna, var branden startar, vid vilken temperatur som övertändning sker eller vid vilken temperatur som fönsterrutor går sönder. Detta bör hela tiden göras utifrån vad som är realistiskt och vad som kan ge ett intressant händelseförlopp i spelet.

4.4 Begränsningar

Det ligger en mängd begränsningar i dagens metoder att försöka konstruera ett brandförlopp som liknar verkligheten, bl.a. de begränsningar som dagens datormodeller är behäftade med och de antaganden som måste göras vid konstruktionen av effektkurvor. Dessa begränsningar är svåra att förutsäga eftersom de beror på vilka beräkningsmetoder och datormodeller som används. Det som bör vara ledstjärnan vid framtagandet av nya scenarier är dock att de personer som arbetar med framtagandet av de nya scenarierna skall vara väl förtrogna med de använda modellernas giltighet. Förutsättningar för spelet får väljas utifrån det syfte som skall uppnås och kan även varieras beroende på vilka variationer som man vill erhålla i spelet.

4.5 Metod

I detta stycke följer ett förslag till generell arbetsmetod som kan användas vid framtagandet av nya scenarier till LTA. Dessa är utarbetade utifrån de erfarenheter som gjorts vid framtagandet av *Scenario Gerdahallen* (se kapitel 5) och är således endast applicerbara vid spel med bränder, för t.ex. kemikalieolyckor bör andra arbetsmetoder utarbetas.

Metoden bygger på att det opåverkade brandförloppet först identifieras, d.v.s. vad skulle hända om branden fick pågå utan yttre påverkan. Efter det att det opåverkade brandförloppet identifierats skall de insatsmöjligheter som räddningstjänsten har identifieras och inverkan av

dessa på brandförloppet analyseras. De insatser som bryter eller begränsar händelseförloppet bestäms och dessa ligger sedan till grund för det påverkade brandförloppet. I slutänden vävs det opåverkade händelseförloppet och räddningstjänstens insatser ihop till ett händelsetråd och spel.

Steg 1. Inledande undersökningar

I ett första skede skall ett lämpligt objekt hittas. Det viktiga i detta steg är att ta reda på syftet med simuleringen enligt ovan, med andra ord vad som skall tränas osv. I nästa steg skall ett lämpligt objekt identifieras utifrån de syften som scenariot har, här kan egna idéer, kontakter med räddningstjänster m.m. vara lämpligt samt platsbesök på de olika objekt som kan tänkas vara lämpliga.

När ett lämpligt objekt har identifierats så bör ett platsbesök med noggrann platsundersökning ske, här skall möjliga brandspridningsvägar, konstruktion, material, brandbelastning i samtliga utrymmen, geometrier m.m. dokumenteras. Ritningsunderlag i form av planritningar, konstruktionsritningar samt ventilationsritningar bör också införskaffas.

Steg 2. Val av initialbrand

Efter genomgång av byggnaden skall en lämplig initialbrand bestämmas då en sammanlänkning med syftet sker. Ett antal olika lämpliga initialbränder identifieras och en grovanalys utförs på vad de olika brandförloppen kan få för konsekvenser. Därefter bestäms initialbranden i det eller de scenarier som skall ligga till grund för spelet.

Steg 3. Inledande brandförlopp

I detta steg skall initialbrandens förlopp bestämmas. Detta görs genom att först konstruera en effektkurva utifrån brandbelastningen i det aktuella rummet samt identifiera de aktuella öppningar mot omgivande utrymmen och ut till det fria. Därefter simuleras branden i lämpligt brandsimuleringsprogram t.ex. CFAST. Som utdata erhålls effektutveckling i rummet, tid till rökfyllnad av rummet och intilliggande utrymmen samt tid till övertändning mm. Därefter skall även brandspridningen till de rum i direkt anslutning till initialbrandrummet bestämmas (de rum med öppna förbindelser till initialbrandrummet). Detta görs genom att använda ett brandsimuleringsprogram som klarar att simulera brandspridning mellan olika rum alternativt bränder i flera rum samtidigt, eller i CFAST enligt modellen beskriven i Bilaga 1.

Steg 4. Brandspridning genom fönster

När branden i initialbrandrummet och de rum med öppna förbindelser till detta har bestämts skall brandspridningen genom öppningar ut till det fria kontrolleras. Brandspridning från fönster och andra öppningar ut till det fria kontrolleras genom att flammornas storlek ut genom dessa bestäms (se Bilaga 2) och strålningen från flammorna till intilliggande byggnadsdelar kontrolleras (se Bilaga 2). Om strålningen överstiger vad som krävs för att antända det aktuella materialet antas spridning ske även denna väg.

Steg 5. Brandspridningsvägar

Från det tänkta brandrummet skall övriga brandspridnings- och rökspridningsvägar till intilliggande utrymmen identifieras samt tider till genombrinning av omslutande ytor bestämmas. Tiden till genombrinning kan bedömas dels genom att schabloner för olika

material används (se Tabell 6.2 i Bilaga 6) eller om det är en brandtekniskt klassad vägg genom att väggen antas stå emot branden i avsedda antal minuter.

Steg 6. Brandförlopp i intilliggande utrymmen

I detta steg skall brandförloppen i de intilliggande utrymmena eller byggnaderna undersökas vilket t.ex. görs genom att titta på rökfyllnaden och temperaturökningen från branden i initialbrandrummet. Strålningsberäkningar och temperaturökningen visar när materialen i dessa rum antänds och effektkurvor kan konstrueras utifrån vilka material som finns i rummen. Om väggar och tak är av brännbart material kan flamspridningen på dessa ytor bestämmas enligt metoden i Bilaga 3. Ytflamspridning och effektkurvor erhålles ur dessa beräkningar. Effektkurvorna ligger sedan till grund för nya brandsimuleringar med t.ex. CFAST då effektutveckling och tid till övertändning m.m. bestäms.

Steg 7. Brandspridningsvägar och brandförlopp

Brandspridningen och brandförloppen bestäms enligt stegen 5 – 6 ovan till dess att en totalskada kan antas inträffa.

Steg 8. Kontroll av kollaps

Tid till kollaps av byggnaden kontrolleras. Bärande väggar antas stå emot branden i avsedda antal minuter. Bärande pelares tid till kollaps kontrolleras med hjälp av temperatur – tid kurvor som grund t.ex. enligt modell i /6/ eller vid trästomme den tid det tar för genombrining av $\frac{1}{4}$ av bredden alternativt höjden av tvärsnittsytan på trästommen /7/.

Steg 9. Det opåverkade brandförloppet

Det opåverkade brandförloppet summeras till en beskrivning av ett händelseförlopp där tider till brandspridning m.m. redovisas.

Steg 10. Identifiering av insatser

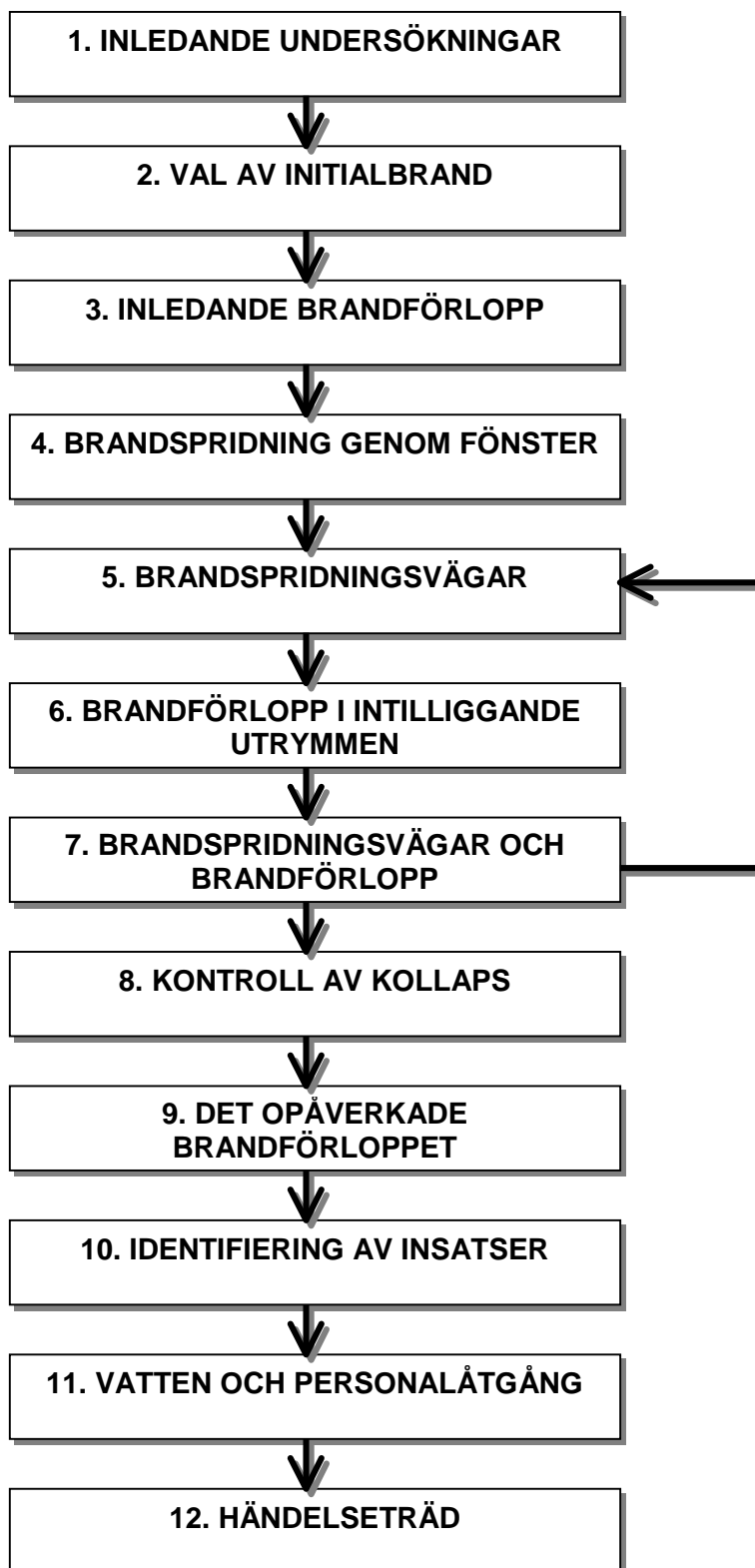
Effekterna av räddningstjänstens insatser bestäms. Detta görs genom att branden delas in i skeden där varje skede är en ”isolerad” brand t.ex. brand i lägenhet, brand på vind, brand på våningsplan 2. För varje skede görs sedan i princip en OBBO och de avgörande insatser som krävs för att avbryta eller begränsa skadeutvecklingen identifieras. Detta görs genom att jämföra effektutvecklingen från branden med effekten av de insatta åtgärderna. Till detta används med fördel schablonvärden för släckkapaciteten enligt /8/ som redovisas i tabell 6.1 i Bilaga 6. Släckkapaciteten för de insatta åtgärderna måste överstiga den uppnådda brandeffekten för att insatsen skall betraktas som lyckad. I detta steg bestäms även vilka resurser de identifierade insatserna kräver. För exempel se kapitel 5.6 *Det påverkade brandförloppet* samt kapitel 6.1 *Insatser*.

Steg 11. Vatten och personalåtgång

De avgörande insatserna är identifierade och vilka resurser som åtgår för de enskilda insatserna har bestämts. I detta steg skall den totala tillgången på personal och övriga resurser samt vilken vattentillgång som finns bestämmas.

Steg 12. Händelsetråd

Det opåverkade brandförloppet från steg 9 och de identifierade insatserna vävs samman i ett händelsetråd som ligger till grund för spelet.



Figur 4.1: Beskrivning av den generella metoden.

5. Scenarioframtagande Gerdahallen

I detta kapitel presenteras först de förutsättningar som legat till grund för arbetet. Därefter redovisas metodiken och resultatet av arbetet med att ta fram det opåverkade brandförloppet. Slutligen beskrivs hur händelseförloppet kan påverkas och vilka typer av insatser som krävs för att avbryta eller begränsa skadeutvecklingen.

5.1 Förutsättningar

Målet är att försöka skapa en bild av ett brandförlopp i en byggnad, hur branden kommer att sprida sig och vilka effekter räddningstjänstens insatser kommer att få på detta brandförlopp.

Räddningsstyrkan som skall genomföra insatserna motsvaras av styrkan vid Lunds brandförsvår (8+1+1 samt vakthavande brandingenjör). Brandförloppet och räddningstjänstens insatser skall sedan ligga till grund för ett scenario vid ledningsträningsanläggningen på räddningsverkets skola i Revinge. Scenariot skall vara dynamiskt, d.v.s. ge olika utfall beroende på vilka beslut som eleven tar och leda till nya lägen.

Valet av indata och förutsättningar i simuleringarna får stor betydelse för det fortsatta händelseförloppet. Då syftet har varit att ta fram ett möjligt händelseförlopp har en känslighetsanalys endast gjorts för att se om små variationer i indata ger stora variationer i resultatet och inte för att undersöka alla tänkbara förutsättnings inverkan på händelseförloppet. Således ger det framtagna scenariot *en* möjlig bild av ett brandförlopp.

5.2 Antaganden

En simulering av ett brandförlopp kräver att ett flertal antaganden görs. De grundläggande antaganden som gjorts i arbetet är att branden startar i sovrummet, samtliga dörrar i lägenheten är öppna, de avskiljande väggarna håller det antal minuter som den brandtekniska klassen anger innan rök och brandspridning sker samt att övertändning inträffar då temperaturen når 500-600°C. Till detta kommer också de antaganden som gjorts i varje delmoment vilka redovisas i de olika avsnitten samt under respektive beräkningsmodell i bilagorna.

5.3 Begränsningar

För att en modellering av ett verkligt brandförlopp skall vara möjlig måste en mängd antaganden och begränsningar göras. Nedan presenteras de övergripande begränsningar som har gjorts i detta arbete, En viktig begränsning som dock gäller hela arbetet är de begränsningar som ligger i dator- och beräkningsmodellernas giltighet.

Vid identifiering av de insatser som krävs för att begränsa eller bryta händelseutvecklingen har först läget i den aktuella situationen och därefter den fortsatta skadeutvecklingen undersökts. Sedan har de insatser som bedömts som nödvändiga identifierats (se kapitel 5.6 *Det påverkade brandförloppet* samt kapitel 6.1 *Insatser*). De insatser som *ej* begränsar eller bryter händelseutvecklingen har således inte studerats och detta är en av begränsningarna i arbetet.

En annan begränsning som gjorts är att endast titta på brandförloppet fram till dess att hela tennishallen är övertänd. När branden har gått så långt att hela tennishallen brinner (golvarea på cirka 1500 m²) bedöms ej resterande byggnader gå att rädda eftersom de ligger i direkt anslutning till tennishallarna samt att möjligheter till att upprätta en fungerande begränsningslinje ej bedöms som möjlig. Dessutom kommer den helt övertända tennishallen utveckla en väldigt hög effekt, detta leder till ett mycket snabbt brandförlopp med häftiga luftströmningar som är mycket svåra att förutsäga.

Detta tillsammans med att andra byggnader ligger i direkt anslutning till tennishallen gör att det med ingenjörsmässiga metoder är mycket svårt att förutsäga händelseutvecklingen med ett verklighetstroget resultat.

När det gäller val av simuleringsmodell för brandförloppet så har ingen jämförelse gjorts beträffande olika simuleringsmetoders giltighet och begränsningar. Den datormodell som har använts är CFAST som ingår i Hazardpaketet. Begränsningar i CFAST är t.ex. att modellen endast är giltig fram till övertändning och att det inte går att simulera brandspridning mellan rum. Dessa begränsningar finns närmare beskrivna i respektive bilaga.

Det brandförlopp och den modell som har använts är endast giltigt för en brand med beskrivna förutsättningar på Gerdahallen. En lokal med liknande geometri men med t.ex. annat ytskikt kan få ett helt annat brandförlopp och rökfyllnadstid. Ett mer generellt sätt att ta fram scenarier på har beskrivits tidigare i kapitel 4. *Generell modell för framtagande av scenarier.*

En simulering av ett brandförlopp kräver att ett flertal antaganden görs. De grundläggande antaganden som gjorts i arbetet är att branden startar i sovrummet, samtliga dörrar i lägenheten är öppna, de avskiljande väggarna håller det antal minuter som den brandtekniska klassen anger innan rök och brandspridning sker samt att övertändning inträffar då temperaturen når 500-600°C.

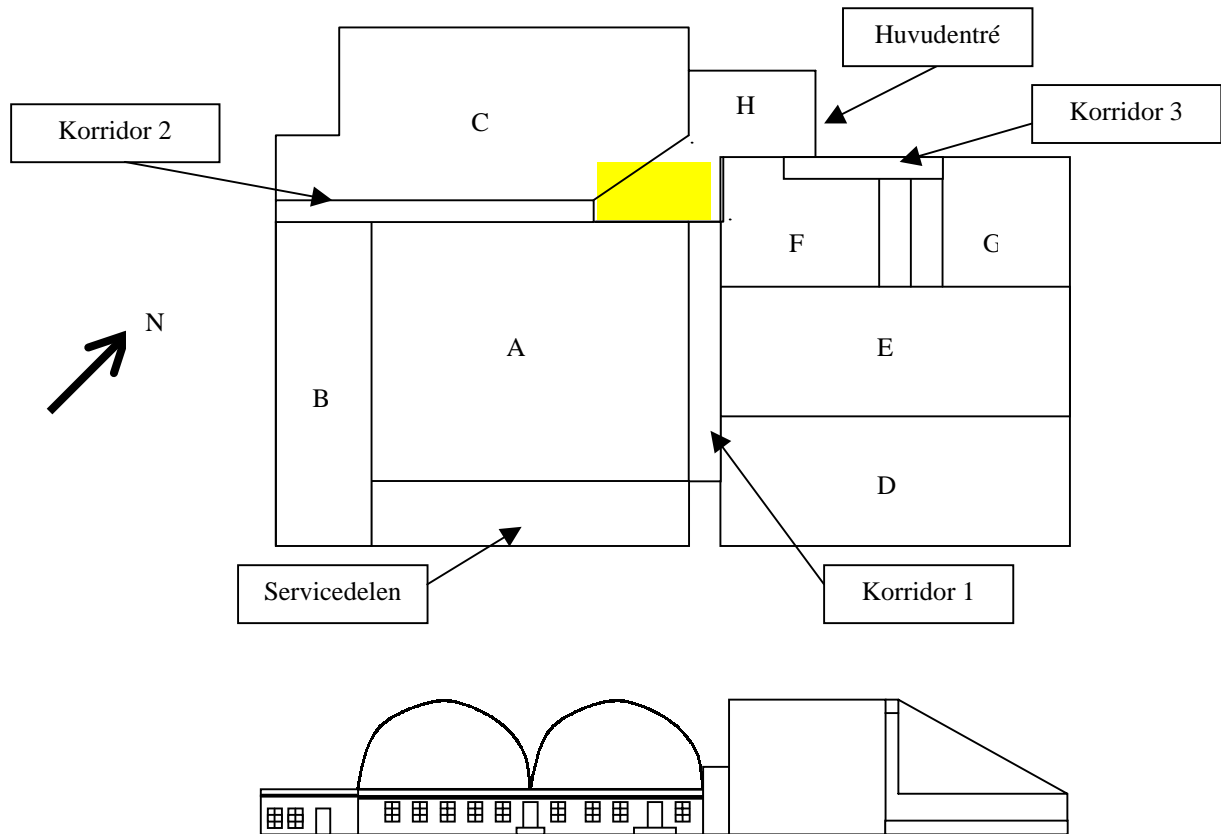
Samtliga angivna tider är bara ungefärliga tider och kan variera med upp till några minuter. Känslighetsanalyser har genomförts och de tider som presenteras i rapporten är de tider som ansetts som mest karaktäristiska och ligger mitt i de kontrollerade intervallen. Dock har ej alla förutsättningar varierats i känslighetsanalysen eftersom syftet har varit att ta fram *ett* möjligt brandförlopp. Det framtagna brandförloppet är således endast *en* tänkbar händelseutveckling med de givna förutsättningarna.

5.4 Objektbeskrivning

I detta avsnitt beskrivs Gerdahallen i syfte att ge en bild av objektet. Insamlandet av fakta kring byggnaderna har skett genom ett flertal platsbesök, studerande av ritningar och intervju med personal.

Gerdahallen är ett tränings- och friskvårdscentrum knutet till Lunds Universitet och är beläget på Helgonavägen 8, kvarteret Saxo 4, i Lund. Gerdahallen drivs som en stiftelse vid Lunds universitet och har som huvuduppgift att erbjuda studenter och universitetsanställda motion i olika former men är även öppen för övriga allmänheten.

Gerdahallen består av en mängd olika sammanbyggda lokaler med en sammanlagd golvyta på ungefär 6000 m². Grunden till det som i dag heter Gerdahallen byggdes 1929. Därefter byggdes olika delar till under 1970- och 80-talen tills byggnaden 1991 fick dagens utseende då bland annat huvudentrén byggdes.



Figur 5.1: Skiss över planlösning och fasaden mot SO

Byggnad A, som är den ursprungliga delen, byggdes 1929 och består av två stycken tennishallar och en servicedel bestående av omklädningsrum, kontor och en lägenhet. Den sammanlagda golvytan för byggnad A är ungefär 1670 m² där servicedelen är på 270 m² (lägenheten cirka 100 m²). Tennishallarna har ett välvt tak med en höjd på 10 m och servicedelen har platt tak med en invändig takhöjd på 2,6 m. I båda tennishallarna finns 5 stycken cirka 3x4,5m stora fönster i taket för dagsljusinsläpp. Den bärande konstruktionen är utförd i trä och taket samt ytskikten på inner- och ytterväggar består också av trä. Ytskikten på yttertaken består av takpapp. Byggnad A är en enda brandcell avskild mot övriga lokaler, Studenthälsan, korridor 1 och 2, i brandteknisk klass B30.

Byggnad B har en yta på cirka 530 m² och är byggd på likartat sätt som servicedelen i byggnad A, d.v.s. konstruerad i trä med horisontellt tak, men har nyligen renoverats. I byggnad B har Studenthälsan sina lokaler. Byggnaden är en egen brandcell avskild mot övriga lokaler i brandteknisk klass B30.

Byggnad C har en sammanlagd golvyta på ungefär 1500 m² och består av en motionsall, kallas Stora salen, med angränsande omklädningsrum med dusch och bastu på bottenplan (plan 0) samt kontor, uppehållsrum och lekionsall på plan 1. Den bärande konstruktionen i Stora salen är utförd av trä. Beklädnaden på golv, innertak och innerväggar består också av

trä. Taket är välvt med en höjd på cirka 12 meter. Taktäckningen består av takpapp och fasaden är klädd med plåt. Hela byggnad C är utförd som en brandcell avskild mot korridor 2 och byggnad H i brandteknisk klass B30.

Byggnad D består av en styrketräningssal med en golvarea på 650 m² och ett entrésolplan på 250 m². Här finns även ett omklädningsrum med dusch, bastu och solarium på plan 0 och ett massagerum på plan 1. Huvudcentralen finns också i denna byggnad. Beklädnaden på väggarna består till största delen av gips förutom väggen mot omklädningsrummet och elcentralen vilken är täckt av träpanel. Golvtäckningen består av plastmatta och takets insida består av plåt. Takhöjden är 10 meter förutom mot norra fasaden där taket sluttar ned till 3 meters höjd. Den bärande konstruktionen är av stål. Fasaden och yttertakets yttre del är klädda med plåt. Byggnad D och korridor 1 ligger i samma brandcell avskild mot övriga lokaler, byggnad A, E, F, H, i brandteknisk klass B30.

I **byggnad E** finns en motionssal, kallas Mellansalen, på ungefär 650 m² och med en takhöjd på 10 m förutom mot norra fasaden där det sluttar ned till 3 meters höjd. Den bärande konstruktionen är av stål och fasaden och yttertakets yttre del är klädda med plåt. Mellansalen har plastgolv och innerväggarna är av gips, delvis klädda med träpanel. Byggnaden är avskild mot intilliggande korridor och lokaler i brandteknisk klass B30.

I **byggnad F** ligger Centrumsalen som är en motionshall på cirka 270 m² och med en takhöjd på 10 m. Innerväggarna består av gips varav två av väggarna är klädda med träpanel. Golvet är av trä och taket är invändigt klätt med ljudisoleringsplattor och utvändigt med plåt. Lokalen ligger i samma brandcell som byggnad G samt korridor 3 och är avskild mot övriga lokaler i brandteknisk klass B30.

Byggnad G är en mindre motionssal på ungefär 180 m². Taket är sluttande från 3 meters höjd vid ytterväggen upp till 10 meters höjd. En av innerväggarna består av gips och de andra är klädda med träpanel. Lokalen ligger i samma brandcell som byggnad F samt korridor 3 och är avskild mot övriga lokaler i brandteknisk klass B30.

I **byggnad H** ligger huvudentrén, kontor och en kafeteria på bottenplan (plan 0). Taket har en höjd på cirka 3 m och är konstruerat som ett horisontellt tak utvändigt klätt med takpapp. Innertaket är täckt med ljudisoleringsplattor och väggarna består av gips förutom mot utsidan där de till största delen av glas. På plan 1 (skuggat område) ligger Damernas gym vilket är en mindre styrketräningssal. Här består innerbeklädnaden av plåt på väggar och plastmatta på golv. Byggnad H har en sammanlagd golvyta på cirka 330 m² och är avskild mot intilliggande lokaler i brandteknisk klass B30.

5.5 Det opåverkade brandförloppet

I syfte att få en uppfattning om hur ett brandförlopp i byggnaden kan se ut, under förutsättningen att ingen yttre påverkan på förloppet sker, har försök gjorts att modellera på vilka sätt och vid vilka tidpunkter branden kommer att sprida sig. Detta har gjorts genom att använda idag kända metoder och i vissa fall egna framtagna modeller där kända sådana saknas.

Slutsatser som kan dras av försöken att modellera branden är att det är med idag kända metoder mycket svårt att förutsäga ett verkligt brandförlopp. Även om ingenjörsmässigt erkända metoder har använts så innehåller dessa en mängder av osäkerheter och felkällor.

Dessutom så beror dessa modeller på en rad olika indata som i vissa fall är väldigt svåra att bestämma.

I detta avsnitt kommer modellerna och metoderna som använts för att bestämma utseendet av ett brandförlopp på Gerdahallen att redovisas, det är detta som kallas för det opåverkade brandförloppet. I nästa avsnitt redovisas tänkbara insatser som räddningstjänsten kan göra och vilka effekter detta får på brandförloppet, detta kallas det påverkade brandförloppet. Det kan också tilläggas att i dessa avsnitt redovisas bara modeller som är giltiga för detta objekt och att stegen som används är de som redovisats tidigare i kapitel 4. *Generell modell för framtagande av scenarier.*

Inledande undersökningar

I ett första skede skall ett lämpligt objekt hittas. Först och främst måste målet med simuleringen vara klart, med andra ord måste man veta vad som skall tränas t.ex. olika funktioner, ordergivning, samverkan eller samordning av styrkor och speciella situationer som industribrand eller lägenhetsbrand (se kapitel 3. *Simulatorer*). I detta fallet så var dels målet att försöka identifiera ett tillvägagångssätt för att på ingenjörsmässig grund kunna ta fram spel i framtiden och dels att ta fram ett spel för att träna den taktiska funktionen med ordergivning och beslut för en räddningsledare.

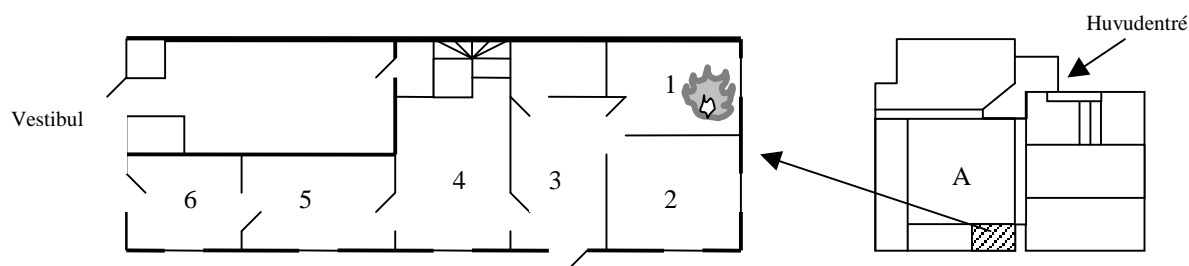
Valet föll på Gerdahallen som är en gymnastik- och friskvårdsanläggning i Lund, främst på grund av att Gerdahallen består av en mängd sammanbyggda lokaler, både äldre träbyggnader och nyare med bärande konstruktion i stål. Gerdahallen var ett förslag på lämpligt objekt från Lunds brandförsvär. En mindre brand där 1995 hade gjort att de uppmärksammat insatsproblematik, bland annat långa inträngningsvägar och problem med att hitta branden.

Efter valet av lämpligt objekt skedde en noggrann platsundersökning där möjliga brandspridningsvägar, konstruktion, material, brandbelastning m.m. i samtliga utrymmen i lokalerna dokumenterades. Ritningsunderlag i form av planritningar och ventilationsritningar för byggnaderna införskaffades också. Eftersom inga konstruktionsritningar fanns tillgängliga, studerades litteratur om hur hus byggda kring 1929 konstruerades /9/.

Val av initialbrand

Efter en grovanalys av ett antal olika scenarier (bl.a. bastubrand och brand i elcentral) i byggnaderna valdes en lägenhetsbrand på baksidan av Gerdahallen i servicedelen som lämplig initialbrand. Branden antas starta i rum 1 (se Figur 5.2).

Lägenhetsbranden valdes p.g.a. att den bedömdes kunna ge många olika problem i inledningsskedet med flera möjliga angreppssätt och brandspridning både inuti och utvändigt om servicedelen samt brandspridning genom väggen från lägenheten till tennishallen. Ytterligare kan det även bli problem med larmadressen, då huvudentrén ligger på andra sidan byggnaden, vilket leder till att fel angreppsväg kan väljas /10/. Det kan också bli problem med angreppsvägar i servicedelen samt med ett snabbt brandförlopp vilket medför att det kan bli problem med personalresurser i inledningsskedet. Om resurserna enbart koncentreras till bekämpning av lägenhetsbranden och den utvändiga brandspridningen kan brandspridning till tennishallen genom innerväggen och brandspridning längs husets tak förbises.



Figur 5.2: Skiss på lägenheten. Siffrorna markerar brandrummen.

Lägenhetsbranden

Att skapa en uppfattning om hur branden ser ut i initialskedet fungerar bra med hjälp av datorsimuleringar i Hazard. Modellen i Hazard är dock bara giltig fram till dess att övertändning i rummet sker. Likaledes går det ej att modellera bränder i flera rum och brandspridning mellan lokalerna är därför svår att simulera. Ett försök att få en uppfattning om hur branden sprids i lägenheten har dock gjorts vars resultat redovisas nedan. Metoden och simuleringarna redovisas i Bilaga 1.1 respektive Bilaga 1.2.

I simuleringarna antas effektutvecklingen i samtliga rum motsvara effektutvecklingen för en 3-sitssoffa /11/. Simuleringarna i Hazard visar att efter cirka 3,5 minuter så är brandrummet övertänt och branden antas sprida sig till nästa rum (rum 3).

När övertändning inträffar sprider sig branden till nästa rum. Då modellen inte längre är giltig för brandrummet efter övertändning så antas att de brandgaser som inte kan förbrännas i brandrummet på grund av syrebrist förbränns utanför rummet. Hälften av brandgaserna antas försvinna ut genom trasiga fönster och hälften förbränns i nästa rum. På detta sätt simuleras hur branden sprider sig från rum till rum till dess att hela lägenheten är involverad i brand (se Bilaga 1.2).

Resultatet visar att det tar mellan tio och femton minuter till dess att det är en fullt utvecklad brand i hela lägenheten.

Modellen kan inte ta hänsyn till hur den sjunkande syrehalten i de rum där det inte brinner påverkar brandspridningen och detta är en mycket stor brist i modellen. Effektutvecklingen i varje rum antas motsvaras av en soffa vilket är en förenkling av den verkliga brandbelastningen som kan vara både större eller mindre. Simuleringen antas dock ge en bild av hur det tidiga brandförloppet kan se ut.

För att uppskatta hur stor effekt som utvecklas i lägenheten efter det att övertändning har skett används modellen för maximal brandeffekt vid syrekontrollerad brand /12/. Beräkningar redovisas i Bilaga 1.3.

Brandrum	Tiden då fönstren går sönder (s)	Tiden då övertändning sker i brandrummet (s)	Maximal effektutveckling (MW)
1	120	220	2,1
3	280	430	3,9
2	500	560	4,2
4	500	560	2,1
5	620	740	2,1
6	800	800	2,1

Tabell 5.1: Resultat från simulering i CFAST av lägenhetsbranden samt beräknade maximala effekter i brandrummen.

Brandspridning genom fönstren

När fönstren går sönder kommer flammor att slå ut genom dessa. Syftet med följande steg är att dels kontrollera om brandspridning från fönstren till takfoten är möjlig och dels kontrollera om antändning av tennishallens yttervägg i anslutning till brandrummet kan ske. Fönstren har antagits gå sönder då temperaturen i brandrummet når cirka 300 °C. Figurerna i nedanstående steg syftar endast till att ge bild av händelseförloppet och är alltså inte någon exakt avbildning av branden.

Brandspridning till takfot

Om brandspridning till takfot sker efter det att fönsterrutan har gått sönder och lägenheten blivit övertänd bestäms genom att bestämma höjden på flammorna som kommer ut via de trasiga fönstren (metoden och beräkningarna redovisas i Bilaga 2). Uträkningarna visar att flammans längd är cirka 2 meter och tjockleken 0,6 meter. Detta innebär att flammen når takfoten som sitter ungefär 0,5 meter ovanför fönstret. Försök med liknande konstruktioner där takfoten är konstruerad av trä har visat att efter cirka 2 minuter antänds takfoten nära väggen /13/. Detta innebär att cirka 6 minuter efter branden startat antänds takfoten vilket leder till branden sprids till vinden.



Figur 5.3: Flammor slår ut genom trasiga fönster i lägenheten

Brandspridning till tennishallens yttervägg.

En eventuell brandspridning till tennishallens yttervägg undersöks genom att beräkna den infallande strålning som orsakas av att flammor slår ut genom det trasiga fönstret (för beräkningar se Bilaga 2). Resultatet här blir en infallande strålning mot tennishallens yttervägg på 7,1 kW/m². Då trä kan antas antändas vid en infallande strålning på cirka 13 kW/m² /6/ innebär det i detta fallet att det är inte är någon omedelbar risk för att branden skall sprida sig från takfoten till tennishallens yttervägg.

Brandspridning från lägenheten till intilliggande utrymmen

Nästa steg är att kontrollera hur brand- och rökspridning är möjlig från lägenheten till intilliggande utrymmen. I detta fall är brandspridning möjlig upp till vindsutrymmet ovanför lägenheten, in till tennishallen samt ut till vestibulen som leder till tennishallen.

Vinden

Branden kan sprida sig från lägenheten till vinden på två sätt: Det ena är att lågor slår ut från de trasiga fönstren och antänder takfoten enligt ovan. Det andra är att branden sprider sig via taket ovanför brandrummet till vinden.

I det rum där branden startar kommer fönstret att gå sönder efter ungefär två minuter (se Simulering 1 i Bilaga 1), övertändning inträffar efter ungefär 4 minuter och flammor från brandrummet antänder takfoten efter ytterligare två minuter, vilket påvisats i försök med motsvarande konstruktioner /13/. Då temperaturen i luftspalten innanför takfoten snabbt stiger efter antändning medför detta att branden sprids till vinden. Då ytterligare fönster i lägenheten går sönder antänds takfoten vid fler ställen och brandspridningen till vinden påskyndas. Detta kommer innebära att cirka 10 minuter efter brandstart så har även en brand i vindsutrymmet startat.

Den andra spridningsmöjligheten är att branden från brandrummet sprider sig direkt till vinden. Bjälklaget i lägenhetens tak är av en sådan konstruktion att det har ett brandmotstånd på ungefär 30 minuter enligt /7/. Därefter kommer flammor att tränga igenom bjälklaget och branden sprids till vinden.

Vestibulen

Vestibulen är avskild från lägenheten med en vägg och en dörr utan någon brandteknisk klass. Denna vägg har uppskattats hålla en avskiljande förmåga i cirka 10 minuter¹. Om tiden till övertändning av hela lägenheten sätts till 15 minuter så kan branden bryta igenom på detta ställe efter ungefär 25 minuter.

Tennishallen

Tennishallen är avskild mot samtliga intilliggande utrymmen i brandteknisk klass B30 och väggen mellan lägenheten och tennishallen antas förhindra brandspridning i avsedd tid, 30 minuter.

Rökspridning

Spridning av brandgaser kommer att ske under hela brandförloppet. Denna är mycket svår att förutsäga förutom i de fall då stora öppningar finns, då CFAST simuleringar kan användas för att simulera rökspridningen.

¹ Brandmotståndet för innerväggen antas motsvaras av två lager spontade bräddor med lös isolering vilket ger ett brandmotstånd på cirka 10 minuter (se Tabell B6.2 i Bilaga 6).

Spridningen av rök inuti huset kan till exempel ske genom att:

- Rök sprider sig genom öppna dörrar eller genom otätheter i vägg- och dörrkonstruktioner till angränsande lokaler.
- Rök samlas under taket och tränger genom otätheter in till utrymmen i takkonstruktionen.
- Rök och flammor kommer ut via fönster och tränger in i takkonstruktionen genom ventilationsspringor i takfoten.
- Tillräckligt med rök i takkonstruktionen leder till att ett övertryck skapas och röken tränger tillbaka ner till våningen under.
- Rök kan utifrån tränga in i lokaler via ventilationsöppningar i fasaden.

Allt detta är svårt att ta hänsyn till och alla otätheter är omöjliga att upptäcka. De öppningar som tagits hänsyn till i detta arbete är de större öppningar som hittats i byggnaden.

Brandspridning i vestibul

Efter cirka 25 minuter börjar branden sprida sig från lägenheten till vestibulen och sprids därefter vidare till intilliggande utrymmen. För att bestämma hur branden sprider sig efter att den brutit igenom väggen till vestibulen krävs en modell som talar om hur flammorna sprider sig. Till detta har samma ytflamsspridningsmodell som för tennishallen använts. Denna metod samt resultaten för vestibulen finns redovisade i Bilaga 3.2. Från det att branden börjar sprida sig till vestibulen tills dess att branden når tennishallen visar ytflamsspridningsberäkningar att det tar cirka 6-7 minuter. Detta innebär att branden når tennishallen cirka 30 minuter efter brandstart, vilket är samma tid som det tar vid brandspridning direkt mellan lägenhet och tennishall. Vid simuleringar i CFAST ses också att övertändning kommer att inträffa i vestibulen cirka 6-7 minuter efter att branden har brutit igenom väggen till vestibulen (se Bilaga 4).

Brandspridning i tennishallen

För att bestämma hur branden sprider sig efter att den brutit igenom väggen till tennishallen (cirka 30 minuter efter brandstart) krävs en modell som talar om hur flammorna sprider sig. Till detta har en ytflamsspridningsmodell använts som visar hur flammorna sprider sig efter väggen och uppe i taket i tennishallen. Denna metod finns redovisad i Bilaga 3 tillsammans med beräkningarna. Samma ytflamsspridning har antagits gälla även då brandspridning från vestibulen till tennishallen sker samt då brandspridning sker mellan vindsutrymmet och tennishallen. När ytflamsspridningshastigheten har beräknats kan effektutvecklingskurvan för branden i den aktuella väggen och taket bestämmas. Denna effektutvecklingskurva har sedan använts som indata till simuleringarna i CFAST (se Bilaga 5) för att erhålla brandförloppet i tennishallen. Det bör påpekas att den beräknade effektkurvan som är resultatet av ytflamsspridningsmodellen (se Diagram 5.1 nedan) är den effektkurva som skulle vara riktig om branden skedde utan inverkan av syrebegränsning och övertändning. Effektutvecklingen för det aktuella fallet, d.v.s. branden i väggen och taket fås däremot av simuleringarna i CFAST (se Diagram B5.1 i Bilaga 5).

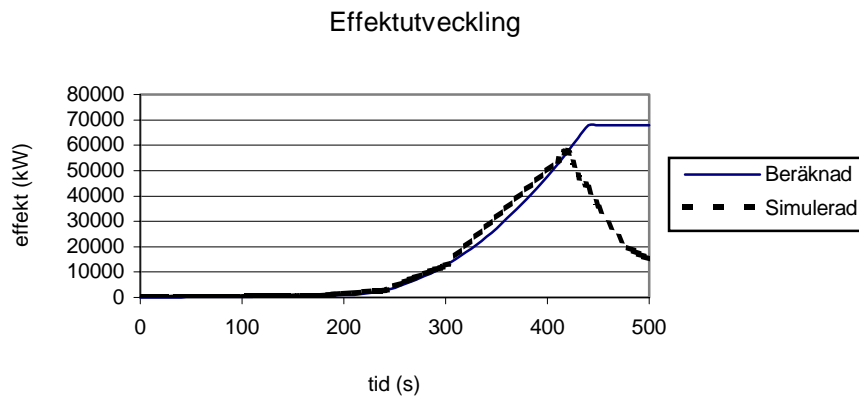


Diagram 5.1: Resultat från beräknad och simulerad effektutveckling av branden i tennishallens vägg och tak.

Brandförlopp i tennishall

Syftet med att undersöka brandförloppet i tennishallarna är att bestämma rökfyllnadshastigheten, tiden till övertändning och strålning från branden. Detta har gjorts med simuleringar i CFAST (se Bilaga 5). Som indata har den beräknade effektutvecklingskurvan enligt Diagram 5.1 ovan använts.

Resultatet visar att brandgaser börjar att sprida sig till den andra av de båda tennishallarna efter drygt 5 minuter och att övertändning inträffar i hall 1 efter cirka 7 minuter. Brandgaslagret har då sjunkit till under två meter ovanför golvet och temperaturen i hall 2 är då ungefär 150°C (se Diagram B5.3 i Bilaga 5). Då övertändning skett i hall 1 kommer temperaturen i hall 2 snabbt att stiga då branden sprids med de oförbrända gaser och lågor från branden som tränger in genom öppningarna mellan hallarna. Den mot golvet infallande strålningen överstiger 20 kW/m² efter knappt sju minuter i hall 1 (se Diagram B5.4 i Bilaga 5) vilket också används som kriterium för övertändning.

Brandspridning från vind till intilliggande utrymmen

När brandspridning har skett till vinden kommer branden att sprida sig även därifrån. Från vinden har branden spridningsmöjligheter till tennishallen via bjälklagsanslutningen till tennishallens vägg, inuti vindsutrymmet längs taket bort mot studenthälsan och upp genom yttertaket. Hur branden utvecklas i utrymmet under yttertaket beror på tillgången till syre vilket i sin tur beror på hur stora läckageytor som finns. Brandförloppet kommer också att vara beroende av var genombrinning sker. Då dessa faktorer är mycket svåra att förutsäga kan endast en uppskattning göras av hur branden i takutrymmet kommer att se ut. En annan faktor som spelar roll för takbrandens utbredning är vilken typ av takpapp som används /14/.

Längs med takkonstruktionen kommer branden att sprida sig med hjälp av de varma brandgaser som samlats i vindsutrymmet. Värmen från dessa brandgaser innebär att takkonstruktionen pyrolyserar ytterligare, men på grund av den dåliga tillgången på syre i vindsutrymmet kommer en fullständig förbränning ej att kunna ske och brandutvecklingen kommer vara begränsad tills dess att brandgaserna kommer i kontakt med syre.

Tennishallen är avskild mot samtliga intilliggande utrymmen i brandteknisk klass B30 och väggen mellan vinden och tennishallen antas förhindra brandspridning i avsedd tid, 30 minuter. Då branden sprids till vinden via fönstren cirka 10 minuter efter att branden startat i lägenheten kommer således brandspridning från vind till tennishall att ske efter cirka 40 minuter.

Efter det att vindsbranden har startat tar det ungefär 10 minuter innan yttertaket har brunnit igenom². Detta kommer att innebära att branden efter ungefär 20 minuter brutit igenom yttertaket om brandspridning skett via takfoten samt efter 40 minuter om brandspridning skett direkt via innertaket. Då branden brutit igenom yttertaket kommer flödet av brandgaser att ändras så att kall luft strömmar in genom fönsteröppningarna och takbranden ökar i intensitet. Det medför också att den oförbrända brandgaserna i vindsutrymmet kommer i kontakt med syre och vilket bidrar starkt till att branden i taket ökar i intensitet. Om denna takbrand får fortgå kommer den leda till att tennishallens yttervägg antänds. En undersökning gjord av NFPA där fotografier från bränder studerats visar att maximal flamhöjd över taket blir cirka 1,4 gånger våningshöjden /13/. Det ger en flamhöjd i detta fall på 3 – 4 meter över taket.



Figur 5.4: Branden har brutit igenom yttertaket

Brandspridning från tennishall

När branden har gått så långt att hela tennishallen brinner (golvarea på cirka 1500 m²) kommer den helt övertända tennishallen utveckla en väldigt hög effekt, detta leder till ett mycket snabbt brandförlopp med häftiga luftströmningar. Detta tillsammans med de begränsade möjligheterna att upprätta en fungerande begränsningslinje till de lokaler som ligger i direkt anslutning till tennishallarna gör att resterande byggnader ej bedöms gå att rädda.

Kontroll av kollaps

Vid kontroll av när trästommen i tennishallen kollapsar används ¼ -metoden. Med denna metod antas stommen kollapsa när ¼ av höjden eller bredden på träbalken har brunnit upp /7/. Med trä bjälkar på 30x70cm och en avbrinings tid på cirka 1mm/min sker en kollaps då 75 mm av balkens bredd brunnit. Eftersom balkarna kommer vara dubbelsidigt brandpåverkade ger detta en tid till kollaps på cirka 40 minuter efter att branden spridits till tennishallarna.

² Brandmotståndet för yttertaket antas motsvaras av 15-20 mm spontade brädor vilket ger ett brandmotstånd på 5-15 minuter (se Tabell 6.2 i Bilaga 6).

Det opåverkade händelseförloppet

För att sammanfatta hur det opåverkade brandförloppet kommer att fortskrida, redovisas nedan händelseförloppet i form av tider till betydelsefulla händelser. Här skall dock tilläggas att enbart de snabbaste brandspridningsvägarna redovisas. Om brandspridningen i någon av dessa vägar stoppas kommer branden att sprida sig på andra sätt vid senare tidpunkter, dessa ”senare” brandspridningsvägar finns redovisade i avsnitten ovan och tas hänsyn till avseende konstruerandet av händelseträdet.

Tid (min)	Händelse
0	Branden utbryter i lägenheten
2	Fönstret i brandrummet går sönder
4	Övertändning i brandrummet
6	Takfoten ovanför brandrummet antänds
10	Ytterligare lägenhetsfönster går sönder Vindsbrand börjar
12	Fullt utvecklade brand i hela lägenheten
20	Brand genom servicedelens yttertak
25	Brandspridning till vestibulen
30	Brandspridning även genom innertaket till vindsutrymmet Brandspridning till tennishallarna via lägenhetsvägg och vestibul Rökspridning till korridorerna
37	Tennishall 1 övertänd
40	Brandspridning till Studenthälsan
60	Brandspridning från tennishallarna till övriga Gerdahallen och Studenthälsan
70	Tennishallarna kollapsar

Tabell 5.2: Sammanställning av det opåverkade händelseförloppet.

5.6 Det påverkade brandförloppet

Syftet med det påverkade brandförloppet är att skapa en bild av hur händelseförloppet kan påverkas av en räddningsstyrka och att presentera de typer av insatser som bedömts som nödvändiga för att avbryta eller begränsa en fortsatt skadeutveckling. De insatser som inte bedömts vara nödvändiga redovisas ej då de endast fördröjer skadeutvecklingen. För att bestämma vilka insatser som avbryter eller begränsar händelseutvecklingen har metoden varit att med skedena i det opåverkade brandförloppet som grund, i princip gå igenom den tidigare nämnda bedömandemallen (se kapitel 2. *Räddningstaktik*).

Orientering: vilka är utgångsvärderna, vad har hänt, vilka resurser finns och behövs?

Bedömning: vilka är de kritiska faktorerna, hur kommer utvecklingen att bli, vilka alternativ finns?

Beslut: vad skall uppnås och hur skall det ske?

(Order)

De olika skedena representerar de olika sektioner av byggnaden dit branden sprids eller riskerar att spridas. Ett skede resulterar i nya skeden beroende på resultatet av insatserna som görs i det tidigare skedet. Fara för personer behandlas inte i de olika skedena men den händelsen kan senare läggas in av läraren som ett moment i spelet (se kapitel 6). För de olika skedena redovisas inte alla punkter i bedömandemallen utan endast de delar som bedömts som väsentliga för att ge fullgod beskrivning av skedet.

Vid bestämmandet av släckkapaciteten kan olika modeller användas, dels en enklare metod där vattnets släckkapacitet bestäms utifrån kylförmågan och effektiv påföringsmängd /8/, och dels en mer nyanserad metod som även använder sig av dynamiken i systemet, med feedback eller att det finns fördröjningar i systemet /15/. I detta arbete har den enklare modellen valts att användas.

De resurser som finns tillgängliga i inledningsskedet är den normala styrkan vid Lunds brandförsvaret d.v.s:

- 2 st släckbilar
- 1 st höjdfordon

- 8 st brandmän
- 1 st brandförman
- 1 st brandmästare
- 1 st vakthavande brandingenjör

Vid bedömningen av om en insats lyckas eller ej har följande antaganden gjorts:

- Antagande 1: Släckkapaciteten för en rökdykargrupp har bestämts med hjälp av tabeller i /8/. Resultatet visar att släckkapaciteten för ett strålrör med vattenförbrukning på 300 l/min och en effektivitetsfaktor på 20% motsvaras av en brandeffekt på 11 MW (se tabell B6.1).
- Antagande 2: Vattenbehovet för en rökdykarinsats är totalt 600 l/min. Detta motsvarar vattenförbrukningen för två konventionella strålrör, 300 l/min för rökdykargruppen samt 300 l/min för rökdykarledaren. Dock bör det observeras att även om rökdykarledarens

strålrör i normala fall inte används kontinuerligt så skall ändå vattenförsörjningen till båda strålrören vara säkerställd.

- Antagande 3: Brandspridning från servicedelens tak till tennishallarnas yttervägg antas förhindras om det finns räddningspersonal på taket. Detta förutsätter att personalen som arbetar på taket har tillgång till vatten.

De insatser som bedömts som nödvändiga för att bryta eller begränsa fortsatt skadeutveckling summeras och definieras i kapitel 6.1.

Skede 1, lägenheten

- O: Brand har uppstått i en lägenhet som är inhytt i en äldre del av Gerdahallen. Lågor slår ut genom ett eller flera fönster och takfoten har antänts ovanför fönstret till brandrummet.
- B: Den kritiska skadeplatsfaktorn bedöms vara branden i lägenheten. Om branden får fortgå kommer den att spridas till intilliggande lokaler. Lämpliga alternativ är att antingen försöka släcka branden utifrån t.ex. via fönstren eller gå in i lägenheten med rökdykargrupper och utföra invändig släckning.
- B: Tillintetgöra skadekällan, d.v.s. branden i lägenheten, vilket sker genom att rökdykare går in i lägenheten och genomför invändig släckning.

En undersökning av hur branden utvecklas i lägenheten visar att efter cirka 11 minuter så överstiger brandeffekten 11 MW vilket innebär att en insats av en rökdykargrupp måste påbörjas innan dess (insats L1, se kapitel 6.1 *Insatser*). Genomförs insatsen med två rökdykargrupper så måste släckförsöken ha påbörjats innan brandspridning skett till vestibulen, d.v.s. inom 25 minuter (L2).

Skede 2. Servicedelens tak

- O: Branden har spridits till vindsutrymmet i servicedelen.
- B: Om branden får fortgå kommer spridning att ske till övriga rum i servicedelen, till tennishallarna och längs servicedelens tak till Studenthälsan. Alternativen är att om insatsen påbörjas tidigt ventilera taket innan branden har fått för stor omfattning eller om insatsen fördröjs begränsa takbranden mot Studenthälsan och tennishallarna.
- B: Om insatsen kan ske inom 15 minuter skall skadekällan tillintetgöras genom att ventilera taket och släcka takbranden (T1). Annars skall skadeutbredningen begränsas mot intilliggande lokaler, Studenthälsan (T2) och tennishallarna (T3), vilket måste ske inom 30 minuter³ efter att branden startat i vindsutrymmet, d.v.s. 40 minuter efter lägenhetsbranden startat.

Skede 3, vestibulen

- O: Branden i lägenheten riskerar att spridas till vestibulen då lägenheten inte är avskild avseende brandspridning mot övriga lokaler i servicedelen.
- B: Om branden kan fortgå kommer spridning att ske till vestibulen och övriga rum i servicedelen, till tennishallarna och senare även till Studenthälsan.
- B: Skadeutbredningen begränsas genom att en rökdykargrupp förhindrar att branden sprids till vestibulen senast efter 25 minuter⁴ om lägenhetsbranden fortgått opåverkad (H1).

³ Studenthälsan och tennishallarna är avskilda mot vindsutrymmet i brandteknisk klass B30.

⁴ Brandmotståndet för innerväggen mellan lägenheten och vestibulen antas motsvaras av två lager spontade brädor med lös isolering vilket ger ett brandmotstånd på cirka 10 minuter (se Tabell B6.2, Bilaga 6).

Skede 4, tennishallarna

- O: Brandspridning har skett till tennishallarna, antingen genom att branden brutit igenom den avskiljande väggen mot lägenheten eller vindsutrymmet, eller genom att branden spridits via vestibulen.
- B: Om branden får fortgå kommer inom kort tid båda tennishallarna att vara involverade i brand och därefter kommer spridning att ske till Studenthälsan och övriga delar av Gerdahallen.
- B: Skadeutbredningen begränsas genom att en rökdykargrupp genomför invändig släckning i tennishallarna.

5 minuter efter det att branden fått fäste i tennishallarna överstiger brandeffekten 11 MW (se Diagram B5.1 i Bilaga 5) vilket innebär att om en släckinsats skall vara verkningsfull måste den påbörjas innan dess. Detta medför att om branden spridits från lägenheten eller vestibulen så måste en släckinsats i tennishallarna ske inom 35 minuter efter det att branden startat (TE1), eller om spridning skett via vindsutrymmet inom 45 minuter (TE2).



Figur 5.5: Branden har spridits till tennishallarna

Brandvattenförsörjning

Jämförelse mellan vattenbehovet och vattentillgången skall ske kontinuerligt under de olika skedena. Vatten till brandsläckning finns dels att tillgå från brandpostnätet i området samt från släckbilar och tankbilar. Brandpostnätet i området består av tre stycken brandposter med kapacitet på 800, 900 respektive 900 liter per minut (se bilaga 7). Kapaciteten för tankbilar kan enkelt räknas ut som kvoten av volymen och omloppstiden /16/:

$$\text{Kapacitet} = \frac{\text{Tankvolym}}{\text{Omloppstid}}$$

där omloppstiden är summan av körtid, påfyllningstid, tömningstid och angöringstid.

För uppskattningar av vattenbehovet för de olika insatserna se kapitel 6.1.

6. Spel Gerdahallen

I detta avsnitt presenteras resultaten från kapitel 5. *Scenarioframtagande Gerdahallen* i form av ett händelsetråd. I samma kapitel redovisas även förutsättningarna för spelet. Vidare definieras de typer insatser som är nödvändiga för att avbryta eller begränsa en pågående skadeutveckling. Den funktion som är avsedd att tränas med det framtagna spelet som grund är den taktiska funktionen (se kapitel 3.2 *Simuleringsmodeller*).

Principen för spelet är att de nödvändiga insatserna är definierade med avseende på vilken typ av insats som avses och vid vilken tidpunkt insatsen måste ha genomförts. Läraren, d.v.s. den som leder spelet, presenterar för eleven de förutsättningarna som är aktuella för det skeende som kommer. Läraren avgör sedan vad elevens agerande leder till, med andra ord om den nödvändiga insatsen genomfördes med lyckat resultat eller ej. Förgreningsalternativen i händelsetrådet är av typen ”JA” eller ”NEJ”, där alternativen syftar till om den aktuella typen av erforderlig insats anses vara genomförd eller ej. Om inte kedjan av erforderliga insatser anses vara genomförda så ges en beskrivning till vad agerandet har lett till för typ av slutligt skeende. Om de erforderliga insatserna är genomförda så beskrivs utfallet med ”OK!” vilket avser att uppgiften har lösts. Detta förutsätter att alla de enskilda insatserna lyckas, vilket i verkligheten inte alltid är fallet eftersom slangbrott, fel handhavande och liknande alltid kan inträffa. Detta kan läraren styra genom att säga att en enskild insats misslyckades i syfte att styra spelet i någon riktning.

Lärorens uppgift består bl.a. i att bestämma tidpunkten då spelet startar, d.v.s. hur lång tid det har brunnit innan räddningstjänsten anländer till platsen. Läraren kan också ge förutsättningen att det finns personer kvar någonstans i byggnaden. Detta innebär att resurser måste avdelas till att genomföra eftersökning vilket kan fördröja den första insatsen mot branden. Läraren skall vara uppmärksam på vilka angreppsvägar som väljs då det kan uppstå problem med larmadressen på grund av att huvudentrén ligger på andra sidan byggnaden i förhållande till var branden startar. Det kan få till följd att den första insatsen fördröjs. Insatserna kan också komma att kräva mer resurser än vad som finns tillgängligt i den normala styrkan. Läraren måste därför kontinuerligt övervaka att insatserna inte kräver mer resurser än vad som finns tillgängligt och att om eleven begär förstärkningsresurser att dessa inte finns tillgängliga förrän efter relevant tid.

6.1 Insatser

I tabellen nedan anges innebörden med de typer av insatser som identifierats som nödvändiga. Nödvändiga resurser med avseende på personal och en uppskattning på behovet av vatten till brandsläckning presenteras också.

Kommentarer till tabellen:

L1, L2, H1, TE1, TE2: Rökdykarledaren skall ha tillgång till vatten vilket innebär ytterligare vattenbehov på 300 l/min (*kursiverat i tabell 6.1*).

L2, H1, TE1, TE2: Egen pumpskötare krävs för andra rökdykargruppen om inte en pumpskötare kan betjäna bägge pumparna /17/.

TE1, TE2: Vid lång inträngningsväg och hög riskmiljö bör en skyddsgrupp finnas.

Beteckning	Innebörd	Personalbehov	Vattenbehov (l/min)
L1	En rökdykargrupp genomför släckinsats i lägenheten inom 11 minuter.	1+1+2 PS+RDL+RD+RD	300 + 300
L2	Två rökdykargrupper genomför släckinsats i lägenheten inom 25 minuter.	(1)+1+1+2+2 (PS)+PS+RDL+RD +RD	300+300 + 300
T1	Ventilera taket inom 15 minuter.	2-4	300
T2	Takbrand begränsad mot Studenthälsan inom 40 minuter.	2-4	300
T3	Takbrand begränsad mot tennishallarna inom 40 minuter.	2-4	300
H1	Rökdykargrupp förhindrar brandspridning till tennishallarna från lägenhet via vestibulen inom 30 minuter.	(1)+1+2 (PS)+RDL+RD+RD	300 + 300
TE1	En rökdykargrupp genomför släckinsats i tennishallarna inom 35 minuter.	(1)+1+2 (+2)* (PS)+RDL+RD+RD (+RD+RD)*	300 + 300 (+300)*
TE2	En rökdykargrupp i tennishallarna förhindrar brandspridning via service- delens takbjälklag inom 45 minuter.	(1)+1+2 (+2)* (PS)+RDL+RD+RD (+RD+RD)*	300 + 300 (+300)*
V1	Finns tillräckligt med släckvatten?	-	?

Tabell 6.1: Definition av insatser för det påverkade brandförloppet. PS = pumpskötare, RDL = rökdykarledare, RD = rökdykare, * = Vid lång inträngningsväg

6.2 Händelseträd

I detta avsnitt redovisas händelseträdets för *Scenario Gerdahallen*. Nedan ges en förklaring till de olika utfallen innebörd. Därefter presenteras några utgångspunkter vilka kan fungera som ingångsvärden för spelet och viktiga moment som bör uppmärksammas av läraren.

Utfallens innebörd

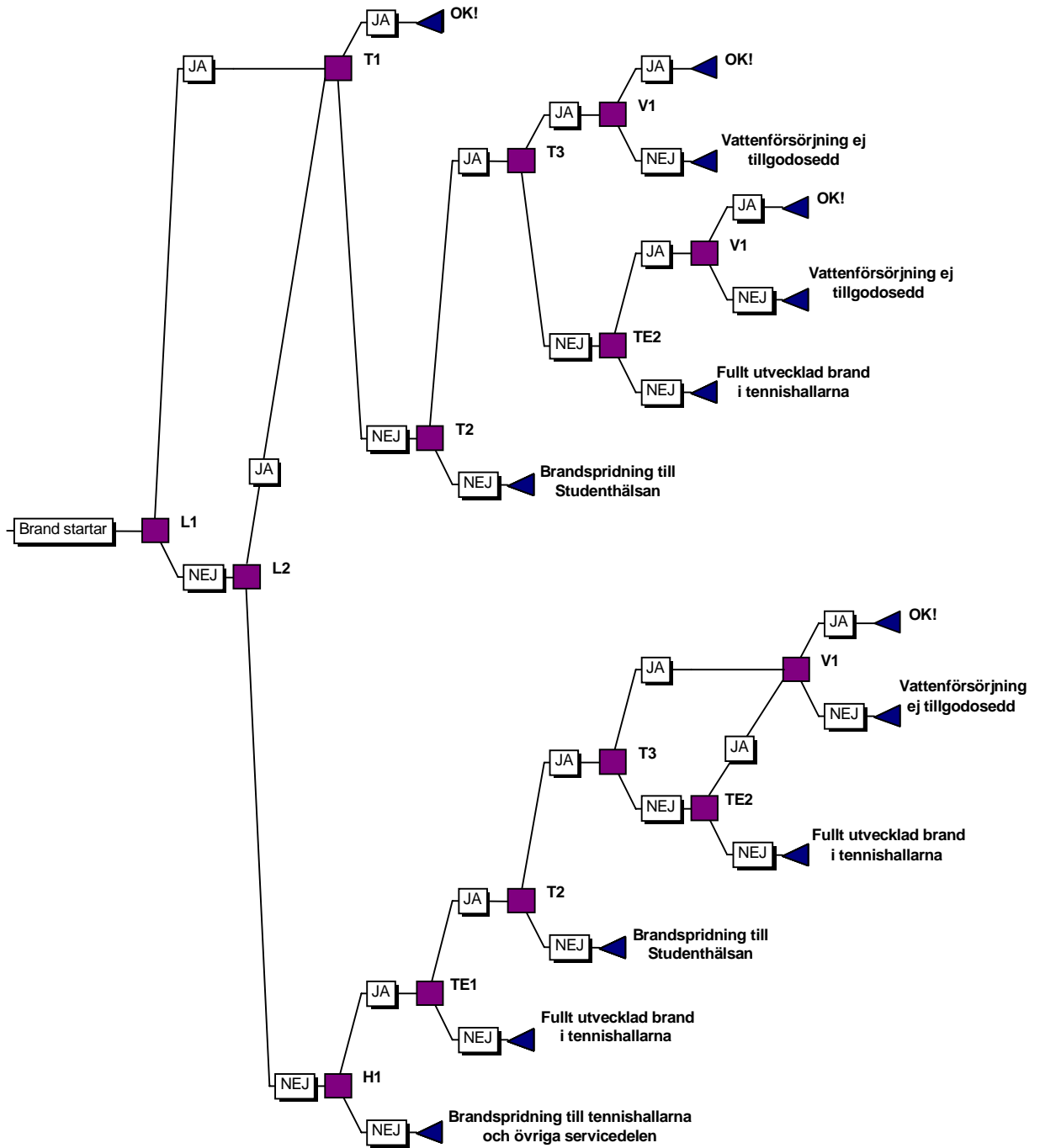
OK!: Erforderliga insatser har genomförts och uppgiften har lösts.

Vattenförsörjning ej tillgodosedd: Någon eller några av de senast utförda insatserna har inte varit möjlig att genomföra på grund av brist på släckvatten. Detta innebär att förgreningsalternativet för den insats som ej gått att genomföra blir "NEJ" vilket leder till ett annat utfall.

Övriga utfall: Skadeutvecklingen har inte avbrutits. Läraren kan dock välja att fortsätta spelet med utgångspunkt i det beskrivna utfallet, t.ex. "Brandspridning till Studenthälsan".

Utgångspunkter och moment att uppmärksamma för läraren

- Starttid för spelet: Hur länge har det brunnit innan räddningstjänsten anländer? Har branden utbrutit på dagen eller på natten?
- Larmadressen: Vilka angreppsvägar väljs? Är branden lokaliserad?
- Fordonsplacering: Brytpunkt, halvhalt, tillgänglighet för släckbilar och höjdfordon etc?
- Personer kvar i byggnaden: Stort antal? Eftersökning, utrymning, polisassistans?
- Förstärkning: Behövs ytterligare resurser? När är dessa tillgängliga?



Figur 6.1: Händelsetråd för Scenario Gerdahallen.

7. Diskussion

Arbetet i denna rapport har gått ut på att med ingenjörsmässiga metoder försöka utarbeta ett nytt scenario till LTA på Revinge samt att framställa en metod som kan användas vid utvecklandet av nya scenarier i framtiden. I dagsläget används vid framtagandet av sådana scenarier erfarenhetsmässiga bedömningar av hur brandförloppet och brandspridningen kommer att se ut.

Framtagandet av scenarier på ingenjörsmässig basis innebär att en mängd svårigheter framträder bl.a. att det idag saknas vetenskapliga metoder för att räkna på vissa situationer i ett brandförlopp t.ex. brandspridning mellan rum samt ytflamspridning i tak. En mängd antaganden måste också göras i indatan vid framtagandet av de nya scenarierna, modellerna har begränsade giltighetsområden m.m. Det ideala vore att kunna förutsäga branden exakt i både beräkningsmetoder och simuleringar men eftersom många antaganden måste göras i framtagandet av scenarier med ingenjörsmässig grund måste hela tiden ett rimlighetstänkande finnas med d.v.s en bedömning av om de erhållna resultaten kan vara rimliga. Därför torde i dagsläget det bästa vara ett framtagande av spel där ingenjörsmässiga beräkningar varvas med erfarenhetsmässiga bedömningar. Detta i väntan på att nya metoder för beräkning och simulering av brandförlopp utarbetas.

Ett förslag till vidareutveckling av arbetet med att ta fram scenarier kan vara att även ha med sannolikheter för grenarna i händelseträdet som t.ex. sannolikheten för att en rökdykarinsats lyckas. Detta kan leda till att spelledaren/lärares roll i framtiden kan komma att förändras avsevärt och kanske helt försvinna.

Ytterligare ett förslag till vidareutveckling av detta arbete är att på ingenjörsmässig basis utarbeta scenarier för olyckor med kemikalier. För simulering av utsläpp av olika typer av kemikalier finns idag många olika datorprogram som kan användas. Konsekvenserna av kem olyckor kan ofta bli stora vilket i kombination med att erfarenheten hos räddningspersonalen inte är lika god som vid bränder innebär att det finns ett behov att öva sådana situationer. Då dessa olyckor ofta får konsekvenser för stora områden får detta till följd att övningarna kan omfatta stora delar av räddningsorganisationen som t.ex. räddningstjänst, sjukvård och polis, vilket är positivt.

Referenser

- /1/ Försvarsdepartementet, *Räddningstjänstlag (1986:1102)* Utfärdad: 1986-12-11
Ändring införd: t.o.m. SFS 1996:406 Omtryck: SFS 1992:948
- /2/ Räddningsverket, *Räddningstaktik påverkan och utformning*, Räddningsverket, Karlstad
- /3/ Konsultation och diskussion med Stefan Svensson, Räddningsverkets skola, Revinge, 1998
- /4/ Anders Johansson, *Projekt simulering*, Räddningsverkets skola, Revinge, 1997
- /5/ Lars Fredholm, Birgitta Hörberg, *Utbildningssimulatorer för räddningstjänst*, FOA rapport E50001-5.3, Stockholm 1987
- /6/ Brandskyddslaget, LTH-Brandteknik, *Brandskydd, teori och praktik*, Brandskyddslaget, LTH-Brandteknik, Stockholm, 1994
- /7/ Kaj Bodlund, Lennart Månsson, *Brandmotstånd och ljudisolering i gamla hus med träbjälklag*, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm, 1989
- /8/ Stefan Särdaqvist, *An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactics*, LTH-Brandteknik, Lund, 1996
- /9/ Cecilia Björk, Per Kallstenius, Laila Reppen, *Så byggdes husen 1880-1980*, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholms stadsbyggnadskontor, Stockholm, 1984
- /10/ Konsultation och diskussion med Stefan Särdaqvist, Institutionen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 1998
- /11/ <http://www.bfrl.nist.gov/info/fire.html>
- /12/ Björn Karlsson, James G Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, 1997
- /13/ Julia Ondrus, *Brandspridning och brandförlopp i tät småhusbebyggelse*, Institutionen för brandteknik, Tekniska och naturvetenskapliga högskolan, Lunds universitet, Lund 1988
- /14/ J. Josefsson, R. Lindberg, *Undersökning av flamspridningen för takpapp*, försök utförda på institutionen för brandteknik, Lund, 1998
- /15/ Stefan Svensson, *Solving tactical problems using control engineering: systems identification and modeling*, LTH-Brandteknik, Lund, 1998
- /16/ Räddningsverket, *Brandvattenförsörjning*, Utbildningsavdelningen, Statens räddningsverk, Karlstad, 1994
- /17/ SRV, *Rökdykning, SRV tillämpning AFS 95:1*, undervisningsmaterial, 1995
- /18/ Dougal Drysdale, *An introduction to Fire Dynamics*, John Wiley & sons Ltd., 1985
- /19/ Björn Karlsson, *Ph.D Course: Upward Flame Spread and HRR*, Lund, Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, 1994

- /20/ Institutionen för brandteknik, *Behaviour of timber and wood-based materials in fire*, kursmaterial i kursen Passiva system, Institutionen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 1997
- /21/ Björn Karlsson, *Modeling Fire Growth on Combustible Lining Materials in Enclosures*, Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, 1992
- /22/ M. Haeffner, J. Josefsson, R. Lindberg, O. Slettenmark, *Rapport till laborationer i branddynamik*, laborationsrapport i kursen Branddynamik, Institutionen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund, 1997
- /23/ C.L. Tien, K.Y. Lee, A.J. Stretton, *Radiation Heat Transfer, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition*, SFPE, Quincy, MA, 1995

BILAGA 1

Brand i lägenheten

Bilaga 1. Brand i lägenheten

Syftet med att undersöka brandförloppet i lägenheten är för att skapa en uppfattning om hur situationen kan se ut då räddningstjänsten anländer till platsen. Hur branden påverkar övriga lokaler i byggnaden studeras också för att kontrollera möjliga spridningsvägar. Detta sker genom att med hjälp av datorsimuleringar i programmet CFAST och beräkningar undersöka hur branden sprider sig mellan rummen och till takkonstruktionen. I simuleringarna antas brandbelastningen i alla rum motsvaras av en soffa.

1.1 Beskrivning av metoden

Då övertändning inträffar blir hela rummet involverat i brand och då simuleringssmodellen bygger på en tvåzonsmodell med ett varmare övre brandgaslager och ett kallare undre lager så är inte simuleringarna längre giltiga. Även om modellen inte längre är giltig så kommer branden i det verkliga fallet att fortsätta producera brännbara gaser. Då syrehalten i brandrummet sjunker kraftigt efter övertändning så kommer en del av dessa gaser inte kunna förbrännas där. Det förhöjda trycket i brandrummet leder till att de oförbrända gaserna pressas ut ur brandrummet genom trasiga fönster och till intilliggande rum och förbränns då de kommer i kontakt med syret där.

I simuleringarna har ett försök gjorts att ta hänsyn till att branden även efter övertändning bidrar till effektutvecklingen i intilliggande rum. Detta har gjorts så att efter övertändning inträffat i brandrummet avbryts simuleringen och en del av de oförbrända gaser som skulle ha producerats efter den tidpunkten adderas till effektutvecklingen i nästa rum. Därefter görs en simulering för det nya rummet dit brandspridning har skett där det gamla brandrummet är borttaget. Den nya simuleringen blir således ett rum mindre men hänsyn har dock tagits till hur det skulle ha påverkat det nya förloppet.

Modellen kan inte ta hänsyn till hur den sjunkande syrehalten i de rum där det inte brinner påverkar brandspridningen. Effektutvecklingen i varje rum antas motsvara en soffa vilket är en förenkling av den verkliga brandbelastningen som kan vara både större eller mindre. Det antas dock ge en bild av hur det tidiga brandförloppet kan se ut.

1.2 Simuleringar

Simulering 1

Branden startar i sovrummet (rum 1). En effektkurva motsvarande en soffa används som indata /11/. Syftet med första simuleringen är att ta fram tiden till att fönstret går sönder, vilket antas vara då brandgastemperaturen är ungefär 300°C. Detta anses vara ett rimligt antagande då fönstren i byggnaden är av äldre modell.

Temperatur i rum 1

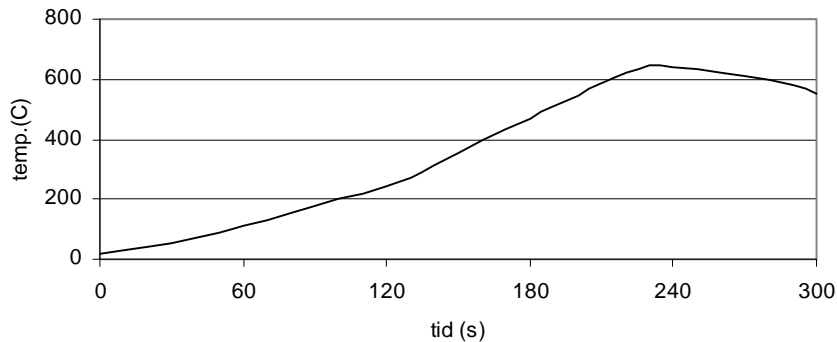


Diagram B1.1: Temperaturer i lägenheten, simulering 1.

Resultatet visar att efter drygt 2 minuter är temperaturen i brandrummet 300°C och fönstret går sönder: Den tiden används som indata i simulering 2.

Simulering 2

Syftet med denna simulering är att bestämma när övertändning sker och branden sprider sig till nästa rum. Brandförloppet är detsamma som i simulering 1 med tillägget att fönstret går sönder efter 2 minuter.

Temperaturer vid brand i rum 1

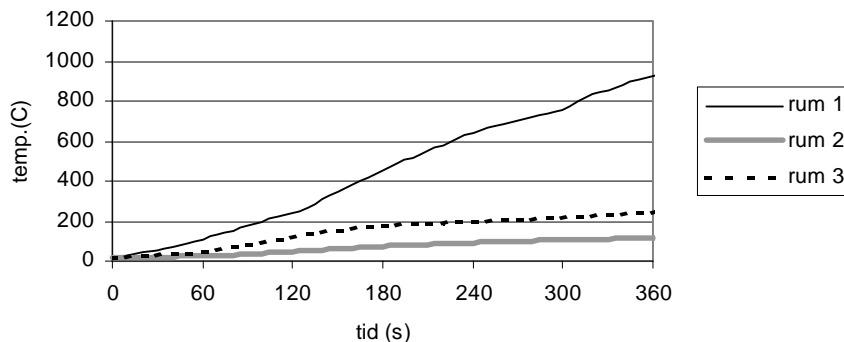


Diagram B1.2: Temperaturer i angränsande rum vid brand i rum 1

Resultatet ger att efter cirka 3,5 minuter är brandrummet övertänt och branden antas sprida sig till nästa rum (rum 3).

När övertändning inträffar sprider sig branden till nästa rum. Då modellen inte längre är giltig för brandrummet efter övertändning antas att de brandgaser som inte kan förbrännas i brandrummet på grund av syrebrist förbränts utanför rummet. Hälften av brandgaserna antas försvinna ut genom det trasiga fönstret och hälften förbränts i nästa rum.

Simulering 3

Brandspridning har skett till rum 3. Hälften av de oförbrända brandgaserna från rum 1 antas förbrännas i rum 3 och adderas till effektutvecklingen från det brännbara materialet i rum 3. Det tidigare brandrummet (rum 1) är borttaget i denna simulering men hänsyn är taget till de oförbrända brandgaser som skulle ha producerats där. Resultatet från simulering 2 visar att temperaturen i rum 3 är drygt 200°C då branden sprider sig. Under det tidiga brandförloppet

tar det ungefär en minut för temperaturen att stiga med 100° vilket innebär att fönstren i rum 3 går sönder efter cirka en minut efter att brandspridning skett.

Temperaturer vid brand i rum 3

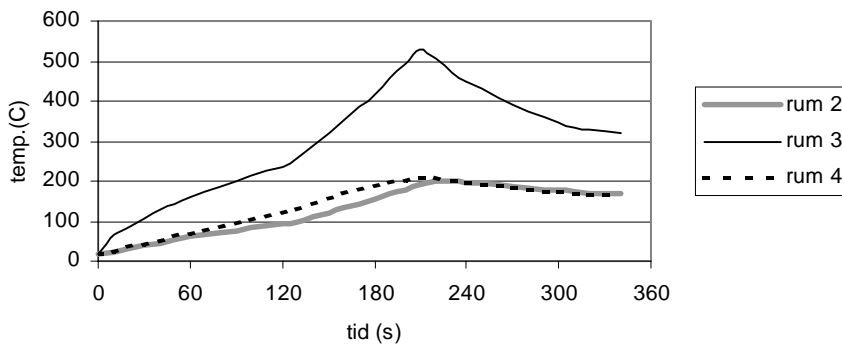


Diagram B1.3: Temperaturer i angränsande rum vid brand i rum 3

Effektutveckling

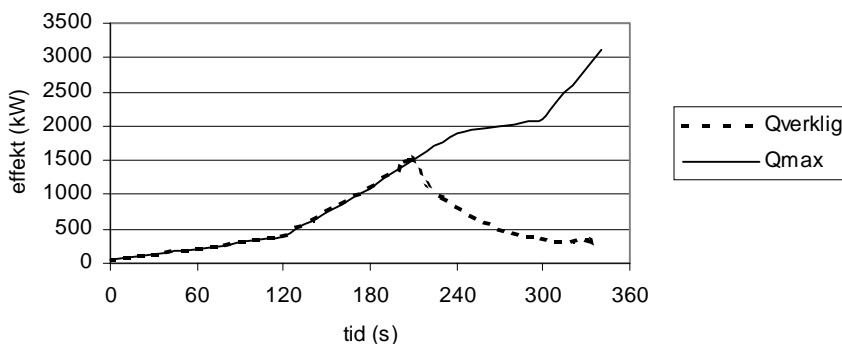


Diagram B1.4: Jämförelse mellan verklig och maximal effektutveckling

Från resultatet kan utläsas att ungefär 3,5 minuter efter branden spridits till rum 3 inträffar övertändning där. Branden blir ventilationskontrollerad och sprids till nästa rum, d.v.s. rum 2 och rum 4.

I Diagram B1.4 visas skillnaden mellan den effektutveckling som sker i brandrummet (Q_{verklig}) och den effektutveckling som skulle ske om inte branden blev ventilationskontrollerad (Q_{max}). Effektutvecklingen hos de oförbrända brandgaserna som bildas i brandrummet motsvaras av skillnaden mellan den maximala och den verkliga effektutvecklingen.

På detta sätt simuleras hur branden sprider sig från rum till rum till dess att hela lägenheten är involverad i brand.

Resultatet visar att det tar mellan tio och femton minuter till dess att det är en fullt utvecklad brand i hela lägenheten.

1.3 Maximal effektutveckling i brandrummen

I syfte att undersöka vilka resurser som krävs för att släcka branden i lägenheten beräknas den maximala effektutvecklingen för varje rum. Den beräknade effektutvecklingen används sedan för att uppskatta vilken släckkapacitet som är nödvändig för att släcka branden. Metoden är giltig för tiden efter övertändning inträffat och bygger på att allt syre som tillförs branden används till förbränning vilket motsvaras av en effektutveckling. Metoden är hämtad från /12/.

$$m_a = \text{massflödet av luft [kg/s]}$$

$$m_a = 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \quad A_o = \sum A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad \text{där } A_n \text{ är arean av öppning } n \text{ [m}^2\text{]}$$

$$H_o = \frac{A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2 + \dots + A_n \cdot h_n}{A_o} \quad \text{där } h_n \text{ är höjden på öppning } n$$

Luften antas bestå till 23% av syre och varje kilo syre som används till förbränning utvecklar en effekt på 13,2 MW vilket ger:

$$\dot{Q} = 0,23 \cdot 13,2 \cdot m_a = 0,5 \cdot 0,23 \cdot 13,2 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} = 1,52 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \quad [\text{MW}]$$

Öppningarna i rum 1 antas motsvaras av dels en öppning på 0,1x0,2 m och ett fönster på 1x1,5 m. Då temperaturen i brandrummet överstiger 300°C antas fönstren gå sönder. Öppningen som då bildas antas bli 75% av fönsterarean. Detta ger för rum 1 en maximal effektutveckling på:

$$A_o = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,75 + 0,1 \cdot 0,2 = 1,145$$

$$H_o = 1,125 \cdot 1,5 + 0,02 \cdot 0,2 = 1,477$$

$$\dot{Q} = 1,52 \cdot 1,145 \cdot \sqrt{1,477} = 2,1 \text{ MW}$$

På motsvarande sätt beräknas den maximala effektutvecklingen för de övriga rummen och dess respektive öppningar. Resultatet presenteras i tabell B1.1.

Brandrum	Tiden då fönstren går sönder (s)	Tiden då övertändning sker i brandrummet (s)	Maximal effektutveckling (MW)
1	120	220	2,1
3	280	430	3,9
2	500	560	4,2
4	500	560	2,1
5	620	740	2,1
6	800	800	2,1

Tabell B1.1: Resultatet av simuleringar i CFAST för lägenhetsbranden och de beräknade maximala effektutvecklingarna i brandrummen.

BILAGA 2

Brandspridning till takfot och yttervägg

Bilaga 2. Brandspridning till takfot och yttervägg

Syftet är att undersöka om en brandspridning till takfoten från brandrummet är möjlig. Detta sker genom att bestämma höjden på flammorna som kommer ut via de trasiga fönstren med en metod enligt /18/ vilken redovisas nedan. Fönstren i brandrummet går sönder efter cirka 2 minuter och övertändning inträffar efter ungefär 4 minuter.

2.1 Antändning av takfoten

Brandbelastning i sovrummet /6/:

Säng och fåtölj:	30 kg trä	$\Delta H_c = 19 \text{ MJ/kg}$
	10 kg polyuretan	$\Delta H_c = 29 \text{ MJ/kg}$
	5 kg tyg (bomull)	$\Delta H_c = 18 \text{ MJ/kg}$
Bokhylla:	100 kg trä	
Gardiner, mattor m.m.:	15 kg tyg (bomull)	

$$f = \frac{\sum_{n=1}^n \Delta H_{cn} \cdot M_n}{A_{tot}}$$

f = brandbelastningen [MJ/m²]

M_n = massan av materialet [kg]

ΔH_c = förbränningsvärmets [MJ/kg]

A_{tot} = brandrummets totala omslutningsarea [m²]

$$f = \sum_{n=1}^n \Delta H_{cn} \cdot M_n = 130 \cdot 19 + 10 \cdot 29 + 20 \cdot 18 = 3120 \text{ MJ}$$

$$A_{tot} = 2(4 \cdot 3,1 + 4 \cdot 2,6 + 3,1 \cdot 2,6) = 62 \text{ m}^2$$

$$f = \frac{3120}{62} = 50 \text{ MJ / m}^2$$

Flamhöjden från fönstret där z är höjden från fönstrets överkant till flamtoppen som är den punkt där temperaturen är 550°C /6/:

$$z + H = 12,8 \cdot \left(\frac{\dot{m}}{B} \right)^{2/3}$$

$$\dot{m} = \frac{M}{1200}$$

z = flamhöjden [m]

H = fönstrets höjd [m]

\dot{m} = förbränningshastigheten [kg/s]

B = fönsterbredd [m]

M = Massan brännbart material [kg]

Vilket ger:

$$m = \frac{160}{1200} = 0,13$$

$$z + 1,5 = 12,8 \cdot \left(\frac{0,13}{10} \right)^{2/3}$$

$$z = 1,84 \approx 2 \text{ m}$$

Flammans tjocklek vilket räknas som avståndet från fasaden:

$$\frac{x}{H} = \frac{0,454}{n^{0,53}} \quad x = \text{flammans tjocklek [m]}$$

$$n = \frac{2B}{H}$$

Vilket ger:

$$\frac{x}{1,5} = \frac{0,454}{\left(\frac{2 \cdot 1}{1,5} \right)^{0,53}}$$

$$x = 0,58 \approx 0,6 \text{ m}$$

Detta innebär att flamman når takfoten som sitter ungefär 0,5 meter ovanför fönstret. Försök med liknande konstruktioner där takfoten är konturerad av trä har visat att efter cirka 2 minuter antänds takfoten nära väggen /13/. Detta innebär att cirka 6 minuter efter brandstart har takfoten antänts.

2.2 Antändning av väggen intill fönstret

Metoden i detta avsnitt som använts för att bestämma infallande strålning är hämtad från /6/.

$$\dot{q}_{1,2}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \phi$$

$$\dot{q}_{1,2}'' = \text{infallande strålning [W/m}^2 \text{]}$$

$$\varepsilon = \text{emissiviteten [-]}$$

$$\sigma = \text{Stefan – Boltzmann konstant} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \text{ K}^4 \text{]}$$

$$T = \text{flamtemperatur [K]}$$

$$\phi = \text{synfaktorn [-]}$$

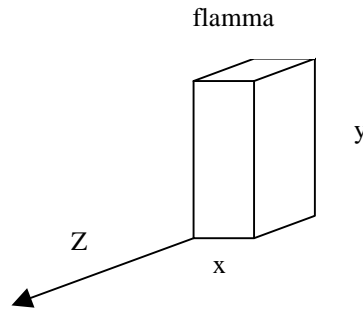
För en infallande strålning på 13 kW/m² och en flamtemperatur på 900°C ,s.79, /6/ samt en emissivitet på 0,4 (se Diagram B3.1 i Bilaga 3) blir synfaktorn:

$$\phi = \frac{\dot{q}_{1,2}''}{(\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4)} = \frac{13000}{0,4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4} = 0,303 \approx 0,30$$

Synfaktorn beräknas enligt:

$$S = \frac{y}{x}$$

$$\alpha = \frac{xy}{Z^2}$$



Vilket ger:

$$S = \frac{0,6}{1} = 0,6$$

$$\alpha = \frac{0,6 \cdot 1}{Z^2}$$

För en synfaktor på 0,30 blir $\alpha = 0,18 /6/$. Det ger ett avstånd Z på:

$$Z = \sqrt{\frac{S}{\alpha}} = \sqrt{\frac{0,6}{0,18}} = 0,18 \approx 0,2 \text{ m}$$

Detta innebär att cirka två decimeter av väggen bredvid fönstret kommer att antändas vilket också leder till en smärre utökning av branden i takfoten.

2.3 Strålning till tennishallens yttervägg.

Flammorna från fönstret och från branden i takfoten kan innebära att tennishallens yttervägg antänds. Fönstret är beläget 1,5 meter från tennishallens yttervägg och då cirka 0,2 meter av väggen bredvid fönstret antänts så blir avståndet från branden till väggen 1,3 meter. Antagas en flammhöjd på 1 meter ovan taket och för en flambredd på 0,6 meter så blir synfaktorn:

$$S = \frac{y}{x} = \frac{1}{0,6} = 1,67$$

$$\alpha = \frac{xy}{Z^2} = \frac{1 \cdot 0,6}{1,3^2} = 0,35$$

$$\phi = 0,074$$

Infallande strålning för flamtemperatur på 900°C och emissivitet på 0,9 (se Diagram B3.1 i Bilaga 3):

$$q''_{1,2} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \phi = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 \cdot 0,074 = 7148 \approx 7,1 \text{ kW} / \text{m}^2$$

Då trä kan antändas vid en infallande strålning på 13 kW/m² /6/ innebär det i detta fallet att det är inte är någon omedelbar risk för att branden skall sprida sig från takfoten till tennishallens yttervägg.

BILAGA 3

Ytflamspridning

Bilaga 3. Ytflamspridning

För att kunna bestämma hur branden fortskrider i tennishallen och vestibulen efter det att den har brunnit igenom väggarna behövs en modell som talar om hur branden sprider sig i dessa utrymmen. Till detta behövs en modell för ytflamspridning som redovisas för tennishallen steg för steg nedan. Metoden som använts bygger på Björn Karlssons metod enligt /19/ samt en del egna antaganden. Denna modell har även använts för beräkning av flamspridning i vestibulen, dessa beräkningar redovisas i 3.2.

3.1 Ytflamspridning i tennishall

1. Antag att den brandpåverkade väggen håller för branden i dimensionerat antal minuter. Efter denna tid bildas läckageytor vilket antas motsvara 2,5 % av den brandpåverkade väggens totala yta. Den aktuella väggen i detta fall är den 10 m² stora vägg mot sovrummet, där branden antas börja, vilket är avskild i brandteknisk klass B30 mot tennishallen. Detta resulterar i en 0,25 m² stor läckageyta efter 30 minuter. Denna läckageytas bredd skall alltid sättas till minst 1 meter för att en accelererande flamspridning skall erhållas.

2. Beräkna därefter medeleffektutvecklingen per kvadratmeter brunnit material av branden i väggen, eller använd värden strax under de för maximal effektutveckling enligt tabell 6.3 i Bilaga 6. I detta fallet görs beräkningarna med värden för gammalt trä som har en förbränningshastighet på cirka 1mm/min /20/

$$\dot{Q}'' = \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c \quad \text{där } \dot{m}'' = \rho \cdot v$$

\dot{Q}'' = effektutveckling per ytenhet [kW/m²]

v = förbränningshastigheten, här 1mm/min

ρ = densiteten, här 510 kg/m³

ΔH_c = förbränningsenergi, här 20 MJ/kg

χ = förbränningseffektiviteten, här 0,8

Detta ger:

$$\dot{m}'' = 510 \cdot \frac{0,001}{60} = 0,0085 \text{ kg} / \text{s} \cdot \text{m}^2$$

$$\dot{Q}'' = \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c = 0,0085 \cdot 0,8 \cdot 20 = 136 \text{ kW} / \text{m}^2$$

3. Flammans värmefflöde mot väggen skall beräknas. Det totala värmefflödet mot väggen består av både konvektion och strålning.

$$\dot{q}_{e_{tot}}'' = \dot{q}_c'' + \dot{q}_r''$$

där den konvektiva delen är: $\dot{q}_c'' = h \cdot \Delta T$

och strålningsdelen är: $\dot{q}_r'' = \phi \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$

h = värmeövergångstalet, detta är vid brand utefter vägg ungefär $10 \text{ W/m}^2\text{K}$
 ΔT = temperaturdifferensen mellan flamma och vägg, här 875 K

detta ger:

$$\dot{q}_c'' = 10 \cdot 875 = 8750 \text{ W/m}^2 = \mathbf{8,75 \text{ kW/m}^2}$$

En faktor som har stor inverkan på strålningen är emissionstalet, detta fås fram genom att flammans medeltjocklek utefter hela väggen uppskattas och därefter kan flammans emissionstal bestämmas. För flammor från träbaserat bränsle kan emissionstalet läsas av från Diagram B3.1 /6/. I detta fall har flammornas medeltjocklek uppskattats till 40 cm och detta ger ett emissionstal på $0,3$.

Emissionstal för flamma

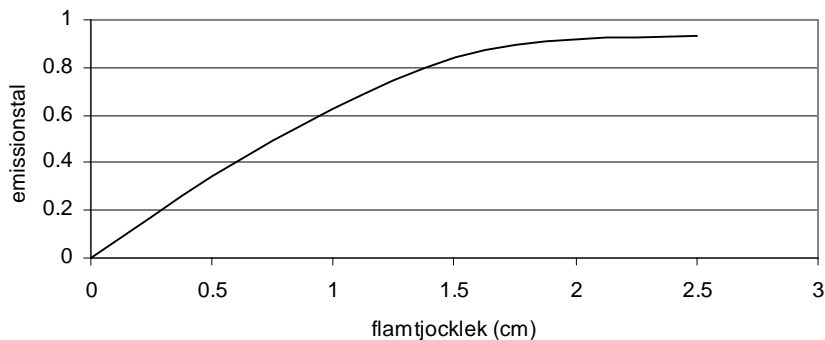


Diagram B3.1: Emissionstal (ϵ) för olika flamtjocklekar

strålningsdelen : $\dot{q}_r'' = \phi \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$

ϕ = synfaktorn, här 1

ϵ = emissionstalet, här $0,3$

σ = Stefan-Boltzmanns konstant, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T = Flammans temperatur i Kelvin, här 1173 K

$$\dot{q}_r'' = 1 \cdot 0,3 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 = 32200 \text{ W/m}^2 = \mathbf{32,2 \text{ kW/m}^2}$$

Totala värmeflödet blir då: $\dot{q}_{e_{tot}}'' = \dot{q}_c'' + \dot{q}_r'' = 8,75 + 32,2 = 40,95 \text{ kW/m}^2 \approx \mathbf{40 \text{ kW/m}^2}$

4. Nu kan ytflamspridningshastigheten beräknas med hjälp av följande formler /19/:

$$V(t) = \frac{K \cdot Q_b}{\tau} \cdot A \cdot e^{(A-1) \cdot t / \tau} \quad [\text{ekv 1}]$$

$$A = K \cdot \dot{Q}_{ave}'' \cdot W \quad [\text{ekv 2}]$$

$$\tau = \frac{\pi \cdot k \rho c \cdot (T_{ig} - T_0)^2}{4 \cdot \dot{q}_{tot}''^2} \quad [\text{ekv 3}]$$

OBS!

För att inte flamspridningshastigheten skall minska måste $A > 1$, detta blir fallet för alla material i tabell B6.3 om bredden W på den genombrunna arean sättes till minst 1m.

Här kan ses att om $A > 1$ så kommer flamspridningshastigheten att öka exponentiellt, för $A < 1$ kommer hastigheten att minska och om $A = 1$ så kommer flammorna spridas uppåt med en konstant hastighet. Värdet på hastigheten kommer att bero på tiden till antändning, τ , brännareffekten, Q_b , (som i de aktuella fallen kommer att vara effekten av ytan som brinner initialt), flamhöjdskonstanten, K och bredden på det brinnande materialet som skall sättas till minst 1 meter.

$V(t)$ = ytflamspridningshastighet, [m/s]

K = flamhöjdskonstant, denna varierar med scenario enligt nedan, här 0,01m/kW

Q_b = brännareffekt, detta sätts som effekten av arean som brinner inledningsvis, här $0,25\text{m}^2 \cdot 136\text{kW/m}^2 = 34\text{ kW}$

τ = tid till antändning [s]

\dot{Q}_{ave}'' = medeleffekt/m² brunnat material enligt punkt 2 ovan, här 136 kW/m²

t = tid [s]

W = bredden på det brinnande materialet, här 1m

$k\rho c$ = material faktor [kW²s/m⁴K²]

T_{ig} = antändningstemperatur [°C]

T_0 = initial temperatur [°C]

Flamhöjdskonstanten K

Scenario	Värde på K
Flamspridning uppför vägg	0,01
Flamspridning i ett hörn	0,015

För olika material kan data hittas i tabell 6.3 i Bilaga 6, här har materialet S12 valts och detta ger följande materialdata:

$$k\rho c = 0,489\text{kW}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$$

$$T_{ig} = 429\text{ °C}$$

$$T_0 = \text{materialets initialtemperatur, här } 25\text{ °C}$$

Beräkningar ger:

$$\tau = 39,18 \text{ s}$$

$$A = 1,36$$

Insatta i ekvation 1 ger detta sedan ytflamspridningshastigheten efter väggen som funktion av tiden. Denna räknas sedan ut för varje tidssteg fram till dess att taket brinner. Resultatet från beräkningarna redovisas i Diagram B3.2 nedan.

5. Det som nu är intressant är pyrolyshöjden som funktion av tiden, denna blir

$$x_p(t) = x_{p0} + \int V(t_p) dt_p$$

om denna integral löses med $x_{p0} = K \cdot Q_b$ erhålls

$$x_p(t) = K \cdot Q_b + \frac{K \cdot Q_b \cdot A}{(A-1)} \cdot (e^{(A-1)t/\tau} - 1)$$

därefter sätts värdena enligt ovan in och resultatet för detta fall redovisas i Diagram B3.3

6. Effektutvecklingen i väggen approximeras med att ta den pyrolyserade ytans area multiplicerat med medeleffektutvecklingen av ytan, d.v.s. att den totala effektutvecklingen är $\dot{Q}_{\text{ave}} \cdot \text{pyrolyserad yta} = Q_{\text{tot}}$. Resultatet för detta fall redovisas nedan i Diagram B3.4.

7. Nästa steg blir att undersöka hur lång tid det tar till dess att den pyrolyserade ytan når taket, efter denna tid kommer takflamspridning ta vid istället för väggflamspridning.

8. För att beräkna takflamspridning i stora utrymmen finns idag inga bra metoder. En approximation kan fås genom att använda nedanstående metod.

När flammorna når taket kommer de att bli tunnare än vad de är överst på väggen, därför användes samma q''_e som tidigare (totala strålningen mot väggen), denna var ju uträknat på medeltjockleken över hela väggen och kommer därför att stämma bra om flammen blir tunnare.

Flammorna kommer även att bli kortare samt spridas i radiell riktning under taket, därför antas att samma ytflamspridningshastighet råder över hela taket som rådde då pyrolyszonen nådde taket. Nu kommer dock flammorna att spridas radiellt under taket och pyrolyserad takyta kommer att vara $(\pi \cdot r^2)/2$, där $r = V \cdot t$ och $t=0$ då pyrolyszonen når taket. Den totala pyrolyserade ytan kommer nu att vara *väggytan + pyrolyserad takyta*. Detta kommer att gälla till dess att hela taket brinner och därefter är den totala pyrolysytan konstant.

I detta fall är takhöjden 7 meter (höjd från genombrunnen yta till tak), d.v.s. hastigheten blir konstant då $x_p = 7 \text{ m}$ och då startar även radiell spridning av pyrolyserad zon. Totala takytan uppgår till cirka 500 m^2 i en av tennishallarna.

Resultaten från dessa beräkningar redovisas nedan i Diagram B3.2 – B3.4.

9. För kontroll av spridningshastigheten i sidled används följande formel /21/

$$V = \frac{\Phi}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2}$$

V = ytflamspridningshastigheten, m/s

$k\rho c$ = material faktor, $\text{kW}^2/\text{s/m}^4\text{K}^2$

T_{ig} = antändningstemperatur, °C

T_s = yttemperatur, °C

Φ = materialfaktor, kW^2/m^3

För materialet S12 i tabell 6.3 ger detta följande materialdata:

$$k\rho c = 0,489 \text{ kW}^2/\text{s/m}^4\text{K}^2$$

$$T_{ig} = 429 \text{ °C}$$

$$T_s = 25 \text{ °C}$$

$$\Phi = 20,5 \text{ kW}^2/\text{m}^3$$

beräkningar ger en ytflamspridningshastighet på 0,26 mm/s, vilket antas vara försumbart i detta sammanhang.

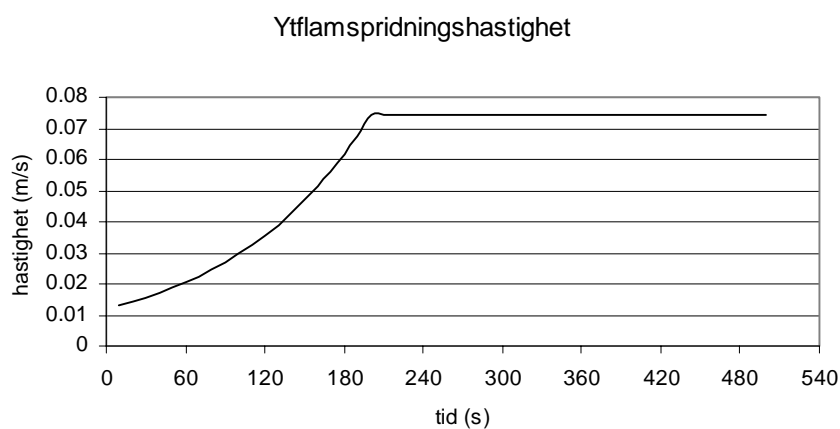


Diagram B3.2: Ytflamspridningshastigheten i tennishallen

Pyrolyserad yta

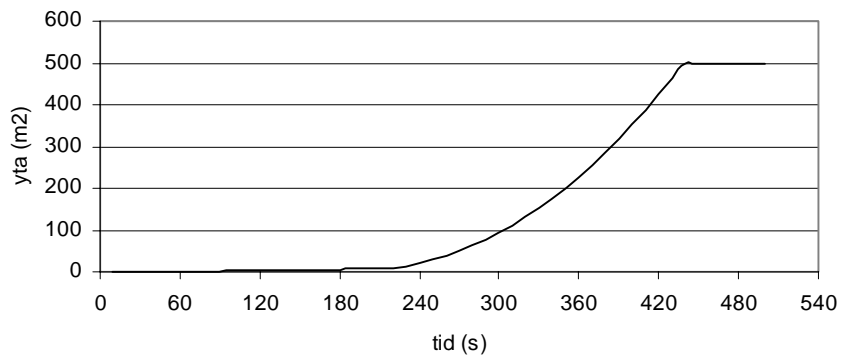


Diagram B3.3: Pyrolyserad yta vid brand i tennishallen

Effektutveckling

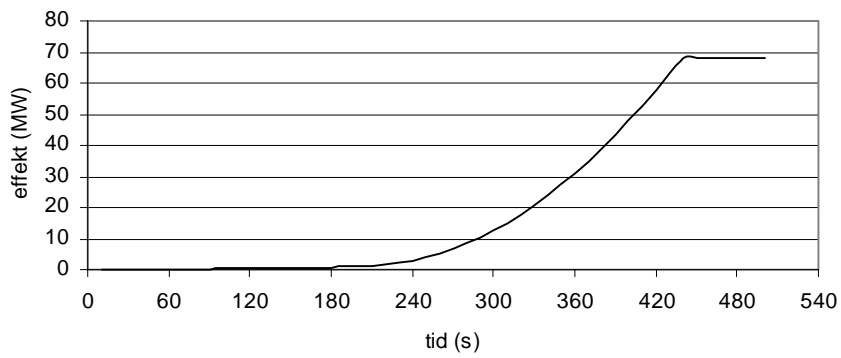


Diagram B3.4: Effektutveckling i tennishallen

3.2 Ytflamspridning i vestibul

För att kunna bestämma hur snabbt branden sprider sig i vestibulen har samma modell som ovan använts.

1. 2,5% av väggens totala yta ger en läckageyta på $0,19 \text{ m}^2$. Branden beräknas bryta igenom väggen efter cirka 10 minuter påverkan, d.v.s. 25 minuter efter brandstart.
2. Medeleffektutvecklingen i väggmaterialet är samma som ovan d.v.s. 136 kW/m^2
3. Flammornas konvektiva värmefflöde är samma som ovan d.v.s. $8,75 \text{ kW/m}^2$. Flammornas medeltjocklek antas till cirka 20 cm, detta ger ett emissionstal på 0,15 vilket resulterar i en strålning på 16 kW/m^2 . Detta ger ett totalt värmefflöde på 25 kW/m^2 .
4. Materialet i vestibulen är samma som i tennishallen och resultatet av beräkningar enligt stegen 4-8 ovan redovisas i Diagram B3.5 - B3.7 nedan.

Resultaten visar att branden når tennishallen ungefär 6-7 minuter efter det att branden brutit igenom väggen till vestibulen. Detta innebär att branden når tennishallen ungefär 30 minuter efter brandstart.

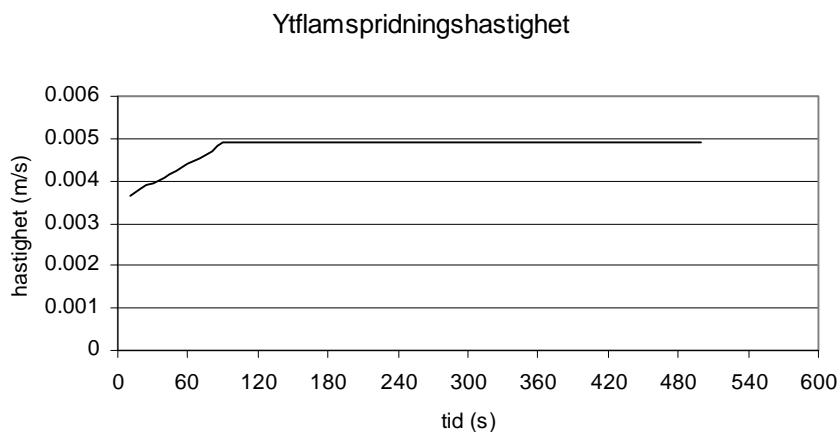


Diagram B3.5: Ytflamspridningshastighet i vestibulen

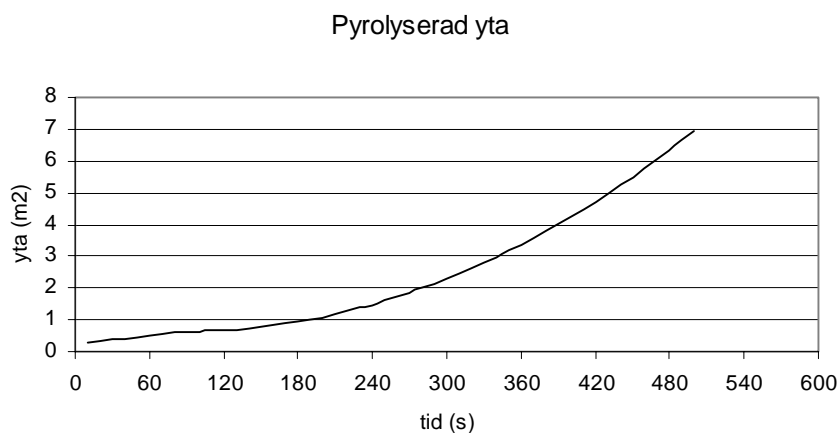


Diagram B3.6: Pyrolyserad yta vid brand i vestibulen

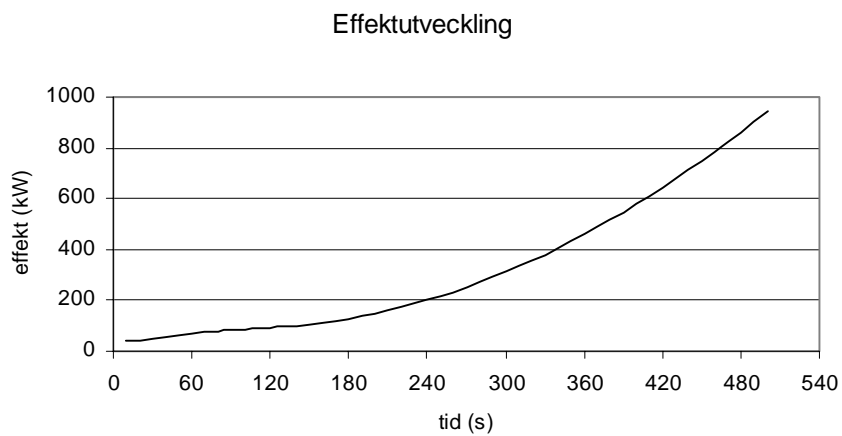


Diagram B3.7: Effektutveckling i vestibulen

BILAGA 4

Brand i vestibulen

Bilaga 4. Brand i vestibulen

Vid CFAST simuleringar på branden i vestibulen har effektkurvan som erhöles i ytflamspridningsberäkningarna (se Bilaga 3.2) använt som indata. Simuleringarna visar att en övertändning i vestibulen inträffar ungefär samtidigt som branden når tennishallen d.v.s. efter 6-7 minuter från det att branden brutit genom väggen mellan lägenheten och vestibulen. Resultatet från simuleringarna redovisas i Diagram B4.1 – B4.3 nedan.

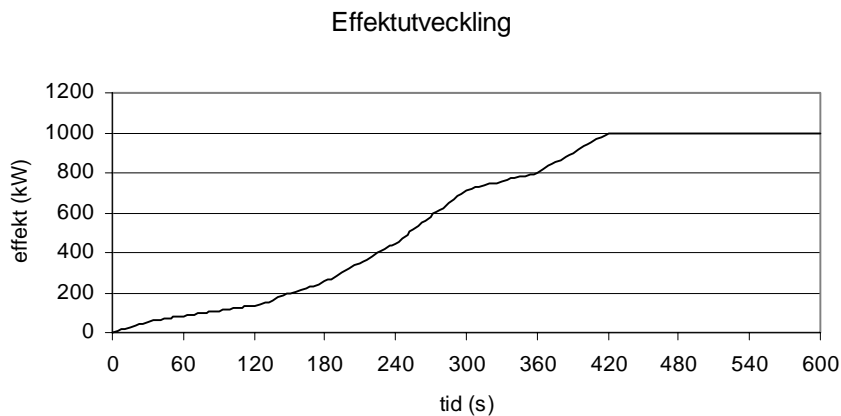


Diagram B4.1: Effektutveckling vid brand i vestibulen

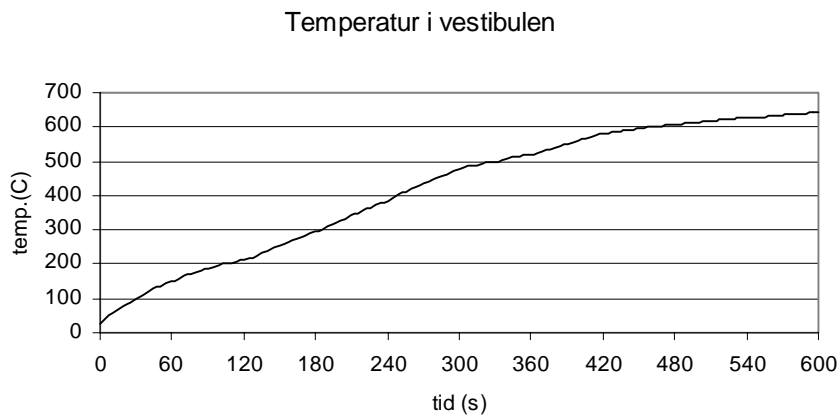


Diagram B4.2: Temperatur vid brand i vestibulen

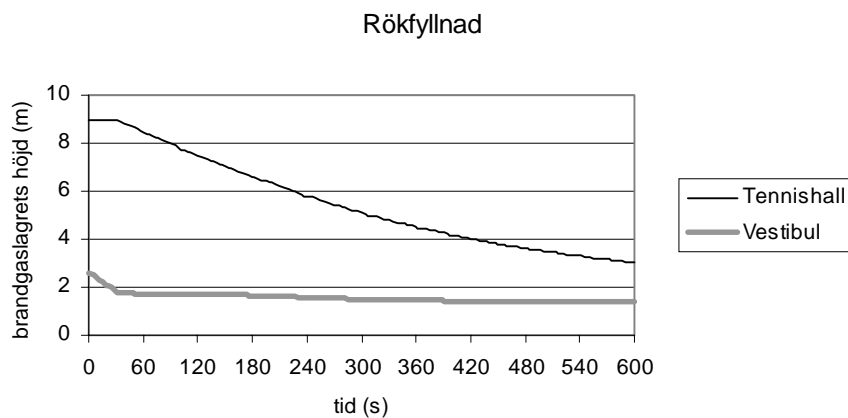


Diagram B4.3: Brandgaslagrets höjd ovan golv i tennishallen och vestibulen vid brand i vestibulen

BILAGA 5

Brand i tennishallarna

Bilaga 5. Brand i tennishallarna

Syftet med att undersöka brandförloppet i tennishallarna är för att bestämma rökfyltnadshastigheten, tiden till övertändning och strålningen från branden.

Branden startar i den trävägg som avskiljer tennishallarna från lägenheten ungefär 30 minuter efter branden startat i lägenheten. Branden sprider sig uppåt längs väggen och ut efter innertaket. Effektutvecklingen som används till indata i simuleringarna är beräknade med modellen för ytflamspridning (för beräkningar se Bilaga 3.1). Om branden i simuleringarna successivt höjs upp längs med väggen så medför det att effektutvecklingen snabbt avtar då branden hamnar i nivå med brandgaslagret. En sådan simulering tar heller inte hänsyn till att en del av branden fortfarande existerar under den nivån. Därför är branden i simuleringarna under hela förloppet placerad i golvnivå vilket efter försök har visat sig bäst motsvara det verkliga fallet /22/.

Den infallande strålningen mot golv har beräknats med samma metod som beskrivs i Bilaga 2. Synfaktorn har antagits vara 1 i beräkningarna, men kontrollberäkningar enligt /23/ av den verkliga synfaktorn för några avstånd mellan brandgaslagret och golvet har dock gjorts. Resultatet av kontrollberäkningarna visar att då strålningsnivån närmar sig kritiska värden så är antagandet giltigt.

Den infallande strålningen ges av:

$$\begin{aligned}
 \dot{q}_{1,2}'' &= \text{infallande strålning} [\text{W/m}^2] \\
 \varepsilon &= \text{emissiviteten} [-] \\
 \dot{q}_{1,2}'' &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \phi \\
 \sigma &= \text{Stefan – Boltzmann konstant} = 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W/m}^2 \text{K}^4] \\
 T &= \text{flamtemperatur} [\text{K}] \\
 \phi &= \text{synfaktorn} [-]
 \end{aligned}$$

där temperaturen och emissiviteten (se Diagram B3.1 i Bilaga 3) vilken beror på brandgaslagrets tjocklek ges av resultatet från simuleringarna i CFAST.

Resultatet från simuleringarna (se Diagram B5.1-B5.3) och beräkningarna (se Diagram B5.4) visar att brandgaser börjar att tränga in i den andra tennishallen efter drygt 5 minuter och att övertändning inträffar i hall 1 efter cirka 7 minuter. Brandgaslagrets har då sjunkit till under två meter ovanför golvet och temperaturen i hall 2 är då ungefär 150°C.

Efter ungefär 7 minuter då övertändning inträffat i hall 1 kommer temperaturen i hall 2 snabbt att stiga då branden sprids med de oförbrända gaser och lågor från branden som tränger in genom öppningarna mellan hallarna. Den mot golvet infallande strålningen överstiger 20 kW/m² efter knappt sju minuter vilket ofta används som kriterium för övertändning /6/.

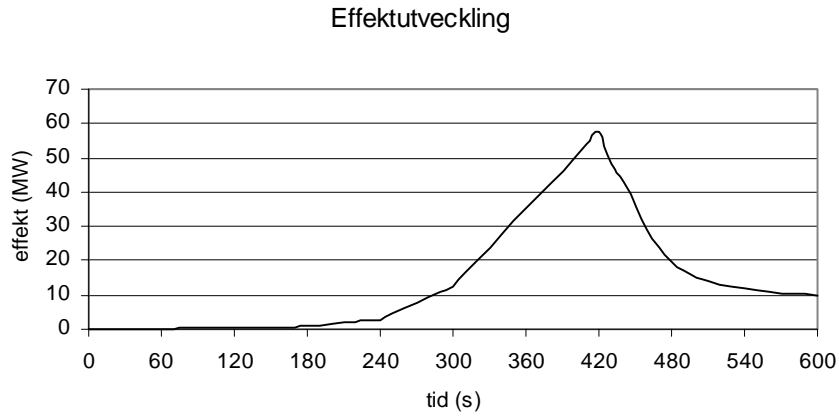


Diagram B5.1: Effektutveckling vid brand i tennishallarna

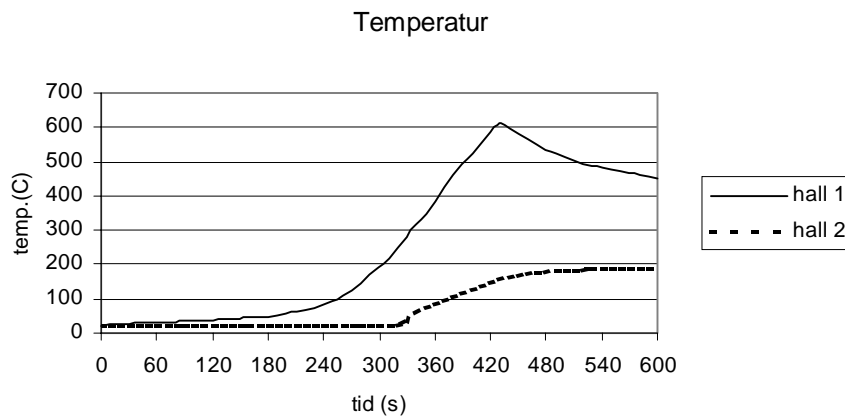


Diagram B5.2: Temperaturer i tennishallarna, initialbranden är i brand i hall 1

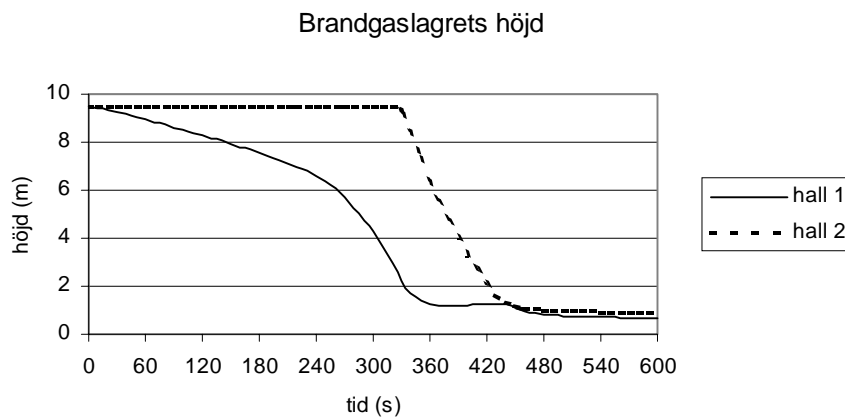


Diagram B5.3: Brandgaslagrets höjd ovan golv i tennishallarna

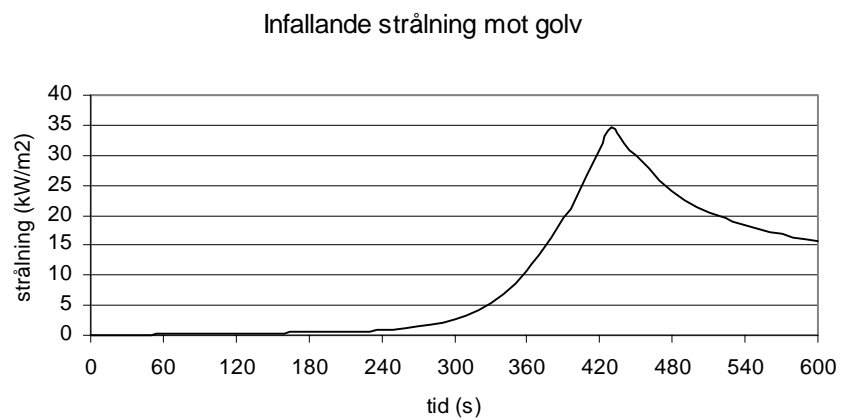


Diagram B5.4: Infallande strålning mot golv i hall 1

BILAGA 6

Tabeller

Bilaga 6. Tabeller

6.1 Tabell över släckkapacitet

Utrustning	Vattenflöde [l/min]	Effektivitetsfakto r [-]	Släckkapacitet [MW]
Standardstrålrör (7 mm)	80	0,4	1,4
Standardstrålrör (14 mm)	290	0,4	5,0
Standardstrålrör (22 mm)	550	0,3	7,2
Hög-kapacitetsstrålrör	1000	0,3	13
Vattenkanon	2400	0,2	21
Dimspik	70	0,2	2,6
Dimstrålrör	300	0,2	11
Dimstrålrör	475	0,2	17

Tabell B6.1: Släckkapacitet för olika typer av munstycken. Med släckkapacitet avses vattnets förmåga att absorbera värme och effektivitetsfaktorn avser hur stor del av vattnet som åtgår till förångning. Uppgifterna är hämtade från /8/

6.2 Olika delkomponenters bidrag till brandmotståndet

BYGGNADSDDEL	MATERIAL Typ	Tjocklek (mm)	BRANDMOTSTÅND (min)
INNERTAK	Puts på rörning	f 20	20 – 25
	Spontade brädor	15	5 – 10
		20	10 – 15
			15 – 20
	Porös träfiberskiva		5 – 10
	Glespanel max 10 mm springor	19	10 – 15*
	Beklädnadsskivor som är typgodkända som tändskyddande beklädnad		10
Gipsskivor	13	15 – 20	
UNDERTAK	Typgodkända som tändskyddande beklädnad		10
	Typgodkända i klass A15		15
	Typgodkända i klass A30		30
BLINDBOTTEN	Spräck- eller glespanel max 10 mm springor		10 – 15*
		19	10 – 15*
FYLLNING	Löst fyllnadsmaterial		0
GOLV	Spontade brädor	20	10 - 15
		25	15 – 20
		30	20 – 25
	Spånskivor	10	10 – 15
		16	15 – 20
		22	20 – 25

Tabell B6.2: Olika delkomponenters bidrag till brandmotståndet. Uppgifterna är hämtade från /7/

*Gäller endast om det finns minst 100 mm fyllning (ej sand) ovanpå panelen.

6.3 Materialdata

Material nr	Tjocklek [mm]	Vikt [kg/m ² eller kg/m ³]	\dot{Q}_{\max}'' [kW/m ²]	$\dot{q}_{0,ig}''$ [kW/m ²]	T _{ig} [°C]	k _{pc} [kW ² s/m ⁴ K ²]	φ [kW ² /m ³]
S1 Insulating fibreboard	13	3,25 kg/m ²	184	19	423	0,204	12,9
S2 Medium density fibreboard	12	7,2 kg/m ²	208	17,5	406	0,621	9,1
S3 Particle board	10	7,5 kg/m ²	204	18,0	412	0,653	9,1
S4 Gypsum plaster board	13	9,1 kg/m ²	151	27,5	503	0,546	14,7
S5 PVC wallcovering on gypsum plaster board	13,7	9,34 kg/m ²	210	17,5	406	0,217	12,6
S6 Paper wallcovering on gypsum plaster board	13,6	9,3 kg/m ²	254	18,0	412	0,580	0,6
S7 Textile wallcovering on gypsum plaster board	13,7	9,47 kg/m ²	408	18,0	412	0,570	9,1
S8 Textile wallcovering on mineral wool	42,7	7,87 kg/m ²	466	16,6	396	0,190	8,7
S9 Melamine faced particle board	14,2	11,5 kg/m ²	150	27,0	500	0,403	0,5
S10 Expanded polystyrene	50	1,0 kg/m ²	-	20,0	434	0,372	14,9
S11 Rigid polyurethane foam	30	0,9 kg/m ²	247	10,0	302	0,068	6,7
S12 Wood panel, spruce	11	5,8 kg/m ²	168	19,5	429	0,489	20,5
S13 Paper wallcovering on particle board	10,6	7,7 kg/m ²	197	19,0	423	0,595	4,9
E1 Painted gypsum paper plaster board	13	9,5 kg/m ²		33,8	552	0,7206	
E2 Ordinary plywood	12	725 kg/m ³		16,3	392	0,9746	
E2 Ordinary plywood	13	9,8 kg/m ²		15,9	387	0,77147	
E4 Melamine faced high density non combustible board	13	14 kg/m ²		46,7	631	0,3036	
E5 Plastic faced steel sheet on mineral wool	25	16,3 kg/m ²		35,4	563	0,5707	
E6 FR particle board type B1	16	630 kg/m ³		- ^a	- ^a	- ^a	
E7 Faced rockwool	30	2,6 kg/m ²		13,4	355	0,0815	
E8 FR particle board	12	755 kg/m ³		- ^a	- ^a	- ^a	
E9 Polyurethane foam covered with steel sheet	80	12,6 kg/m ²		26,4	495	0,5390	
E10 PVC-wall carpet on gypsum paper plaster board	13	10,6 kg/m ²		16,2	391	0,5451	
E11 FR polystyrene	25	37 kg/m ³		32,3	541	0,4892	

Tabell B6.3: Värderna för olika typer av material, uppgifterna är hämtade från /21/

^a materialet antändes ej

BILAGA 7

Insatsplan

Bilaga 7. Insatsplan