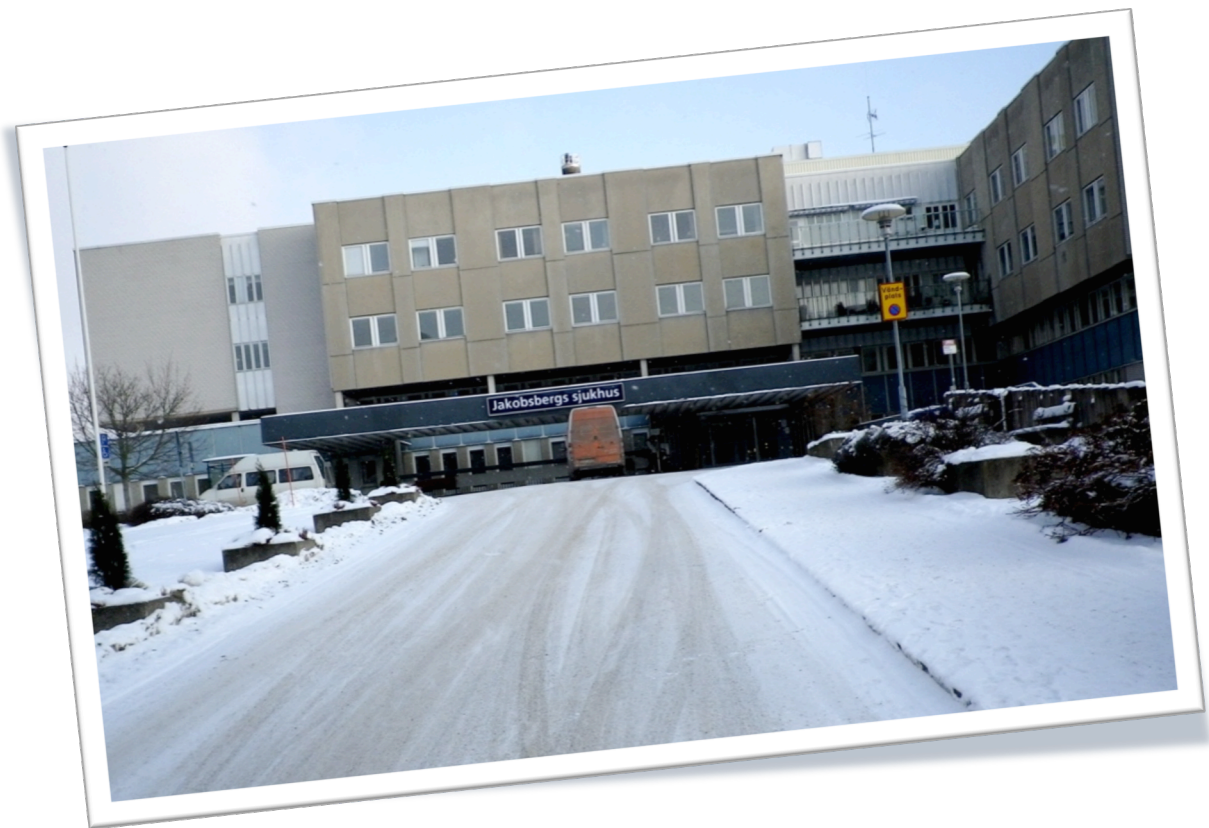

Brandteknisk riskvärdering av

Jakobsbergs sjukhus



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Charlotte Berggren
Nina Gustafsson
Erika Parfors
Jens Åhman

Rapport 9415
Lund 2012

Brandteknisk riskvärdering av Jakobsbergs sjukhus



Charlotte Berggren
Nina Gustafsson
Erika Parfors
Jens Åhman

Lund 2012

Följande rapport är framtagen i undervisningen. Det huvudsakliga syftet har varit träning i problemlösning och metodik. Rapportens slutsatser och beräkningsresultat har inte kvalitetsgranskats i den omfattning som krävs för kvalitetssäkring. Rapporten måste därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Avdelningen för Brandteknik och
Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Box 118
221 00 Lund

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

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Jakobsbergs sjukhus
Fire Safety Evaluation of Jakobsberg's hospital

Rapport/Report 9415

© Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola 2012.

Författare/Authors

Charlotte Berggren
Nina Gustafsson
Erika Parfors
Jens Åhman

Nyckelord

Brand, brandscenario, brandskydd, brandteknisk riskvärdering, CFAST, DETACT QS, effektutveckling, ERM, Jakobsbergs sjukhus, kritiska förhållanden, känslighetsanalys, Locum, personsäkerhet, riskbedömning, simulering, utrymning.

Keywords

CFAST, critical conditions, DETACT QS, ERM, evacuation, fire, fire scenario, fire safety, fire safety evaluation, heat release rate, human safety, Jakobsberg's hospital, Locum, risk evaluation, sensitivity analysis, simulation.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Abstract

This report is an evaluation of the fire safety at Jakobsberg's hospital outside Stockholm. The report is a part of the course in *Fire Safety Evaluation* that is given at the Faculty of Engineering at Lund University. The evaluation follows a scheme that was developed on a basis of prior learning at the Fire Protection Engineering Program and focuses on risks concerning life and health. The work started with an on-site identification of possible fire scenarios. The scenarios were ranked relatively to each other by comparing probabilities and consequences. The three most relevant scenarios were investigated further. Calculations were carried out regarding the spread of fire and smoke as well as evacuation. The conclusion is that fire safety at the hospital is almost satisfying, some efforts should be made to further improve the protection. Recommended improvements concerns better education of personnel and inspection of fire compartments to ensure that they are properly constructed.

Förord

Det är alltid spännande att se hur en rapport växer fram, hur tankegångar utvecklas och till slut skickas till tryckeriet. Författandet av denna rapport har verkligen knutit ihop de samlade kunskaperna från brandingenjörsprogrammet.

Vi har flera personer att tacka för delaktighet och stöd under arbetets gång:

Håkan Frantzich, universitetslektor vid avdelningen för brandteknik och riskhantering LTH, för exemplarisk handledning och trevliga kaffepauser.

Ola Ericsson, brandingenjör brandkåren Attunda, för ett bra mottagande som ledde till ett trevligt platsbesök.

Jonas Fager, driftsansvarig, samt övrig personal vid Jakobsbergs sjukhus för trevligt bemötande och vilja att hjälpa till med information.

Polina Gordonova, ventilationsexpert, för kommenterar om ventilationssystemet.

Birgitta Nordqvist vid avdelningen för ventilationsteknik för hjälp med ventilationssystemet.

Vårdpersonalen på avdelning 6 & 7 för svar på enkäter och tålamod vid platsbesöket.

Lund, april 2012

Charlotte, Erika, Jens & Nina

"Siktar man mot stjärnorna så kanske man kommer till... berget?"

Erika Parfors

Nomenklatur

A	Area på bränsleyta [m ²]
B	Bredd [m]
D	Avstånd från strålande platta mot punkt [m]
D _f	Bränsleytans diameter [m]
D _{L,10log}	Röktäthet [obscura]
D _{0,10log}	Rökpotential [ob·m ³ /g]
H	Höjd [m]
h _k	Effektiv värmeledningskoefficient [W/m ² K]
I	Dämpad ljusintensitet [-]
I ₀	Odämpad ljusintensitet [-]
k _{pc}	Termisk tröghet [W ² s/m ⁴ K ²]
L	Längd [m]
L _f	Flamhöjd [m]
L ₁	Minsta längd, kvadrant i strålande flamma [m]
L ₂	Största längd, kvadrant i strålande flamma [m]
m	Massa [g]
m _p	Massflöde i plymen [g/s]
m ^{''}	Massflöde från bränsleyta [g/m ² s]
m _{kritisk}	Förbränd massa vid kritisk sikt [g]
n	Antal
Q	Energiinnehåll [kJ]
Q̇	Effektutveckling [kW]
Q̇ _c	Konvektiv effektutveckling [kW]
Q̇ _t	Effektutveckling vid aktuell tid [kW]
Q̇ _{max}	Maximal effektutveckling
q ^{''}	Värmestrålning [kW/m ²]
R ²	Determinationskoefficient
S	Konfigurationsvariabel för synfaktor [-]
T	Temperatur [K/°C]
t	Tid [s]
t _{maxeffekt}	Tid då maximal effekt nås [s]
T _g	Temperatur i brandgaslager [K, °C]
V	Volym [m ³]
V _{kritisk}	Kritisk volym [m ³]
z	Höjd över golvet [m]
z ₀	Virtuellt ursprung för flamman
α	Brandens tillväxtfaktor [kW/s ²]
α _s	Konfigurationsvariabel för synfaktor [-]
ε	Emissivitet [-]
σ	Stefan-Bolzmanns konstant [5,67 · 10 ⁻⁸ W/(m ² K ⁴)]
Φ	Synfaktor/Konfigurationsfaktor
ρ̄ _g	Brandgasernas medeldensitet

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Jakobsbergs sjukhus utanför Stockholm. Projektet utgör större delen av kursen Brandteknisk riskvärdering, VBR054, vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten syftar till att granska brandskyddet med utgångspunkt i personsäkerhet och utrymning i händelse av brand.

Jakobsbergs sjukhus är beläget nordväst om Stockholm och består av sex våningsplan. Här finns vårdavdelningar, vårdcentral, apotek, kafé och fläktrum. Verksamheten är främst inriktad på psykiatri och geriatrik. Rapporten är i huvudsak avgränsad till de geriatriska avdelningarna då de psykiatriska är slutna och övriga är under ombyggnad. Avdelning 5 kunde inte besökas vilket innebär att avdelning 6 och 7 på våningsplan 5 har valts för analys. Även kafeterian på plan 2 behandlas kort i rapporten. Beläggning och personalstyrka på respektive avdelning är ungefär densamma med cirka 20 patienter och 15 vårdare. Sjukhusets utrymningsstrategi är att personalen på avdelningen först ska försöka släcka branden och sedan utrymma till annan brandcell på samma våningsplan.

Den brandtekniska riskvärderingen inleddes med ett platsbesök i februari 2012 då byggnaden och det befintliga brandskyddet granskades. Personalen fick svara på enkäter med korta frågor kring brandskyddsutbildning. Utifrån detta genomfördes en riskbaserad grovanalys. Tre brandscenarier valdes ut och har analyserats ytterligare, de anses representera flera olika tillbud och utmanar sjukhusets befintliga brandskydd:

- **Brand i kök** - Köket är enligt statistik ett vanligt startutrymme och brandspridning till väg till utrymningsväg bedöms vara snabb i detta scenario.
- **Brand i patientrum** - Scenariot medför direkt fara för den boende, branden kan dessutom ta längre tid att upptäcka då den inte uppstår i ett allmänt utrymme. Scenariot anses vara representativt för alla patientrum och används även vid analys av tillbud på natten.
- **Brand i linneskåp** - En brand i linneskåpet blockerar utrymningsvägen och bedöms vara det värsta scenariot. Brandgasspridning sker här direkt i väg till utrymningsväg.

De tre brandscenarierna analyserades med hjälp av simuleringar i datorprogrammen CFAST och DETACT QS. Simuleringarna verifierades med handberäkningar för att kontrollera resultaten. Den totala utrymningstiden för patienter och personal estimerades med hjälp av datorprogrammet ERM och litteratur. Möjligheten till säker utrymning vid brand bedömdes genom en jämförelse mellan tiden till kritiska förhållanden och totala utrymningstid.

Utifrån platsbesök, simuleringar och beräkningar har det fastställts att förutsättningarna i händelse av brand på plan 5 vid Jakobsbergs sjukhus är bra. Dock förekommer vissa brister i brandskyddet, både byggnadstekniskt och i form av personalutbildning.

Resultaten visar att endast scenariot brand i kök uppfyller kraven på tillfredställande personsäkerhet givet att sprinkler aktiverar. Förslag på lösningar är åtgärder som innebär att brandgasspridning till korridoren fördröjs samt att branden i linneskåpet upptäcks och släcks i ett tidigare skede. Ytterligare åtgärdsförslag har diskuterats fram för att råda bot på de byggnadstekniska fel som upptäckts vid platsbesöket. De av författarna rekommenderade åtgärdsförslagen är indelade i åtgärder som *ska* genomföras och åtgärder som *bör* genomföras.

Följande *ska* genomföras

- Brandutbildning för nyanställd personal.
- Ändra konstruktionen på brandcellsgränsen mellan avdelning 6 och 7.
- Kontrollera om en analys över ventilationssystemet är gjord.
- Ta bort stolarna som står i trapphus.
- Skilda larm för brand på avdelning och brand på annan avdelning.
- Strategi - hjälp från andra avdelningar vid utrymning.
- Dörrstängare.

Följande *bör* genomföras

- Brandutbildning oftare.
- Installera spisvakt.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Mål	1
1.3	Metod	1
2	Objektsbeskrivning	3
2.1	Verksamheten	3
2.2	Avgränsningar	4
2.3	Ventilation	5
2.4	Befintligt brandskydd	7
2.4.1	Detektionssystem	7
2.4.2	Larmsystem	7
2.4.3	Allmänt brandskydd	7
2.4.4	Utrymningsvägar	8
2.4.5	Sprinklersystem	10
2.4.6	Brandgasventilation	10
2.4.7	Räddningstjänsten	11
2.5	Systematiskt brandskyddsarbete	11
2.5.1	Personalutbildning	11
3	Utrymning	15
3.1	Utrymningsmodell	15
3.1.1	Varseblivning	16
3.1.2	Förberedelse	16
3.1.3	Förflyttning	16
3.2	Kritiska förhållanden	16
3.2.1	Brandgaslagrets höjd över golv	17
3.2.2	Temperatur	17
3.2.3	Sikt	17
3.2.4	Värmestrålning	17
3.2.5	Toxicitet	17
4	Statistik	19
5	Grovanalys	23
5.1	Scenario 1: Brand i kök på avdelning 6	24
5.2	Scenario 2: Brand i dagrum kopplat mellan avdelning 6 och 7	24
5.3	Scenario 3: Brand i madrass i patientrum närmast övriga avdelningar	25
5.4	Scenario 4: Brand i madrass i patientrum längst ner i korridoren	26
5.5	Scenario 5: Brand i linneskåp	26
5.6	Scenario 6: Anlagd brand i papperskorg på vårdavdelning	26
5.7	Scenario 7: Brand i kafeteria på plan 2	27
5.8	Tidpunktens inverkan på scenarier	27
5.9	Riskmatris	28
5.10	Scenarioanalys	28
6	Brand i kök	29
6.1	Effektutveckling	30
6.2	Tid kritiska förhållanden	32
6.3	Utrymning	34
6.3.1	Varseblivningstid	34
6.3.2	Förberedelsetid	34
6.3.3	Förflyttningstid	35
6.3.4	Total utrymningstid	35

6.4	Värdering	35
7	Brand i patientrum	37
7.1	Effektutveckling	38
7.2	Tid kritiska förhållanden	38
7.3	Utrymning	40
7.3.1	Varseblivningstid	40
7.3.2	Förberedelsetid	40
7.3.3	Förflyttningstid	40
7.3.4	Total utrymningstid	41
7.4	Värdering	41
8	Brand i linneskåp	43
8.1	Effektutveckling	43
8.2	Tid kritiska förhållanden	44
8.3	Utrymning	46
8.3.1	Varseblivningstid	46
8.3.2	Förberedelsetid	46
8.3.3	Förflyttningstid	46
8.3.4	Total utrymningstid	46
8.4	Värdering	47
9	Brand på natten	49
9.1	Tid till kritiska förhållanden	49
9.2	Utrymning	49
9.2.1	Varseblivnings- och förberedelsetid	49
9.2.2	Förflyttningstid	49
9.2.3	Total utrymningstid	50
9.3	Värdering	50
10	Känslighetsanalys	53
10.1	DETECT QS	53
10.1.1	Aktiveringstemperatur	53
10.2	CFAST	53
10.3	Siktberäkningar	54
10.4	Utrymningstider	54
10.4.1	Varseblivningstid	54
10.4.2	Förberedelsetid	55
10.4.3	Förflyttning	55
10.4.4	Total utrymningstid	55
11	Åtgärder	59
11.1	Utbildning	59
11.2	Brandcellsgräns mellan avdelning 6 och 7	59
11.3	Ventilation	60
11.4	Stolar i trapphus	61
11.5	Automatiskt brandlarm	61
11.6	Hjälp från andra avdelningar	61
11.7	Brandcellsgräns E30	61
11.8	Spisvakt	62
12	Validering av åtgärder	63
12.1	Brand i patientrum	63
12.2	Brand i linneskåp	63
12.3	Brand på natten	64
13	Osäkerheter	65

14	Diskussion	67
14.1	Aktiva system	67
14.2	Passiva system och övrigt brandskydd	68
15	Slutsats.....	71
16	Referenser	73
Bilaga A - Strålning.....		75
Flamhöjd.....		75
Synfaktor		75
Brand i kök		76
Brand i patientrum		76
Brand i linneskåp.....		77
Bilaga B - DETACT QS.....		79
Detektoraktivering.....		79
Sprinkleraktivering.....		80
Bilaga C – CFAST		81
Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model		81
Viktiga begränsningar		81
Indata CFAST		81
Geometri.....		81
Material/Ytskikt.....		82
Branden		82
Sprinkler		82
Exempel på textfil från CFAST-simulering.....		83
Verifiering av CFAST-simulering.....		85
Bilaga D - Sikt i brandgaser		89
Bilaga E - ERM		91
Exempel på en utdatafil för brandscenarier i kök och patientrum.....		93

1 Inledning

Projektuppgiften som ligger till grund för denna rapport ingår i kursen Brandteknisk riskvärdering (BTR). Kursen ges vid brandingenjörsutbildningen i Lund och omfattar 15 högskolepoäng. Uppgiften utförs i grupp och består i att genomföra en brandteknisk riskvärdering av ett befintligt objekt, projektet utgör större delen av kursen BTR.

1.1 Syfte

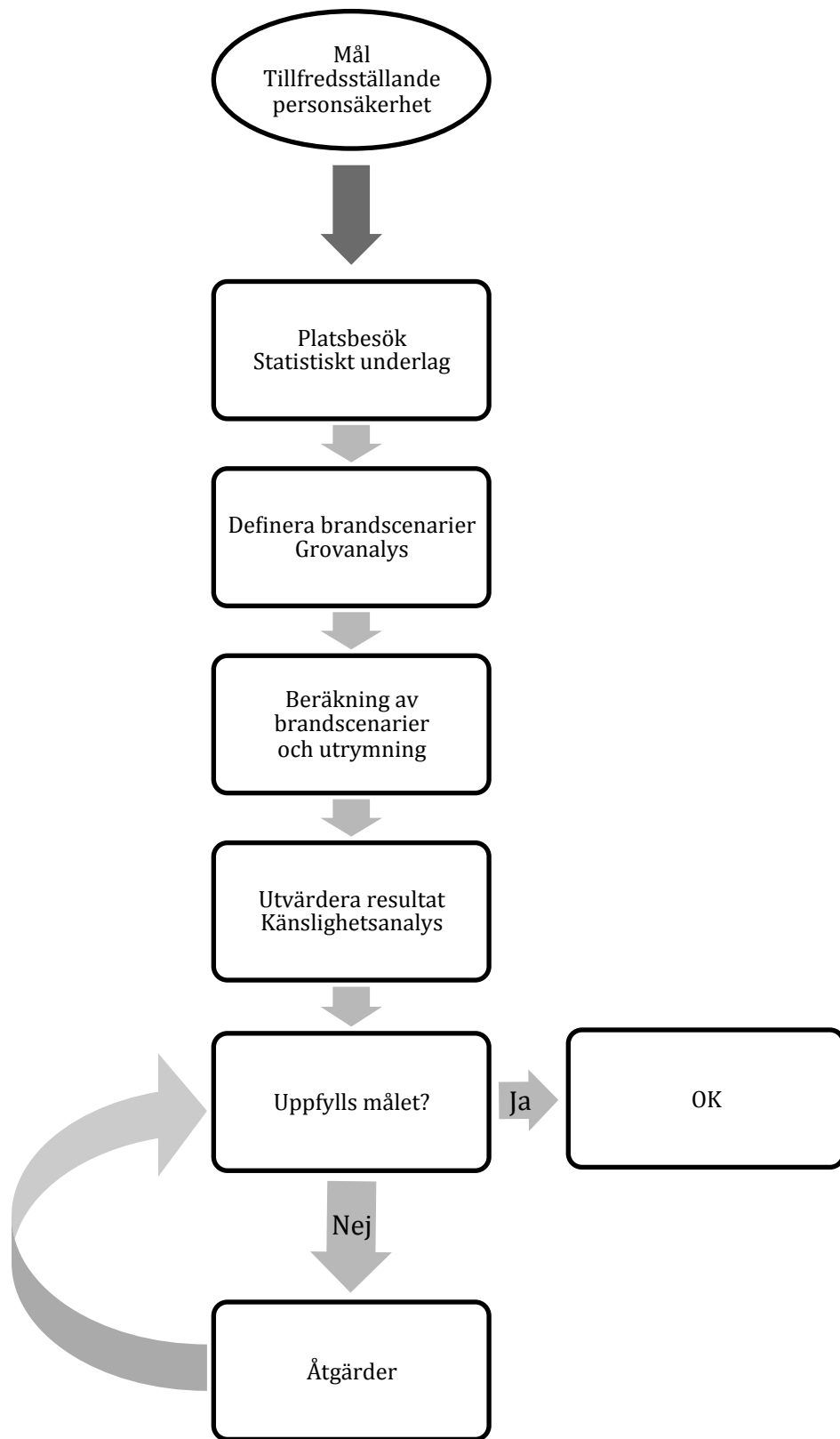
Projektuppgiften ska bidra till att skapa en helhetssyn med bas i de kunskaper som tidigare inhämtats vid brandingenjörsprogrammet. I kursplanen för BTR gällande läsåret 2011/2012 står att syftet med kursen är "*...att knyta ihop och generalisera kunskaper från denna kursen och från tidigare kurser...*". BTR ska också stärka studenternas analytiska förmåga och ingenjörsmässiga förhållningssätt (Brandteknik och riskhantering, 2011).

1.2 Mål

Enligt kursplanen är målet med BTR att kursdeltagare ska kunna beskriva, förklara, tillämpa och bedöma olika aspekter som ingår i en brandteknisk riskvärdering (Brandteknik och riskhantering, 2011). Målet med projektuppgiften är att omsätta kunskaper i praktisk utövning för att stärka den brandtekniska identiteten. Det innebär utveckling av självkännedom och ett etiskt förhållningssätt till den ingenjörsmässiga vetenskapen samt förmåga att inhämta och bedöma information (Brandteknik och riskhantering, 2011). Konkret innebär målet att genomföra en brandteknisk riskvärdering med avseende på personsäkerhet samt ge förslag på åtgärder som kan förbättra eventuella svagheter.

1.3 Metod

Arbetsgången följer flödesschemat i figur 1.1, schemat är konstruerat med stöd i tidigare genomförda kurser såsom Aktiva system och Riskanalysmetoder. Metoden grundar sig i en scenarioanalys som syftar till att utmana organisationen och det befintliga brandskyddet. Med bakgrund i platsbesök vid objektet förs ett kvalitativt resonemang om troliga brandscenarier och tillhörande utrymningssituation. De scenarier som anses relevanta och representativa gallras ut vid en grovanalys och studeras därefter mer ingående och kvantitativt. Grovanalysen baseras på sannolikhet och konsekvens för varje scenario. Statistik beskriver sannolikheten för att ett scenario ska inträffa. Konsekvensen baseras på effektutveckling, tillväxthastighet, placering av branden och persontäthet. Objektets förmåga att hantera de olika scenarierna utvärderas och åtgärder föreslås vid behov. Metoden är iterativ vilket innebär att eventuella åtgärder tas med i analysen och en ny utvärdering genomförs för att se om ändringarna givit avsedd effekt. Proceduren upprepas tills tillfredsställande personsäkerhet uppnås.



Figur 1.1. Flödesschema för arbetsgång.

2 Objektsbeskrivning

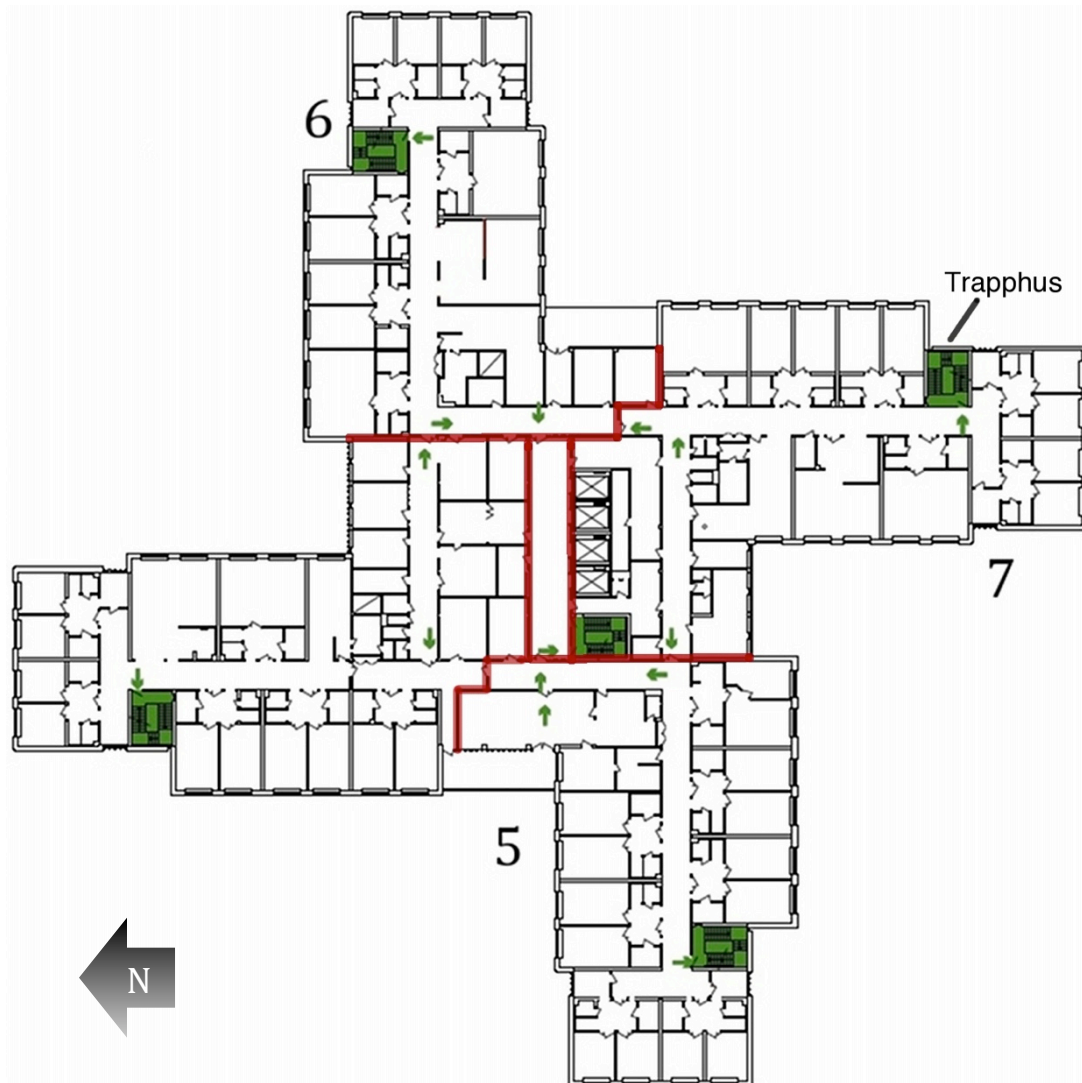
Jakobsbergs sjukhus, se figur 2.1, är beläget på en höjd i centrala Jakobsberg och hyser vårdcentral, apotek och vårdavdelningar. Fastigheten är i sex plan med entré på plan 2, i källaren på plan 1 finns driftcentral och andra utrymmen kopplade till daglig skötsel av sjukhuset. Plan 6 är ett ventilationstekniskt utrymme. På entréplan finns vårdavdelningar, kafeteria och apotek. I entrén finns också ett atrium vars tak sammanfaller med taket på plan tre. I byggnadens centrum finns fyra hissar. Samtliga våningsplan utom källaren och plan 6 innehåller vårdavdelningar med olika inriktningar. Fastigheten ägs av Locum AB och vårdgivarna på sjukhuset är hyresgäster hos dem. Locum upphandlar driften av sjukhuset och det är ISS som ansvarar för daglig skötsel.



Figur 2.1. Jakobsbergs sjukhus.

2.1 Verksamheten

Verksamheterna på sjukhuset har inriktning mot psykiatri och geriatrik, de psykiatriska avdelningarna är slutna och inte aktuella i denna riskvärdering. Geriatrik är läran om sjukdomar hos äldre (NE) och patienterna på de aktuella avdelningarna är gamla och har i många fall svårt att röra sig. Sjukhuset har tre avdelningar med geriatrisk inriktning där beläggning och personalstyrka är likvärdig. Planlösningen är av klassisk sjukhuskaraktär med patientrum längs en längre korridor, se figur 2.2.



Figur 2.2. Planlösning, utrymningsvägar, avdelningar och brandcellsgränser mellan avdelningar på plan 5 (Säkerhetspartner, 2010).

På respektive avdelning finns cirka 20 vårdtagare inkvarterade i fyrbädds-, tvåbädds- eller enkelrum. Förutom vårdplatser finns kontor, personalutrymmen, förråd samt ett fullt utrustat kök. Dagtid är bemanningen 10-15 sköterskor på respektive avdelning, nattetid arbetar 2 sköterskor per avdelning. Varje avdelning har tre utrymningsvägar varav två innebär utrymning till annan avdelning, den tredje är ett trapphus, se figur 2.2.

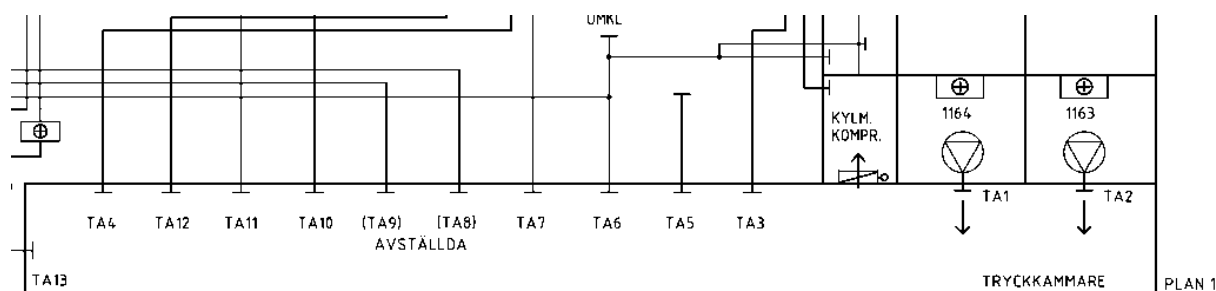
2.2 Avgränsningar

Plan 2 och 3 utgörs av låsta vårdavdelningar och fick inte undersökas vid platsbesöket. Plan 4 var vid besöket tomställt inför stundande ombyggnation. På plan 5 finns de geriatriska vårdavdelningarna 5, 6 och 7, avdelning 6 är också särskilt inriktad mot strokerehabilitering. Avdelning 5 är dubbelt så stor som avdelning 6 och 7 men är fortfarande uppdelad i två brandceller. Vid tidpunkten för platsbesöket var avdelning 5 drabbad av vinterkräksjukan vilket fick till följd att den inte besöktes. I rapporten behandlas således avdelning 6 och 7 på plan 5, dessa har identisk verksamhet och är utformade på likartat sätt. Likheterna gör att avdelning 6 anses representera även avdelning 7. Avdelning 5 kan ses som

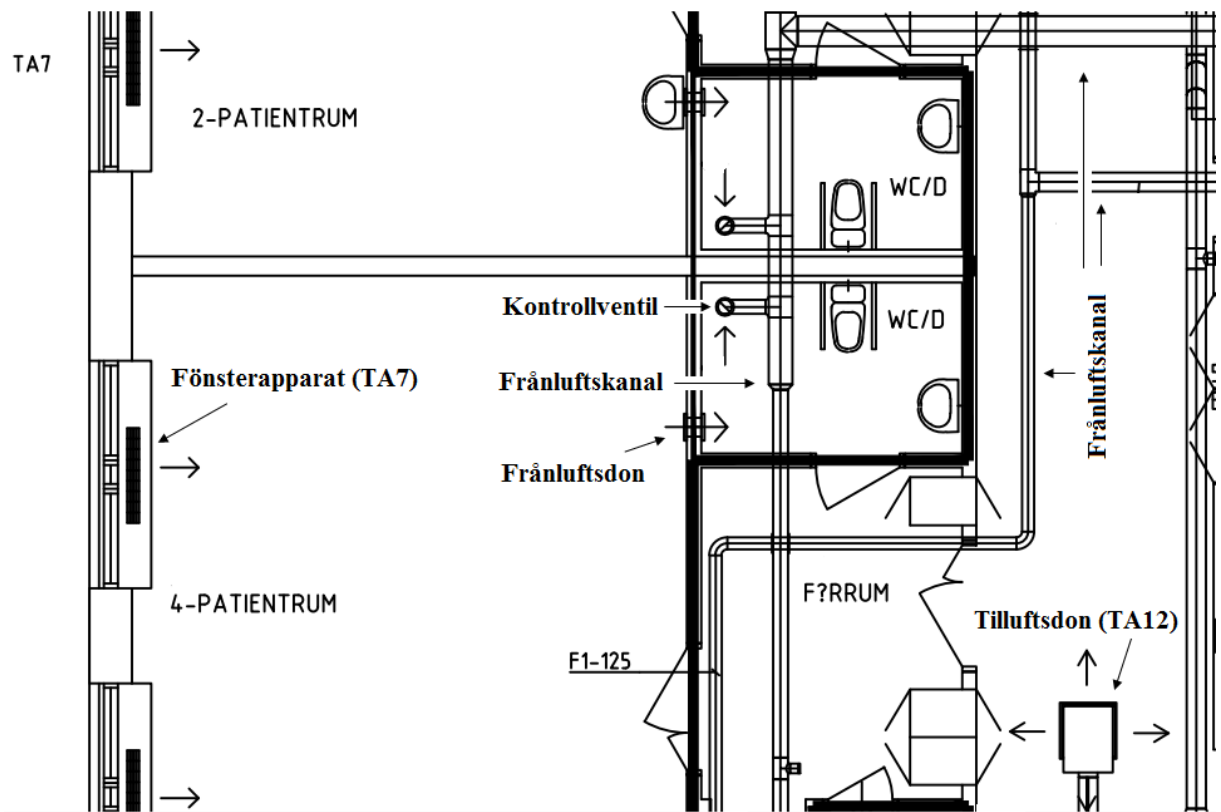
två sammanslagna avdelningar av samma typ som avdelning 6. För att ytterligare utmana sjukhusets brandskydd undersöks också kafeterian i rapporten.

2.3 Ventilation

Jakobsbergs sjukhus ventilationssystem är ett så kallat FT-system med både från- och tilluftsfläktar. Systemet är relativt avancerat och beskrivs här kortfattat. Det har två huvudsakliga tilluftsaggregat, TA1 och TA2, vilka är kopplade till en tryckkammare belägen på plan 1. Från tryckkammaren går tilluftsaggregaten TA3-TA13 ut till olika plan, se figur 2.3. TA7 och TA12 är de aggregat som förser plan 5 men också plan 4 med luft vilket medför att samtliga avdelningar på plan 5 förses med luft från sammankopplade tilluftskanaler. Frånluftsfläktarna är placerade på plan 6 och fördelade på olika fläktrum. På ritningarna för avdelning 6 kan det utläsas att alla patientrum samt dagrum och expedition har minst en fönsterapparat, se figur 2.5, vilken är kopplad till TA7. Korridoren och övriga rum förses med luft i taknivå via TA12. Från patientrummen går frånluften genom frånluftsdon antingen direkt eller via en kanal till toaletten utanför respektive rum varifrån luften går genom en kontrollventil till frånluftskanalen. Övriga rum är utrustade med frånluftsventiler kopplade till frånluftskanalen. I figur 2.4 beskrivs delar av ventilationssystemet på plan 5, avdelning 6. Frånluftskanalerna är kopplade till en frånluftsfläkt, FF5. Vid en eventuell brand hålls fläktarna i drift. Varken backströmningsskydd eller brandgasspjäll finns installerade mellan de olika brandcellsgränserna med undantag från ett brandgasspjäll vid tilluftsdonet i utrymme framför hissarna samt ett i samma utrymme men i en frånluftskanal.



Figur 2.3. Beskrivning av tryckkammare och tilluftsaggregat på plan 1.



Figur 2.4. Delar av ventilationssystemet på plan 5 avdelning 6.



Figur 2.5. Fönsterapparat för tilluft i patientrum.

2.4 Befintligt brandskydd

Utifrån platsbesök och tillgängligt underlag beskrivs det befintliga brandskyddet främst för plan 5 men även allmänt för byggnaden.

2.4.1 Detektionssystem

Sjukhuset har ett adresserbart detektionssystem med centralapparaten placerad i entréplan. Kombinerade värme- och rökdetektorer, se figur 2.6, är takmonterade i korridorer, kök, allrum, patientrum och vårdrum.

Rökdetektionen sker optiskt. På toaletter finns enbart värmedetektorer. Det sitter även dolda branddetektorer i rör- och ventilationsschakten ovanför innertaket, dessa är markerade med skylt. Detektorer kan ställas in så att de aktiveras vid en viss temperatur, 57 °C eller 80 °C, eller vid en viss temperaturökning. Inställningen baseras på normal temperatur i det utrymme som detektorn är monterad i. I denna rapport används 57 °C.



Figur 2.6. Detektor

2.4.2 Larmsystem

Sjukhuset är utrustat med ett automatlarm som är direkt kopplat till Attunda brandkår. Endast på plan 1 används larmlagring. Larmdonen består av ringklockor, se figur 2.7, och röda ljussignaler placerade på väggarna i taknivå på avdelningarna. Vid aktivering av brandlarm på en avdelning ljuder alla larmklockor och ljussignalerna blinkar på hela våningsplanet. Driftspersonalen har en dator dedikerad till övervakning av larm- och sprinklersystem där de kan se vilken detektor som larmar.

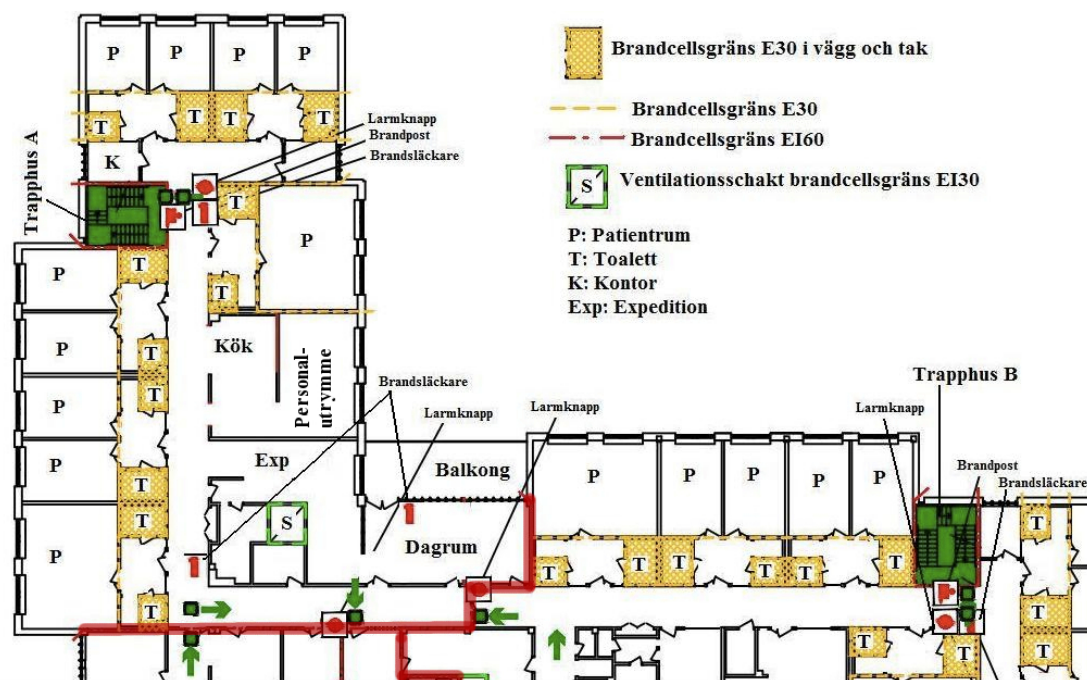


Figur 2.7. Larmklocka

2.4.3 Allmänt brandskydd

Utöver ovan nämnda skyddssystem är varje avdelning på plan 5 en egen brandcell i klass EI 60. Inom avdelningarna avgränsas patientrum och toaletter mot förrum och korridorer med brandavskiljande väggar i klass E 30, på toaletterna är även taket i klass E 30. Innerväggarna består av tapetserade eller målade gipsskivor. På avdelning 6 och 7 är en brandpost placerad innanför respektive trapphus. Handbrandsläckare med skumsläckmedel finns tillgängliga och är väl utmärkta med skyltar vid trapphusen i respektive korridor. Släckare finns också placerade centralt på avdelning 6 samt i dagrummet. Brandfilter

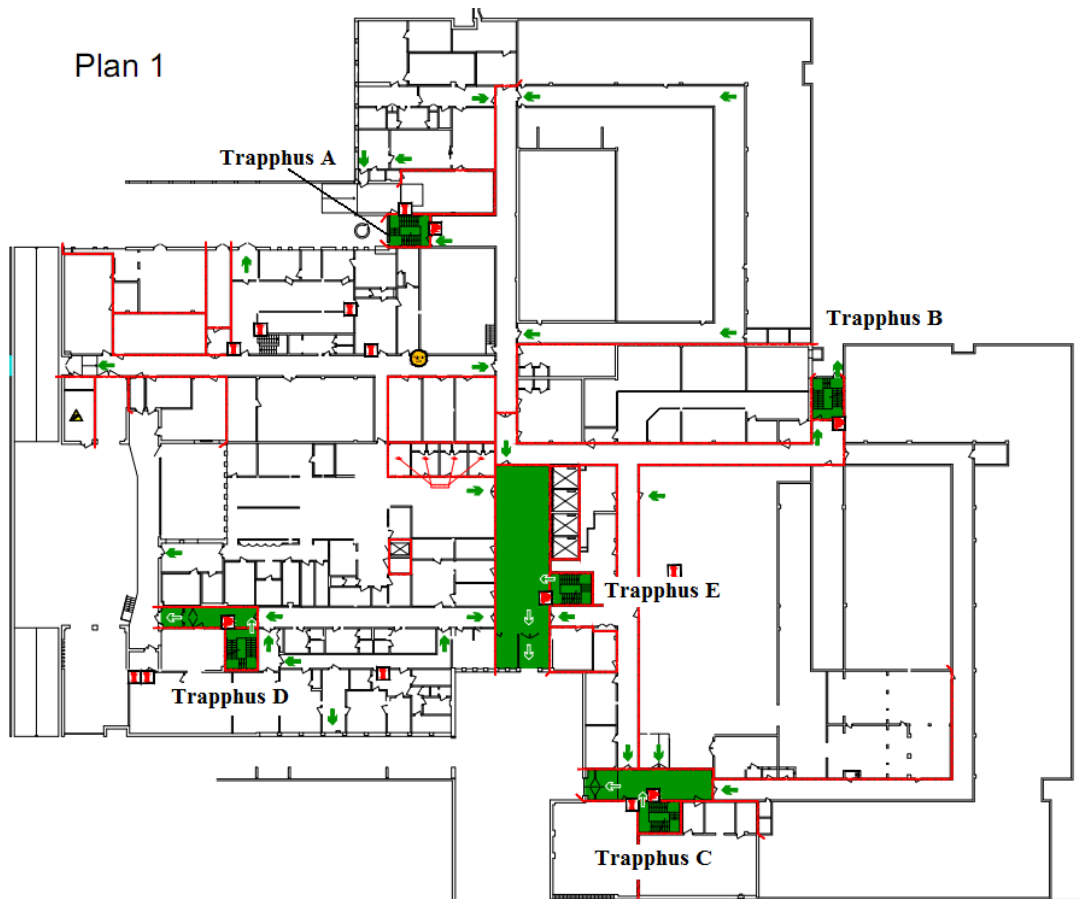
finns upphängda vid handbrandsläckare. Det finns även möjlighet att larma manuellt med hjälp av fyra väl utmärkta larmknappar se figur 2.8.



Figur 2.8. Rumsbeskrivning och placering av brandposter, brandsläckare och larmknappar på avdelning 6 och 7 (Säkerhetspartner, 2010).

2.4.4 Utrymningsvägar

Jakobsbergs sjukhus utrymningsvägar består av fem trapphus, A-E. Där A-D är placerade i respektive flygel och går från plan 1 till plan 5. Trapphus E är placerat i centrum av byggnaden intill hissarna och går från plan 1 till plan 6. Trapphus A och B leder direkt ut i det fria medan trapphus C, D och E leder till en EI 60-brandcell i form av en korridor som leder ut i det fria, se figur 2.9. Hissarna får inte användas vid utrymning. Trapphusen är egna brandceller med brandavskiljande väggar i klass EI 60 och dörrar i klass E 30-C. Trapphus A-D är endast avsedda för utrymning och är på avdelningarna försedda med kodlås för att patienter inte ska kunna ta sig ut när som helst, se figur 2.10. Kodlåsen slås av automatiskt vid utlösning av brandlarm men de kan också öppnas med hjälp av en på koddosan angiven kod. Att den funktionen fungerar är en förutsättning i denna rapport. Utrymningsvägarna är väl utmärkta med genomlysta utrymningsskyltar placerade i taknivå.



Figur 2.9. Utrymningsvägar ut i det fria, trapphus A-E, plan 1 (Säkerhetspartner, 2010).



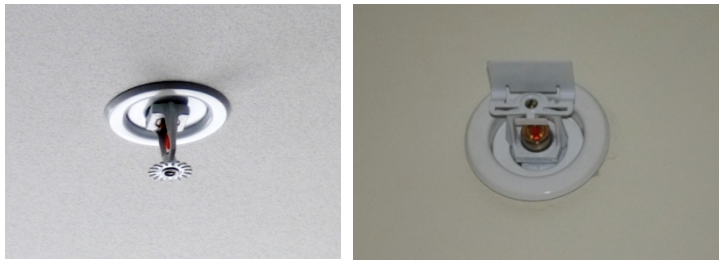
Figur 2.10. Utgång till trapphus, dörr med kodlås.

Avdelningarna är också försedda med en utrymningsplan som beskriver utrymningsvägar, placering av larmknappar, brandposter och brandsläckare samt rutiner vid brand. Skylten informerar om följande:

- Rädsla – först de som är i fara.
- Larma – brandförsvaret, tryck in larmknapp samt ring 112.
- Varna – övriga som hotas.
- Släck – branden om det bedöms möjligt.
- Utrym – lokalerna bege dig till återsamlingsplatsen, PARKERINGEN.
- Stäng – dörrar för att minska rökspridning.
- Hiss – får EJ användas vid utrymning.

2.4.5 Sprinklersystem

Sprinklersystemet är byggt efter riskklass OH1, denna baseras på verksamhetstyp och brandbelastning i objektet. OH1 innebär att verksamheten har normal brandbelastning och normal brännbarhet (Carlens, 2006). Sprinklersystemet är ett våtrörsystem uppdelat i tre sektioner där sektion 1 går till östra delen av våningsplan 1 och 2, sektion 2 går till västra delen av våningsplan 1 och 2 och sektion 3 går till våningsplan 3, 4 och 5. Systemet drivs av två elpumpar och vatten tas från det kommunala nätet, vattentätheten är 5 mm/min. Vid eventuella anläggningsarbeten kan sektionerna stängas av tillfälligt. Hela sjukhuset är utrustat med sprinkler, på avdelningarna sitter dessa nedåtriktade i taket, se figur 2.11. Det förekommer även väggsprinkler, se figur 2.11, till exempel i vård-/behandlingsrum. På våningsplan 1 förekommer också uppåtriktade sprinkler. På avdelningen är sprinklerbulberna av typen quick response med Response Time Index (RTI) mindre än $50 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ (Svenska Brandskyddsföreningen, 2004), aktiveringstemperaturen är 68 °C.



Figur 2.11. Nedåtriktat sprinklerhuvud samt väggsprinkler.

2.4.6 Brandgasventilation

Vid en eventuell brand hålls till- och frånluftsfläktar i drift. Högst upp i trapphusen sitter 1 m² stora brandgasluckor vilka öppnas med hjälp av en vajer från botten av trapphusen, se figur 2.12.



Figur 2.12. Handtag för öppning av röklucka.

2.4.7 Räddningstjänsten

Vid automatlarm på Jakobsbergs sjukhus åker en släckenheter från Järfälla som har en framkörningstid om 3,5 minuter. Framkörningstiden innefattar en anspänningstid om 90 sekunder, det vill säga den tid styrkan har på sig från det att larmet går tills att de kör ut från stationen, plus körtiden till objektet. Larmtid hos SOS är inte inräknat. Vid larm avgörs styrkan från fall till fall men vid konstaterad brand åker släckenheter från Järfälla, Kista och Sollentuna. Samtidigt åker höjdenheter från Järfälla och Kista samt ledningsenhet från Upplands-Väsby. Kista har en framkörningstid om cirka 11,5 minuter och Sollentuna cirka 13,5 minuter. Ledningsenhetens framkörningstid är cirka 16,5 minuter. Vid behov larmas ytterligare stationer.

2.5 Systematiskt brandskyddsarbete

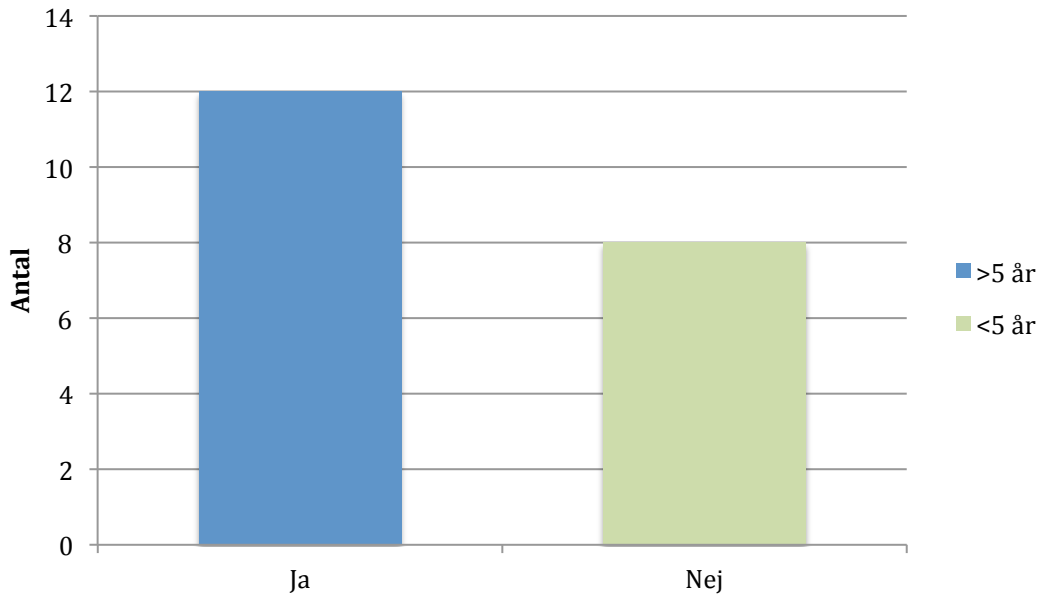
Det systematiska brandskyddsarbetet (SBA) på Jakobsbergs sjukhus sköts av Locum och de olika aktörerna i huset. Locum har det övergripande ansvaret för byggnaden och utför SBA på allmänna utrymmen. Aktörerna har i sin tur hand om SBA i sina lokaler. För att garantera att aktörerna genomför SBA har Locum driftmöte varje månad med ansvariga för varje verksamhet och då ska deras SBA-pärm vara ifylld. Locum har tankar om att utveckla och förenkla arbetet för att minska risken att det inte utförs ordentligt. Exempelvis finns förslag om att utföra arbetet digitalt istället för att använda papper och SBA-pärm. Utöver SBA genomförs en kontroll av hela huset en gång i kvartalet, då testas även brandlarmet. I sprinklercentralen finns två elpumpar som förser sprinklersystemet med vatten, för att garantera deras funktion provkörs de varje vecka.

2.5.1 Personalutbildning

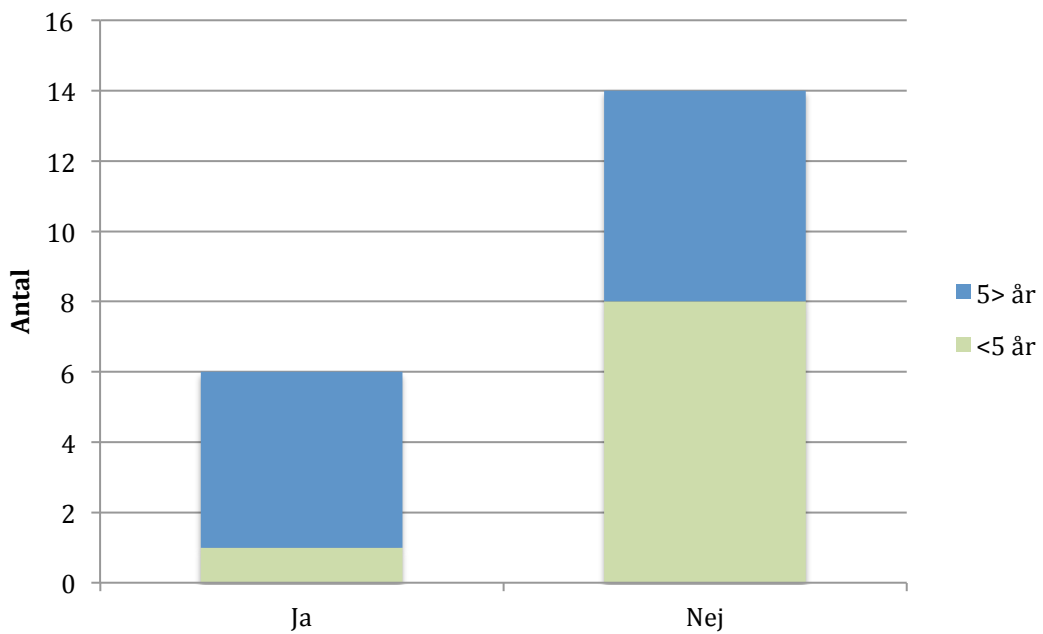
Enligt flödesschemat i figur 1.1 ska statistiskt underlag för rapporten samlas in. Som ett led i detta genomfördes under platsbesöket en enkätundersökning för att få en helhetsbild över personalens brandutbildning. Tre frågor som antas ge en bild av utbildningsläget valdes och de är:

- Har du fått någon typ av brandutbildning?
- Har du någon gång under din anställning haft en brand/utrymningsövning?
- Känner du dig väl förberedd för ett brand/utrymningstillbud?

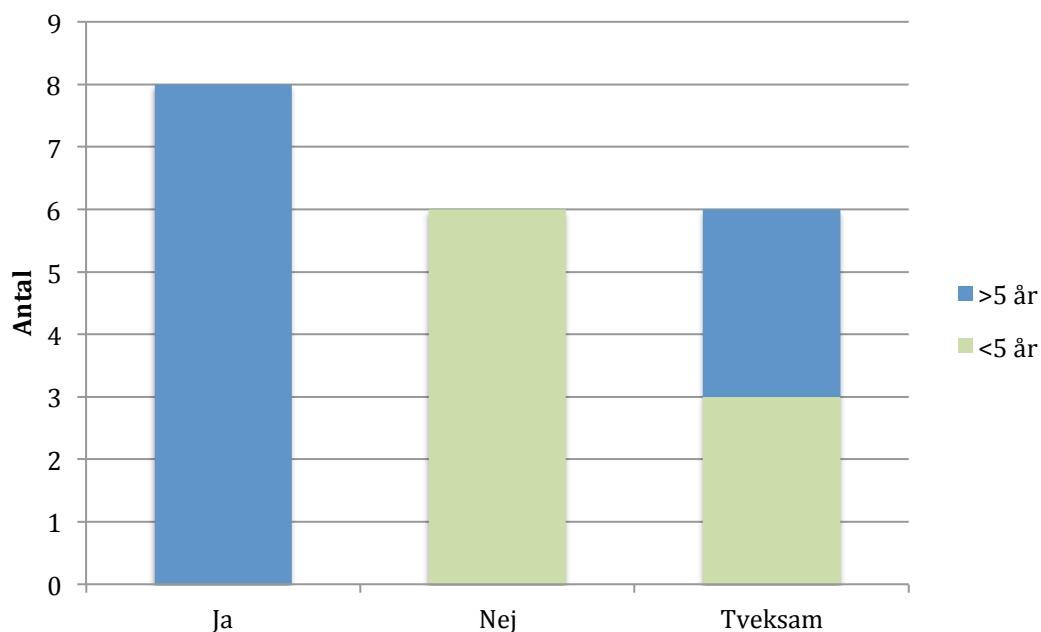
För att få en uppfattning om det skiljer sig mellan de som jobbat längre tid och de som är nyanställda kompletterades enkäten med en fråga om anställningstid. Under besöket delades 20 enkäter ut till olika anställda på avdelning 6 och 7, dessa samlades in direkt. Alla tillfrågade svarade fullständigt på enkäten och svaren sammanställs i figur 2.13-2.15.



Figur 2.13. Har du fått någon typ av brandutbildning? Åren representerar anställningstid.



Figur 2.14. Har du någon gång under din anställning haft en brand/utrymningsövning? Åren representerar anställningstid.



Figur 2.15. Känner du dig väl förberedd för ett brand/utrymningstillbud? Åren representerar anställningstiden.

Enkäterna pekar på att de som varit anställda en längre tid känner sig mer förberedda än de nyanställda. Resultatet visar också att flertalet av de nyanställda, 8 av 20 med anställningstid under fem år, inte genomgått någon typ av utbildning. Det är enbart 6 av 20 som svarat att de fått någon typ av brand/utrymningsövning vilket kan bero på att en övning är svår att genomföra på ett sjukhus.

3 Utrymning

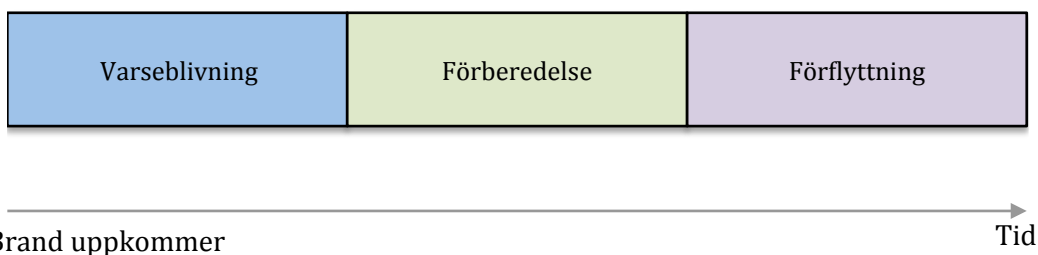
Jakobsbergs sjukhus har som strategi att utrymma till närmsta säkra brandcell vilket på plan 5 innebär annan avdelning. Detta görs eftersom större delen av patienterna på avdelningen behöver assistans för att gå och en utrymning genom trapphus är då svår att genomföra. På avdelningen, som antas fullbelagd, finns 20 patienter varav cirka 15 behöver assistans. Att flertalet patienter behöver köras i sina sängar alternativt rullstolar vid en utrymning innebär att personalen har ett stort ansvar för att säkerställa personsäkerheten på avdelningen. Problem såsom prioritering av patienter kan uppstå då antalet i personalen inte är lika stort som antalet patienter som behöver assistans. Köbildning kan uppstå i korridoren och vid den tvådelade dörren i figur 3.1. Dörren måste öppnas i två steg vilket påverkar genomströmningen. Det ljuder samma larm på hela plan 5 vid brand vilket kan innebära att det krävs tid att undersöka och fastställa om utrymning ska ske eller inte.



Figur 3.1. Dörr i utrymningsväg.

3.1 Utrymningsmodell

För att underlätta beräkning av den totala utrymningstiden för patienter och personal på avdelningen används en beräkningsmodell som finns beskriven i *Tid för utrymning* (Frantzich, 2001). Denna modell bygger på att tiden för utrymning jämförs med tiden för kritiska förhållanden. Utrymningsförloppet delas upp i tre faser, se figur 3.2 (Frantzich, 2001).



Figur 3.2. Utrymningsförlopp.

3.1.1 Varseblivning

Varseblivningen utgör tiden från att brand uppkommer tills någon upptäcker att något avviker från det normala. Det kan vara att personen ser en brand eller blir informerad om att det brinner, exempelvis via ett brandlarm. Enligt Boverket kan den teoretiska detektionstiden användas som varseblivningstid om det finns ett automatiskt brandlarm kopplat med ett utrymningslarm (Boverket, 2006). Teoretisk detektionstid erhålls från beräkningar. Varseblivningstiden kan kortas på dagen då personalstyrkan är större vilket ökar sannolikheten att en brand upptäcks i ett tidigt skede.

3.1.2 Förberedelse

Nästa fas är förberedelsetiden. Den startar så fort personen fått information om att något hänt. Sedan innefattar den alla aktiviteter som görs innan förflyttning mot en utrymningsväg påbörjas (Frantzich, 2001). På avdelningen handlar detta om att personalen skall reagera och börja planera för en utrymning. Det kan vara att viss personal undersöker om en brand startar på deras avdelning medan andra börjar informera och förbereda patienter. Innan personalen agerar ska de genomgå en informationssökningsfas och den påverkas av personalens rutiner och utbildning. Enligt Frantzich minskar tiden för informationssökning i samband med ett brandtillbud om personalen är välutbildad. Om informationssökningsfasen minskar och om personalen har klara rutiner så att förberedelsen inför utrymning kan kortas påverkas den totala utrymningstiden positivt.

När chefer och personal i andra ledarroller kan fatta beslut vid en utrymning påverkas förberedelsetiden positivt (Frantzich, 2001). Det är viktigt att dessa personer på avdelningen har en bra utbildning och är medvetna om hur de ska agera vid en utrymningssituation.

Brandgaser kan påverka denna fas negativt, till exempel ger nedsatt sikt lägre gånghastighet. Brandgaserna kan även innehålla toxiska ämnen som kan innebära att beslutsförmågan blir nedsatt (Frantzich, 2001).

3.1.3 Förflyttning

Förflyttningen är den tid det tar från att en förflyttning mot en utrymningsväg påbörjas tills personen är i säkerhet (Frantzich, 2001). På avdelningen innebär det att personer ska förflyttas till annan avdelning, en säker brandcell. Tiden påverkas av rörelseförmåga och gånghastighet. För avdelningen innebär det i de flesta fall hur snabbt personalen kan förflytta en person i säng eller rullstol, eftersom de flesta patienterna behöver hjälp att förflytta sig. Förflyttningsfasen påverkas även av hur vägen till utrymningsväg är utformad, speciellt eftersom en rullstol eller säng tar stor plats och det kan bildas kö. Om vägen till utrymningsväg är blockerad försvåras utrymningen drastiskt. Brandgaser kan påverka även denna fas negativt.

3.2 Kritiska förhållanden

För att utrymning ska kunna ske tillfredställande ska det finnas möjlighet att hinna till säker brandcell innan kritiska förhållanden uppstår. Tillfredställande utrymning innebär att personer som utrymmer inte ska utsättas för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller

dålig sikt som hindrar utrymning till säker plats. Med detta menas att om ett kritiskt förhållande uppstår så är utrymningen inte längre tillfredsställande. I Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering (BBRAD) av byggnaders brandskydd anges godtagbara nivåer för kritisk påverkan (BFS 2011:27).

3.2.1 Brandgaslagrets höjd över golv

Brandgaserna får inte sjunka lägre än $1,6 + (0,1 \cdot \text{rumshöjden})$ för att kriteriet skall uppfyllas. På plan 5 där takhöjden är 2,5 meter blir den kritiska höjden 1,85 meter över golvet. Skulle kriterierna för sikt, värmestrålning, toxicitet, temperatur samt värmedos inte överstiga respektive gränsvärde kan utrymning genom brandgaserna accepteras (BFS 2011:27).

3.2.2 Temperatur

Temperaturen under den kritiska höjden får maximalt vara 80 °C för att kunna utrymma tillfredsställande (BFS 2011:27).

3.2.3 Sikt

Sikten två meter över golvet måste vara minst tio meter om utrymmet är större än 100 m², om utrymmet är mindre än 100 m² måste sikten vara minst fem meter (BFS 2011:27). Aktuella utrymmen är mindre än 100 m², därför används detta gränsvärde.

3.2.4 Värmestrålning

Den högsta värmestrålning som tillåts är 2,5 kW/m² (BFS 2011:27). Maximal strålningsnivå en människa kan utsättas för utan att få någon skada på huden är 1 kW/m². Vid en strålning på 10 kW/m² uppkommer smärta redan efter 3-8 sekunder (Drysdale, 1998).

3.2.5 Toxicitet

Den maximalt tillåtna koncentrationen av kolmonoxid respektive koldioxid samt den lägsta koncentrationen syrgas två meter över golvet kan utläsas ur tabell 3.1.

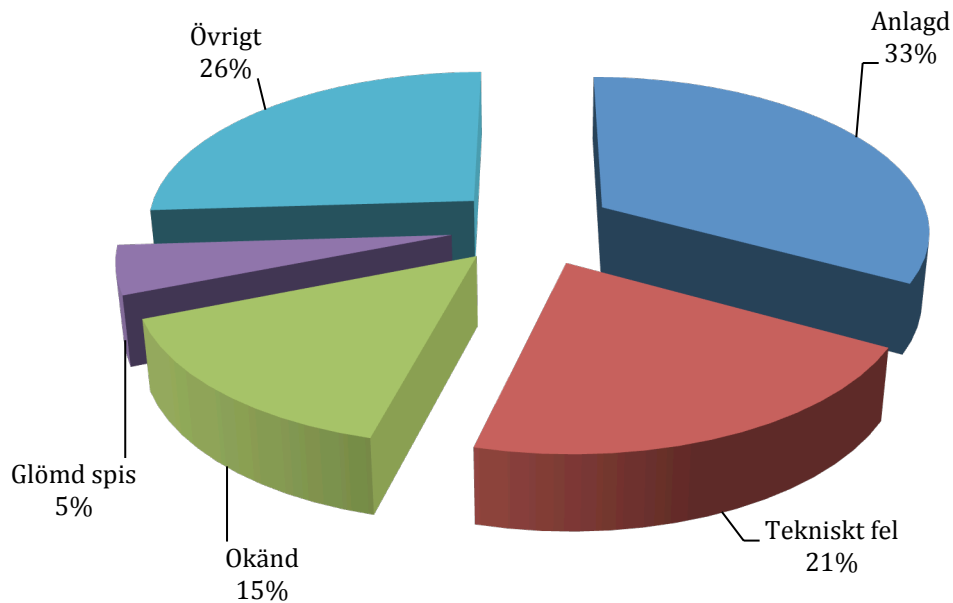
Tabell 3.1. Kritiska nivåer för toxicitet.

Ämne	Nivå
CO	> 2000 ppm
CO ₂	> 5 %
O ₂	< 15 %

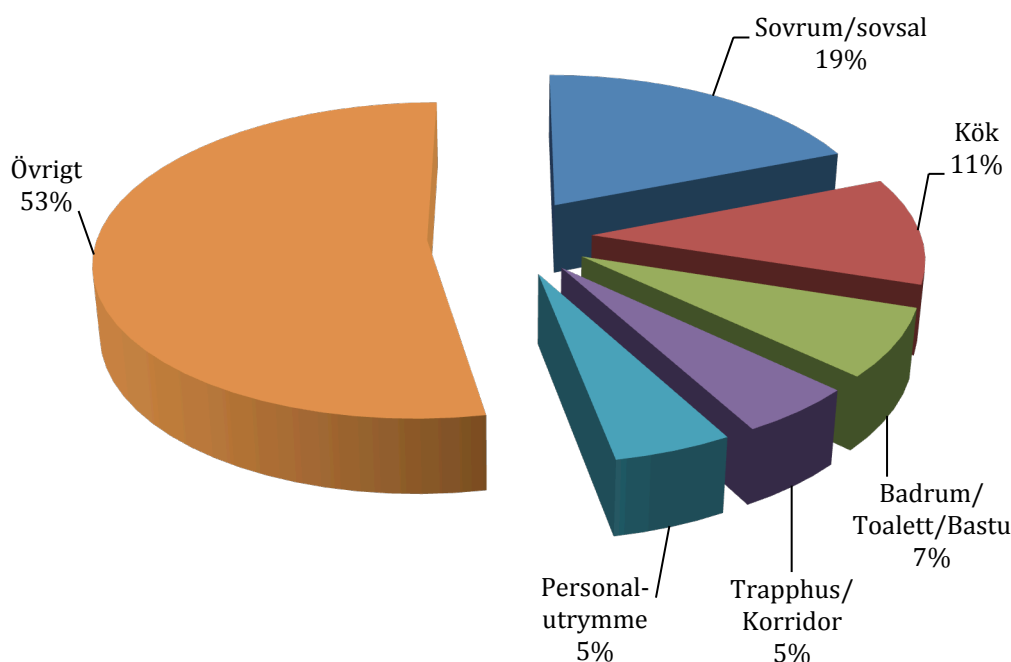
4 Statistik

För att bedöma sannolikheten för olika brandscenarier på avdelning 6 och 7 vid Jakobsbergs sjukhus används statistik om räddningstjänstens insatser på sjukhus i Sverige. Statistiken är hämtad från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och National Fire Protection Association (NFPA) i USA. Den amerikanska statistiken är baserad på rapporter från den amerikanska räddningstjänstens insatser. Då svensk och amerikansk statistik genereras på liknande sätt är de också jämförbara (Hall, 2004). Därtill är västerländska vårdinrättningar snarlika organisatoriskt och tekniskt vilket stärker överförbarheten.

Under åren 1996 till 2010 har sjukhusbränder orsakat 1466 räddningstjänstinsatser i Sverige, en procentuell fördelning av vanligaste brandorsaker presenteras i figur 4.1. En procentuell fördelning av vanligaste startutrymme beskrivs i figur 4.2. I tabell 4.1 visas vanligaste startutrymmen vid anlagd brand och i tabell 4.2 vanligaste startföremålen vid brand i kök. Startföremål för anlagda bränder var främst lös inredning, cirka 40 procent. Även papper/kartong och säng förekommer med cirka sju respektive fyra procent (MSB, 2012).



Figur 4.1. Procentuell fördelning av vanligaste brandorsak.



Figur 4.2. Procentuell fördelning av vanligaste startutrymme.

Tabell 4.1. Vanligaste startutrymmen vid anlagd brand.

Utrymme	Procent
Sovrum/Sovsal	41
Badrum/toalett/bastu	16
Badrum/toalett	7
Trapphus/Korridor	5
Personalutrymme	3
Samlingslokal	3

Tabell 4.2. Startföremål vid brand i kök.

Startföremål	Procent
Spis	37
Diskmaskin	10
Kyl/frys	6
Uppvärmningsanordning	4
Kaffebruggare	3
Lös inredning	3

Automatlarm utan brand under samma period, 1996-2010, uppgick till 23192 larm och med brand var automatlarmen 991. Detta innebär att vid 32 procent av de 1466 faktiska bränderna har inget automatlarm aktiverats, orsaken till det behöver dock inte vara felfunktion. De flesta bränder på sjukhus inträffade på dagen med en liten ökning på eftermiddagen, på lördagar och söndagar var brandtillbudena något färre än under veckorna, januari var månaden med flest antal bränder. Enligt rapporten *Selections from U.S. fires in selected occupancies, health care facilities, excluding nursing homes* (NFPA, 2006) gjord utifrån bränder i USA under perioden 1992-2002 inträffade bränder oftast under veckorna och

vanligaste tidpunkter var dagtid 8-10 och kvällstid 16-18. Tio procent av bränderna var anlagda och vanligaste startutrymme bland det totala antalet bränder var köket med ungefär en tredjedel. I tabell 4.3 visas vanligaste startutrymmen för sjukhusbränder i USA.

Tabell 4.3. Vanligaste startutrymmen för sjukhusbränder i USA.

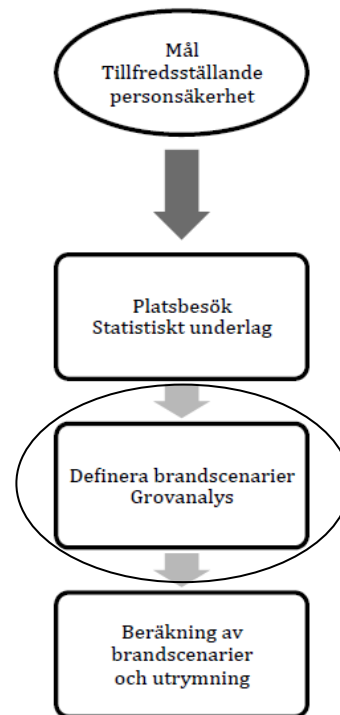
Startutrymme	Procent
Kök	33
Sovrum/Patientrum	9
Tvättstugan	7
Toalett/omklädning-/behandlingsrum	4
Vardagsrum	3
Hall/korridor	2
Matsal/bar/cafeteria	2
Datasal	1
Entré	1
Garderob	1

Startföremål var oftast köksredskap, mat inkluderat, men även elektriska kablar/kabelisolering, madrasser/sängkläder samt skräp och avfall förekom också. Bränderna var oftast mindre, 18 procent var inneslutna och begränsade, 61 procent var begränsade till startföremålet och endast 5 procent spreds utanför startutrymmet (NFPA, 2006).

5 Grovanalys

En grovanalys genomförs som tredje steget i flödesschemat, se figur 5.1.

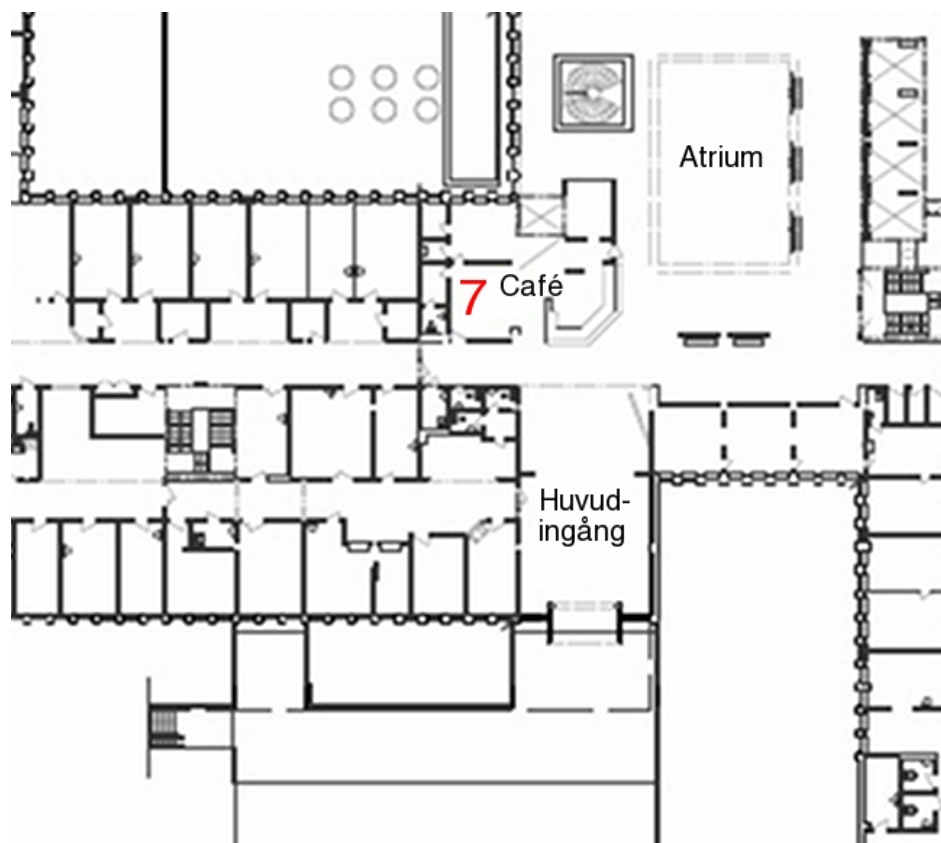
Brandscenarierna bestäms med hjälp av diskussioner utifrån platsbesöket där hänsyn främst tas till deras sannolikhet och konsekvens, både effektutvecklingsmässigt och ur utrymningssynpunkt. En riskbedömning görs för att kunna välja ut representativa scenarier. Dessa rangordnas i förhållande till varandra på en skala från 1-5, där 1 innebär minst troligt och lägsta konsekvensen och 5 innebär mycket troligt samt högsta konsekvensen. Scenarierna sätts i relation till varandra i en riskmatris som redovisas i avsnitt 5.9. Sannolikheten baseras främst på statistik och konsekvensen baseras på brandens tillväxthastighet, dess möjlighet att sprida sig till närliggande föremål samt utrymningsmöjligheter. De olika brandscenariernas placering kan ses i figur 5.2-5.3.



Figur 5.1. Flödesschemat.



Figur 5.2. Bild över de olika brandscenariernas placering på plan 5.



Figur 5.3. Bild över brandscenario i kafeteria plan 2.

5.1 Scenario 1: Brand i kök på avdelning 6

På avdelning 6 finns ett kök som ligger längs med korridoren, se figur 5.2. I köket finns mikrovågsugnar, kaffekokare, en diskmaskin för storkök, kyl/frys och en spis. Främsta antändningskällor är tekniska fel, elfel i dessa föremål eller att spisen glöms på. Enligt en insatsrapport (Brandkåren Attunda, 2011) har det förekommit brandtillbud i mikrovågsugn och enligt statistik från MSB (2012) har även kyl och frys orsakat bränder på sjukhus i Attunda brandkårs område. En brand i något av dessa föremål kan sprida sig och utgöra en risk för personerna på avdelningen. Det kan innebära att utrymning måste genomföras. Främsta anledning till att scenariot väljs är att det är vanligt att bränder startar i kök, se kapitel 4, vilket höjer sannolikheten. Köket på avdelning 6 är öppet mot korridoren och det finns risk för brandgasspridning till resten av avdelningen. Enligt insatsrapporten från Attunda släckte personalen själva den brand som uppkommit i mikrovågsugnen. Statistik från MSB visar att de flesta bränder begränsas till startföremålet eller startutrymmet. På dagtid finns det mycket personal som kan släcka en brand i tidigt skede vilket sänker konsekvensen.

Sannolikhet: 5

Sannolikhet natt: 4

Konsekvens: 2

Konsekvens natt: 3

5.2 Scenario 2: Brand i dagrum kopplat mellan avdelning 6 och 7

Mellan avdelning 6 och 7 finns ett dagrum. Dagrummet ligger inom brandcellsgränsen som tillhör avdelning 6 men risk finns för brand- och brandgasspridning till avdelning 7 på grund av två fel som upptäckts i brandcellsgränsen. Fel har även upptäckts på ritningar där överluftsdon i

brandcellsgränsen inte är borttagna. Antändning kan ske i till exempel en mikrovågsugn och sedan sprida sig till närliggande material. Ett ytterligare alternativ är att branden startar i den TV som hänger på väggen och sprider sig till närliggande gardiner och dyligt. Ett av felet i brandcellsgränsen är den fönsterruta i väggen som finns mellan dagrummet och avdelning 7, se figur 5.4, då den inte anses vara brandklassad. Det andra felet är ett räcke som går genom väggen vid dörren mellan avdelningarna. I dagrummet finns det ingen spis utan bara mikrovågsugnar vilket gör att sannolikheten sänks något. Dagrummet används under dagtid och det finns personal i närheten. Det gör det troligare att en eventuell brand släcks i ett tidigt skede vilket sänker konsekvensen.

Sannolikhet: 3

Sannolikhet natt: 2

Konsekvens: 2

Konsekvens natt: 3



Figur 5.4. Fönster i brandcellsgräns.

5.3 Scenario 3: Brand i madrass i patientrum närmast övriga avdelningar

Patientrummet närmast övriga avdelningar är avsett för fyra patienter. Varje säng består av en madrass av syntetmaterial och en kudde även den av syntetmaterial. Baserat på MSB:s insatsstatistik är sovrum/sovsal det vanligaste startutrymmet för en sjukhusbrand. Det är också det vanligaste startutrymmet för anlagda bränder, se kapitel 4. En brand i sängen skulle kunna innebära spridning till övriga sängar men även till de möbler som finns i patientrummet. I takt med att branden växer ökar också mängden brandgaser och på grund av brandens placering försämras utrymningsmöjligheterna till andra avdelningar. Det skulle kunna innebära att utrymning endast kan ske genom trapphuset. Detta kan innebära stora konsekvenser då flera vårdtagare inte kan gå utan behöver rullator, rullstol eller liknande. Enligt *Initial Fires* (Särdqvist, 1993) utvecklar en sjukhusmadrass 700 kW på fem minuter. Det innebär att

tillväxthastigheten inte är speciellt snabb vilket sänker konsekvensen något. Sannolikheten ökar något eftersom sovrum är ett vanligt startutrymme. I ett patientrum finns brännbart material och branden har potential att bli omfattande. Patienterna befinner sig i sina rum större delen av tiden och deras förmåga att upptäcka en brand och dessutom varna kan variera. Problem kan uppstå när personalen behöver utrymma patientrummet samtidigt som branden måste släckas. Samtidigt är risken för brandgasspridning till den anslutande korridoren hög om dörren till patientrummet står öppen. Detta resonemang leder till att konsekvensen höjs något.

Sannolikhet: 4

Sannolikhet natt: 3

Konsekvens: 3

Konsekvens natt: 4

5.4 Scenario 4: Brand i madrass i patientrum längst ner i korridoren

Patientrummet i detta scenario är avsett för två patienter. På samma sätt som i brandscenario 3 kan en madrass i ett patientrum antändas, denna gång i nedre delen av avdelningen. Ett brandtillbud skulle innebära att det finns möjlighet att utrymma till andra avdelningar men det kan uppstå problem för de patienter som bor i närliggande rum. Sannolikheten estimeras med stöd i resonemang från brandscenario 3. Konsekvensen för detta scenario sänks något jämfört med scenario 3 eftersom ett brandtillbud längst ned i korridoren inte påverkar utrymningsmöjligheterna till andra avdelningar i samma utsträckning.

Sannolikhet: 4

Sannolikhet natt: 3

Konsekvens: 2

Konsekvens natt: 3

5.5 Scenario 5: Brand i linneskåp

Vid ingången till avdelning 6 står det en dator bredvid ett linneskåp samt en byrå i korridoren. En antändning i datorn på grund av överhettning eller elfel kan orsaka spridning av brand till linneskåpet. Ett brandtillbud i linneskåpet skulle också kunna orsakas av en anlagd brand. Det innebär att personerna på avdelningen kan behöva utrymma genom trapphuset. Här innebär det en stor svårighet med vårdtagare som inte har möjlighet att ta sig fram utan hjälpmedel. Linneskåpet har en snabb tillväxtkurva och kommer upp i en maximal effekt om 3000 kW efter cirka tre minuter (Särdqvist, 1993), detta höjer konsekvensen något. Brandtillbud i datorer är inte särskilt vanliga (Andersson, 2011) dock vägs sannolikheten upp något av att anlagda bränder förekommer i korridorer där främsta startföremål är lös inredning, se kapitel 4. Konsekvensen av brandscenariot är hög på grund av att ett brandtillbud skulle innebära att möjlighet till utrymning försämras avsevärt.

Sannolikhet: 2

Sannolikhet natt: 1

Konsekvens: 4

Konsekvens natt: 5

5.6 Scenario 6: Anlagd brand i papperskorg på vårdavdelning

Papperskorgen på toaletten antas vara fylld med löst papper vid antändning och kommer upp i en effekt om cirka 20 kW på två minuter (Särdqvist, 1993). Tillväxten och den låga brandbelastningen leder till en låg konsekvens. Risken för en anlagd brand på toaletten är högre än ute i korridoren eftersom utrymnet

är dolt. Statistik visar att det är vanligare med anlagda bränder på toaletter än i korridorer, se kapitel 4.

Sannolikhet: 2
Sannolikhet natt: 1

Konsekvens: 1
Konsekvens natt: 2

5.7 Scenario 7: Brand i kafeteria på plan 2

I entréplan finns en kafeteria med mat, tidningar och godis, se figur 5.5. En brand i tidningsstället är möjlig eftersom entréplanet är öppet för alla och det finns tillfälle att anlägga en brand. Persontätheten i entrén är inte hög men det är troligt att det alltid befinner sig personal i kafeterian vilket gör det svårare att anlägga en brand. Konsekvensen blir inte hög eftersom det inte är persontätt och det finns flera utrymningsvägar. Största problemet som skulle kunna uppstå vid brand i kafeterian är att utrymning genom entrédörren skulle försvåras.

Sannolikhet: 2
Sannolikhet natt: 1

Konsekvens: 2
Konsekvens natt: 3



Figur 5.5. Kafeterian.

5.8 Tidpunktens inverkan på scenarier

Ur brandsläckning- och utrymningssynpunkt blir konsekvensen av ett brandförlopp högre på natten. Det beror på att personalantalet dagtid på respektive avdelning är 10-15 personer och nattetid endast två personer. Patientantalet är detsamma oavsett tid på dygnet. Enligt MSB och NFPA inträffar de flesta brandtillbuden mellan klockan 8-18 vilket minskar risken för brandtillbud på natten och sannolikheten för respektive brandscenario sänks med en enhet. På grund av det låga personalantalet på natten skulle ett brandtillbud innebära svårigheter för både patienter och personal därav höjs konsekvensen för respektive scenario med en enhet. På grund av större konsekvenser vid tillbud nattetid kompletteras scenarier som väljs med ett scenario under natten.

5.9 Riskmatris

De olika scenarierna rangordnas i förhållande till varandra och risken baseras på relationen mellan konsekvensen och sannolikheten. För att skapa en tydlig bild över relationen används en riskmatris. I matrisen åskådliggörs värdet för sannolikheten och konsekvensen för varje scenario som uppskattades i grovanalysen. En mörkare färg i matrisen innebär en hög sannolikhet i samband med en hög konsekvens, alltså en stor risk. De scenarierna med störst risk kan då identifieras och enligt figur 5.6 är det scenario 1, 3 och 5. Dessa tre scenarier kommer därför studeras mer ingående i denna rapport. Simuleringar och beräkningar för scenario 3 anses överförbara på scenario 4, skillnaden är att scenario 3 utmanar utrymningsmöjligheten mer.

Konsekvens					
5					
4		Scenario 5			
3				Scenario 3	
2		Scenario 7	Scenario 2	Scenario 4	Scenario 1
1		Scenario 6			
	1	2	3	4	5
					Sannolikhet

Figur 5.6. Riskmatris över scenario 1-7.

5.10 Scenarioanalys

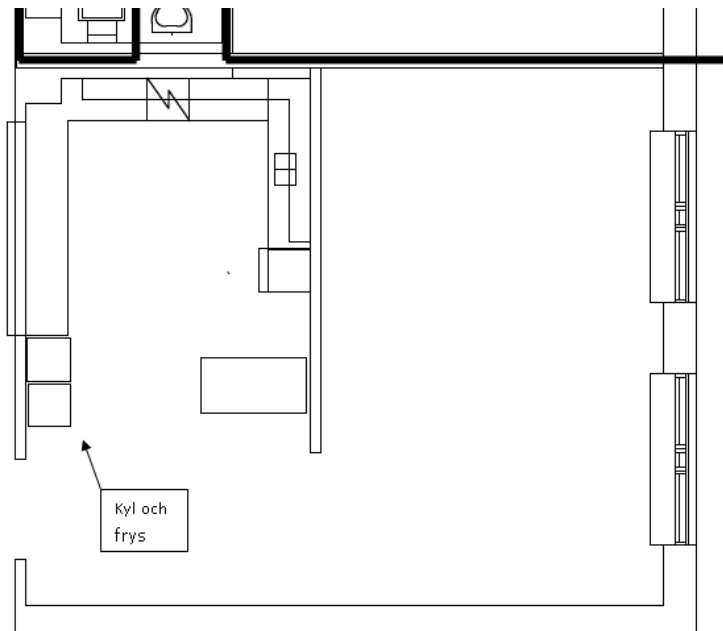
De tre utvalda scenarierna och scenariot nattetid analyseras med hjälp av effektutvecklingskurvor, beräkningar och simuleringar. Tider till kritiska förhållanden, se avsnitt 3.2, uppstår tas fram. Dessa tider jämförs för respektive scenario med tider för utrymning. Tiden för utrymning tas fram med hjälp av simuleringar och diskussioner. Om tiden för kritiska förhållanden understiger tiden för utrymning behöver åtgärder genomföras. Detta för att förlänga tiden till kritiska förhållanden eller förkorta utrymningstiden.

6 Brand i kök

I scenariot *brand i kök på avdelning 6*, scenario 1 i figur 5.6, undersöks två brandförlopp som representerar tänkbara bränder i köket. Första brandförloppet är en brand som startar i en brödkorg som lämnats på spisen och sedan sprider sig till köksskåpen ovanför. Det andra brandförloppet är en brand som startar bakom kylskåpet på grund av ett elfel. Köket kan beskådas i figur 6.1 och en geometrisk översikt ges i figur 6.2.



Figur 6.1. Köket på avdelning 6.



Figur 6.2. Geometrisk översikt för scenario med brand i kök.

6.1 Effektutveckling

För branden som startar i en brödkorg kontrolleras om spridning till skåpen ovan spisen sker genom strålningsberäkningar, se bilaga A. Brödkorgen antas vara gjord av trä med måtten $0,15 \cdot 0,15 \text{ m}^2$ och en spridning till skåpen kommer att ske.



Figur 6.3. Brand i kylskåp fem minuter efter antändning (Beard & Goebelbecker, 2007).

Vid brandförloppet som startar i kylan antas det att frysen bredvid antänds cirka fem minuter efter att kylan börjat brinna. Detta på grund av att det är först då som branden utvecklats till en flambrand, se figur 6.3. Spridning av branden till övrigt material sker i den senare delen av brandförloppet, detta eftersom brandförloppet bygger på en dold brand bakom kyl och frys. Avdelningen bör vara utrymd i detta läge och därför undersöks inte spridning till övrigt material vidare.

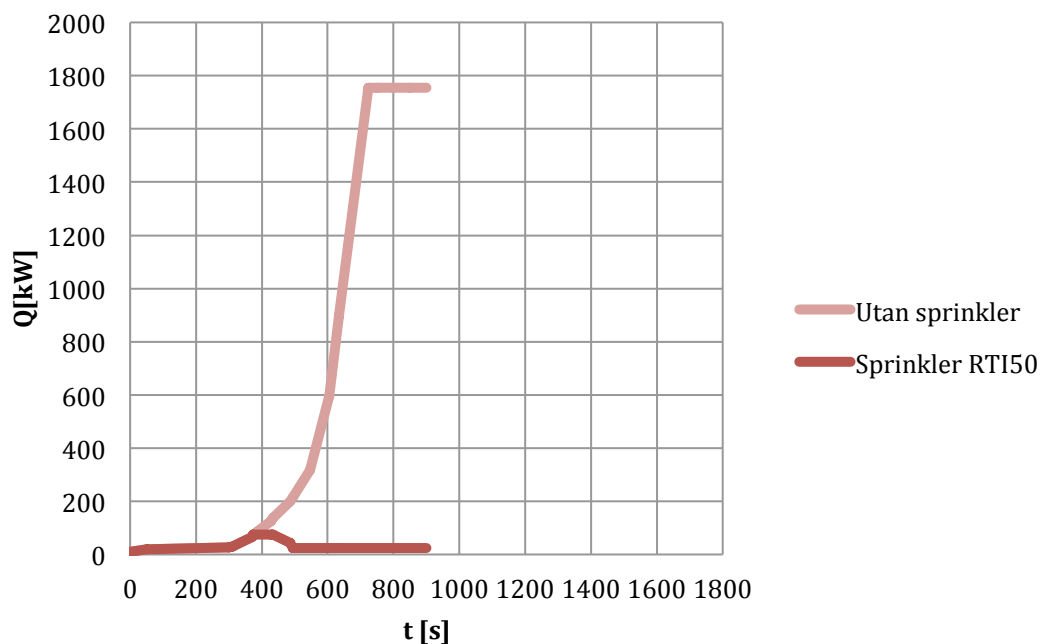
De båda bränderna beskrivs med αt^2 -kurvor där branden i köksskåpen har en snabbare tillväxt än branden i kylskåpet. DETACT QS användas för att simulera en tid för sprinkleraktivering, se bilaga B. Enligt BBRAD (BFS 2011:27) behålls effekten vid aktivering konstant under en minut för att sedan minska till en tredjedel under nästkommande minut.

Den hålls sedan på en konstant nivå (BFS 2011:27). Simuleringar för sprinkleraktivering genomförs med RTI50. Tid till aktivering av sprinklerbulben kan avläsas i tabell 6.1.

Tabell 6.1. Aktiveringstid för en sprinklerbulb vid brand.

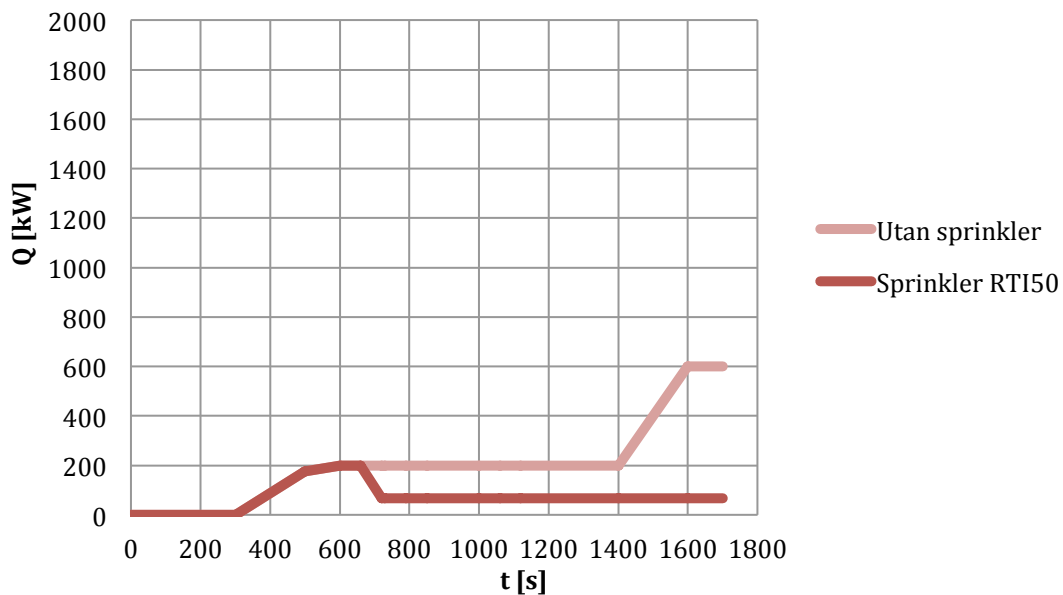
RTI-värde [$\text{m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$]	Aktiveringstid [s]	
	Skåp/spis	Kylskåp/frys
50	374	900

Köksskåpen approximeras med *small dresser* som utvecklar 1800 kW efter cirka sju minuter (NIST, 2011). Brödkorgens effektutveckling är liten i förhållande till skåpens och försummas därför när skåpen antänds. Effektkurvor för brandförloppet i skåpen med och utan sprinkleraktivering ses i figur 6.4.



Figur 6.4. Effektkurvor för brand i köksskåp med och utan sprinkleraktivering.

Branden bakom kyl och frys har en långsammare tillväxt och når 200 kW först efter 10 minuter. I figur 6.5 presenteras effektkurvor för brandtillbudet med och utan sprinkleraktivering.



Figur 6.5. Effektkurvor för brand i kyl och fryns med och utan sprinkleraktivering.

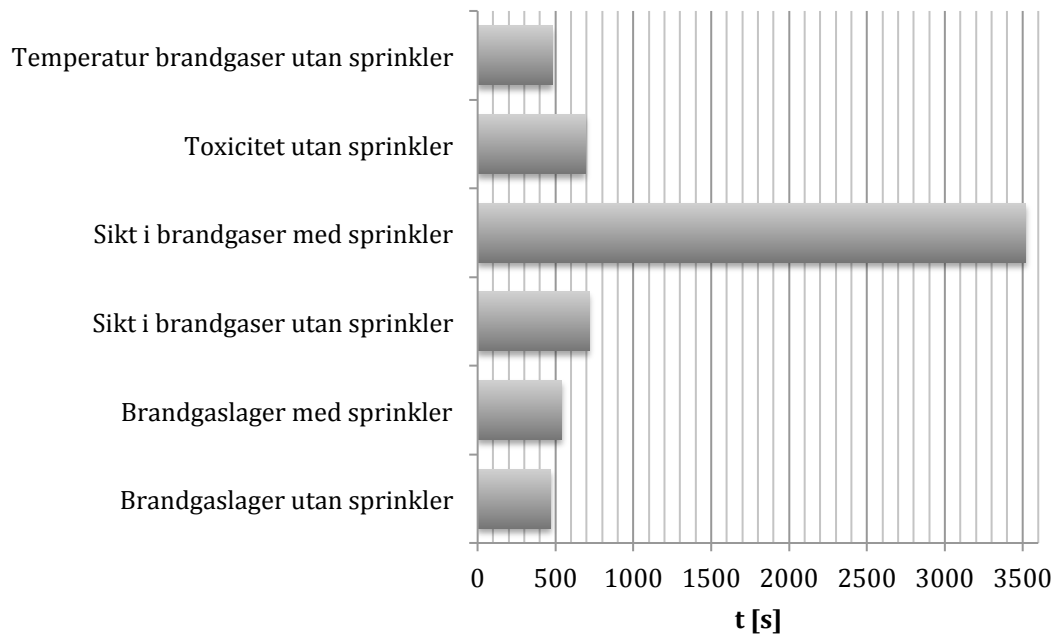
Köksskåpen har snabbare tillväxt och högre effekt, därför baseras analysen av scenariot på denna brand.

6.2 Tid kritiska förhållanden

Simuleringar i CFAST (NIST, 2009), se bilaga C, och handberäkningar avseende siktnedsättning, se bilaga D, ger underlag för bedömning av tiden tills kritiska förhållanden inträffar, dessa förhållanden redovisas i avsnitt 3.2. Tabell 6.2 visar när respektive kriterium uppfylls. Simuleringar med sprinkler är utförda med RTI50. Utrymmet som observeras är den del av väg till utrymningsväg som återfinns närmast brandrummet, det vill säga korridoren i anslutning till köket. Figur 6.6 visar hur de parametrar som når gränsvärde förhåller sig till varandra över tid. Brandgaserna får lov att sjunka under kritisk höjd och det är först när ytterligare ett kriterium uppfylls som kritiskt tillstånd inträffar. Kritisk höjd för sikt är två meter över golvet, övriga parametrar kan bli kritiska först då brandgaslagret sjunkit till 1,85 meter över golvet.

Tabell 6.2. Tid till kritiska förhållanden i korridor vid brand i kök.

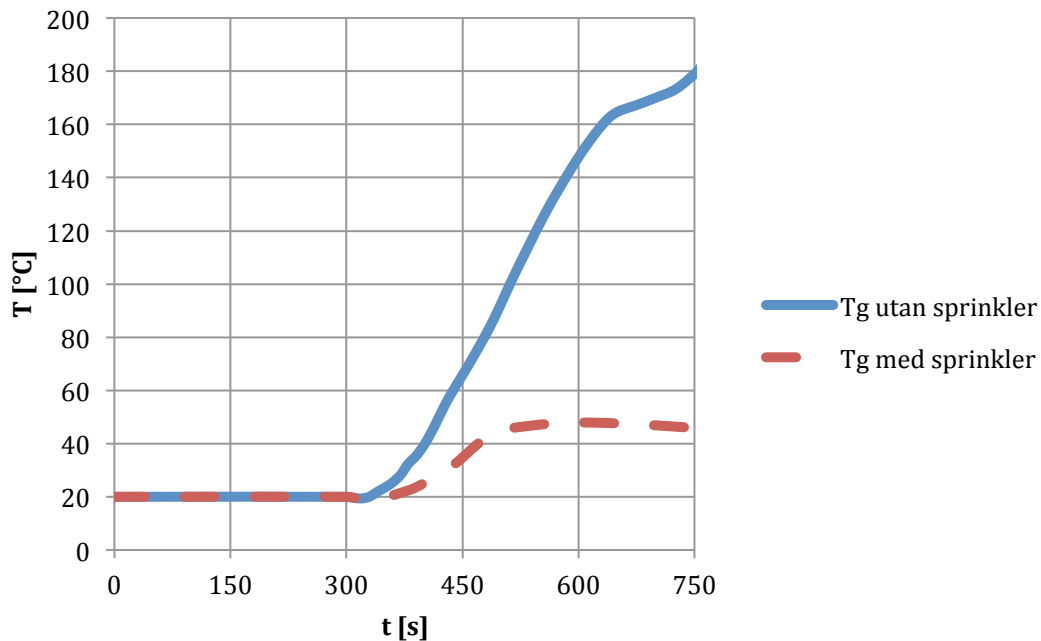
Kritisk parameter	Gränsvärde	Utan sprinkler	Med sprinkler
Temperatur brandgaser	80 °C	480 s	Uppnås ej
Temperatur undre lager	80 °C	Uppnås ej	Uppnås ej
Höjd brandgaslager	1,85 m	470 s	540 s
Strålning från brandgaser	2,5 kW/m ²	Uppnås ej	Uppnås ej
Sikt i brandgaser	5 m (2 ob)	718 s	3520 s
CO	2000 ppm	Uppnås ej	Uppnås ej
CO ₂	5 %	Uppnås ej	Uppnås ej
O ₂	15 %	690 s	Uppnås ej



Figur 6.6. Tid till kritiskt tillstånd i korridor vid brand i kök.

Figur 6.6 redovisar tiden till kritisk temperatur i det övre lagret, i verkligheten är dock gränsen mellan varmt och kallt inte skarp. Därför är det inte rimligt att tolka resultatet från simuleringen bokstavligen. Det ger mer en fingervisning om aktuella tider, i ett verkligt scenario kommer temperaturen gradvis bli högre ju högre upp i rummet man befinner sig. Figur 6.7 visar hur brandgasernas temperatur varierar i vägen till utrymningsväg innan kritiskt tillstånd uppnås, utan och med sprinkler. Ett liknande resonemang tillämpas på siktbedömningen, sikten försämras i fortare högre upp i rummet. Siktberäkningar utförs med ett antagande om att brandgaserna är jämnt fördelade i hela den volym som behandlas, se bilaga D. Det innebär att gränsvärdet om fem meter sikt på två meters höjd kan nå tidigare än vad beräkning visar.

Dimensionerande kritisk tid för brand i kök sätts med hjälp av tabell 6.2 till 3520 sekunder, det vill säga cirka 59 minuter.



Figur 6.7. Temperatur brandgaslager i korridor vid brand i kök.

6.3 Utrymning

Här behandlas den totala utrymningstiden för scenariot i köket. Tiden delas in i tre faser som behandlas var för sig.

6.3.1 Varseblivningstid

För att möjliggöra en uppskattning av varseblivningstiden tas tider för bästa troliga fall, teoretisk detektionstid och värsta troliga fall fram. En teoretisk detektionstid beräknas med hjälp av DETACT QS vilket är ett datorprogram som används för att simulera tid till aktivering. Beskrivning av DETACT QS kan ses i bilaga B. Den teoretiska detektionstiden beräknas till 100 sekunder, se tabell B.1. Tider för bästa och värsta troliga fall diskuteras fram. I bästa fall antas att ett brandtillbud upptäcks av personalen i ett tidigt skede och varseblivningstiden uppskattas till 15 sekunder. Uppskattningen baseras på att scenariot är beläget där många ur personalen befinner sig. Värsta troliga fall antas inträffa när personalen befinner sig hos patienterna exempelvis under en rond. Om det inte befinner sig någon personal i närheten av köket och det automatiska brandlarmet inte detekterar antas den värsta troliga tiden till 200 sekunder. Detta anses vara den längsta tid köket är obemannat. Efter resonemang antas det att branden upptäcks innan detektion sker och en trolig tid uppskattas till 30 sekunder.

6.3.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden är svår att uppskatta men utifrån vetskapen om vad som påverkar fasen förs ett resonemang kring tiden. Eftersom personalens utbildning har stor betydelse (Frantzich, 2001) används enkätundersökningen som genomfördes under platsbesöket som underlag i resonemanget. Enkäterna visar att flera ur personalen varken har en utbildning eller känner sig väl förberedda på ett utrymningstillbud, se figur 2.13-2.15, vilket påverkar denna fas negativt. Dock syns i dessa figurer att personal som arbetat lång tid på avdelningen, som

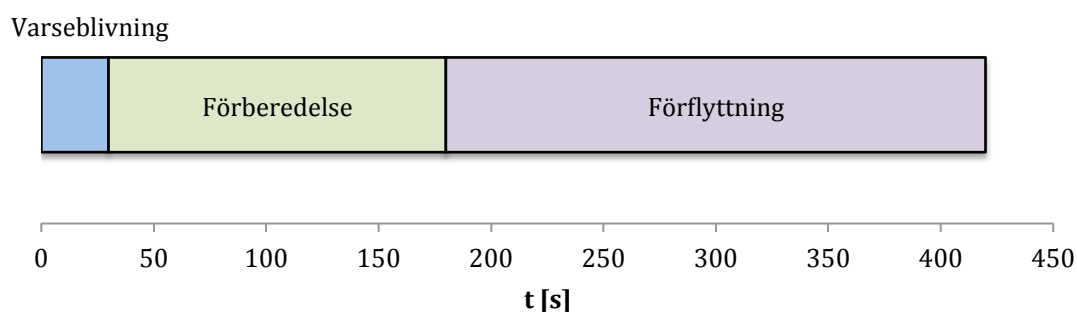
då kan tänkas ha en ledarroll, känner sig väl förberedda och har utbildning inom området vilket påverkar förberedelsetiden positivt (Frantzich, 2001). Detta resultat innebär att det kommer bero mycket på vilken personalstyrka som arbetar och i bästa fall arbetar fler som har en bra utbildning. Om så är fallet uppskattas förberedelsetiden till cirka en minut. En sämsta tid resoneras fram på liknande sätt och inträffar om många anställda som saknar utbildning arbetar och antas till cirka fyra minuter. Ett troligt scenario är att det är en blandad personalstyrka och efter resonemang uppskattas en trolig förberedelsetid till 2,5 minuter.

6.3.3 Förflyttningstid

För att bestämma förflyttningstiden för personal och patienter på avdelning 6 används simuleringsprogrammet Escape and Rescue Model (ERM). Beskrivning av ERM ges i bilaga E. Personalen samt patienterna placerades ut på avdelningen och tiden det tog för personal och patienter att förflytta sig till närmsta avdelning, alltså till en säker brandcell, beräknades. Två olika fall där patienttypen varierade simulerades och förflyttningstiden blev cirka fyra minuter i de båda fallen, se bilaga E.

6.3.4 Total utrymningstid

Den totala utrymningstiden är varseblivningstiden, förberedelsetiden och förflyttningstiden tillsammans. För att få en trolig total utrymningstid summeras de olika faserna vilket ger en total tid på 420 sekunder, se figur 6.8.

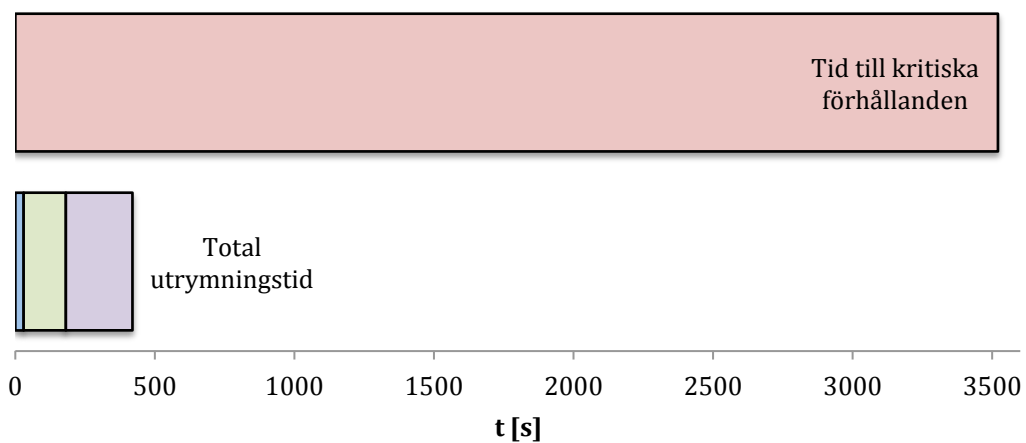


Figur 6.8. Utrymningsförloppet för scenariot i köket, troliga fallet.

6.4 Värdering

Vid jämförelse av den totala utrymningstiden och tiden till kritiska förhållanden, se figur 6.6 och 6.8, kan det utläsas att kritiska förhållanden inte inträffar innan utrymningsförloppet är slutfört om sprinklersystemet aktiverar. Brandgaslagret kan tillåtas sjunka under kritisk höjd så länge övriga parametrar inte överstiger sitt gränsvärde. Om sprinklersystemet aktiverar är det endast sikten som överstiger sitt gränsvärde och detta efter 3520 sekunder och utrymningsförloppet anses tillfredställande. Skulle sprinklersystemet falla inträffar kritiska förhållanden efter 480 sekunder, se tabell 6.2.

Personsäkerheten uppfylls vid sprinkleraktivering eftersom utrymning kan genomföras innan kritiska förhållanden inträffar, se figur 6.9.



Figur 6.9 Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och total utrymningstid vid brand i kök.

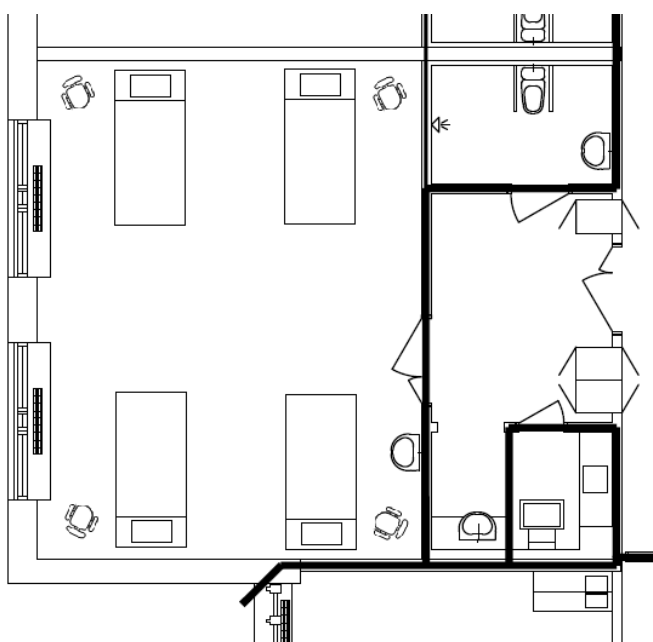
7 Brand i patientrum

I scenariot *brand i patientrum närmast övriga avdelningar*, scenario 3 i figur 5.6, undersöks ett brandförlopp som startar i en av sängarna, se figur 7.1.

Patientrummet närmast de övriga avdelningarna har plats för fyra patienter och en geometrisk översikt ges i figur 7.2.



Figur 7.1. Säng i patientrum.



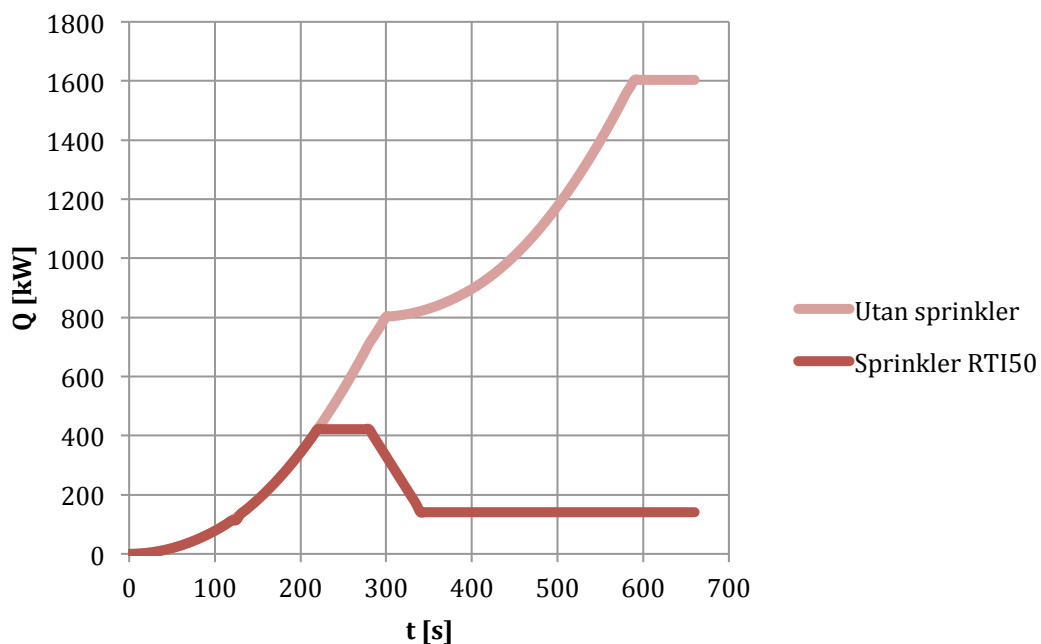
Figur 7.2. Patientrum med fyra sängar och stolar, placerat närmast övriga avdelningar.

7.1 Effektutveckling

Branden antas starta i en av madrasserna och strålningsberäkningar genomförs för att kontrollera spridningsrisken, se bilaga A. Spridning är möjlig till sängen och stolarna på samma sida rummet men inte till inredning på motsatt sida. Brandförloppets tillväxt beskrivs med en α^2 -kurva, sängarna approximeras med *Hospital bed* och utvecklar 700 kW efter cirka fem minuter (Särdqvist, 1993). Stolarna approximeras med *armchairs* med träram och en stoppad dyna vilka utvecklar 100 kW efter cirka tre minuter. DETACT QS används för att simulera tiden för sprinkleraktivering, se bilaga B. Enligt BBRAD behålls effekten vid aktivering konstant under en minut för att sedan minska till en tredjedel under nästkommande minut. Den hålls sedan på en konstant nivå (BFS 2011:27). Simuleringar för sprinkleraktivering genomförs med RTI50. Tid till aktivering av sprinklerbulb kan avläsas i tabell 7.1. I figur 7.3 presenteras effektkurvor med och utan sprinkleraktivering.

Tabell 7.1. Aktiveringstid för en sprinklerbulb vid brand.

RTI-värde [$\text{m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$]	Aktiveringstid [s]
50	220



Figur 7.3. Effektkurvor för brand i patientrum med och utan sprinkleraktivering.

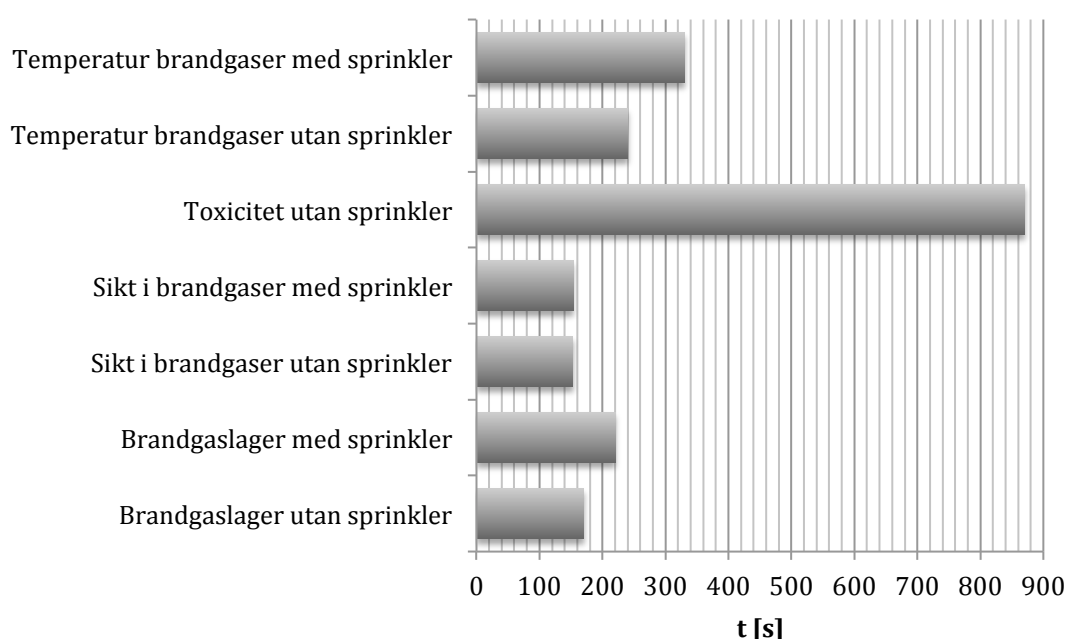
7.2 Tid kritiska förhållanden

Simuleringar i CFAST (NIST, 2009), se bilaga C, ger underlag för bedömning av tiden tills kritiska förhållanden inträffar, dessa förhållanden redovisas i avsnitt 3.2. Sikten beräknas för hand och förfarandet redovisas i bilaga D. Tabell 7.2 visar när respektive kriterium uppfylls. Kritisk höjd för sikt är två meter över golvet, övriga parametrar kan bli kritiska först då brandgaslagret sjunkit till 1,85 meter över golvet. Simuleringar med sprinkler utförs med RTI50. Utrymmet som observeras är den del av vägen till utrymningsväg som återfinns närmast brandrummet, det vill säga korridoren i anslutning till förrummet utanför patientrummet. Figur 7.4 visar hur de parametrar som når gränsvärde förhåller

sig till varandra över tid. Brandgaserna får lov att sjunka under kritisk höjd, det är först när ytterligare ett kriterium uppfylls som kritiskt tillstånd inträffar.

Tabell 7.2. Tid till kritiska förhållanden i korridor vid brand i patientrum.

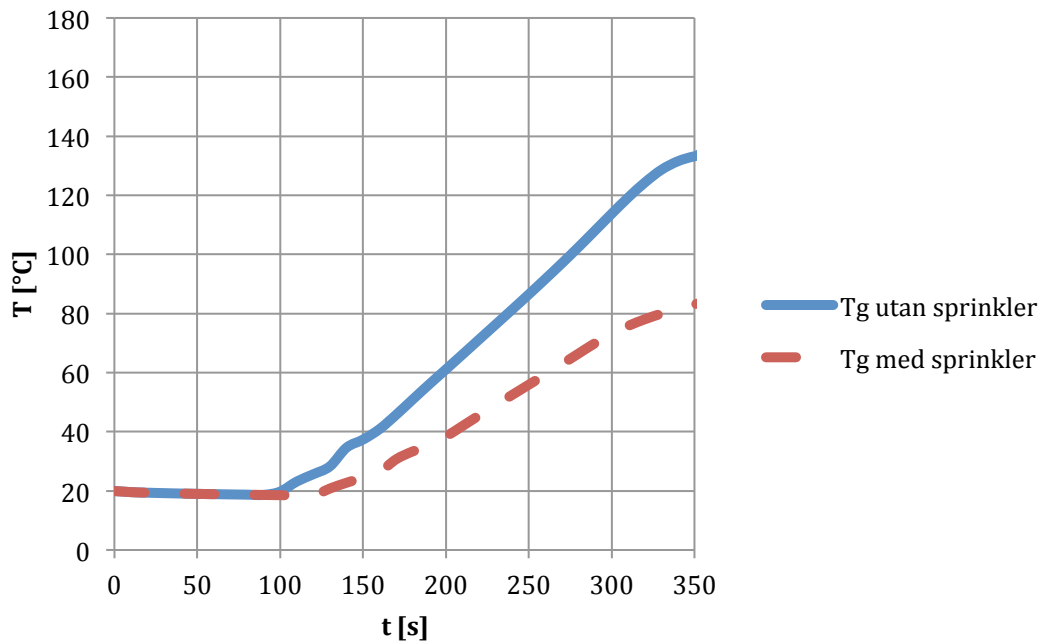
Kritisk parameter	Gränsvärde	Utan sprinkler	Med sprinkler
Temperatur brandgaser	80 °C	240 s	330 s
Temperatur undre lager	80 °C	Uppnås ej	Uppnås ej
Höjd brandgaslager	1,85 m	170 s	220 s
Strålning från brandgaser	2,5 kW/m ²	Uppnås ej	Uppnås ej
Sikt i brandgaser	5 m (2 ob)	153 s	154 s
CO	2000 ppm	Uppnås ej	Uppnås ej
CO ₂	5 %	Uppnås ej	Uppnås ej
O ₂	15 %	870 s	Uppnås ej



Figur 7.4. Tid till kritiskt tillstånd i korridor vid brand i patientrum.

Figur 7.4 redovisar tiden till kritisk temperatur i det övre lagret, i verkligheten är dock gränsen mellan varmt och kallt inte skarp. Därför är det inte rimligt att tolka resultatet från simuleringen bokstavligen. Det ger mer en fingervisning om aktuella tider, i ett verkligt scenario kommer temperaturen gradvis bli högre ju högre upp i rummet man befinner sig. I figur 7.5 visas hur brandgasernas temperatur varierar i vägen till utrymningsväg, utan och med sprinkler. Brandgasernas fördelning styr också hur fort försämring av sikten sker. Sikten kan försämrats fortare än vad beräkning visar.

Dimensionerande kritisk tid för brand i patientrum sätts med hjälp av tabell 7.2 till 154 sekunder.



Figur 7.5. Temperatur brandgaslager i korridor vid brand i patientrum.

7.3 Utrymning

I detta stycke estimeras en total utrymningstid, vilken delas in i tre faser.

7.3.1 Varseblivningstid

En teoretisk detektionstid för scenariot tas fram med hjälp av DETACT QS, se bilaga B, den blir 70 sekunder, se tabell B.1. Tiden för bästa troliga och värsta troliga fall diskuteras fram. Den bästa tiden uppskattas ske när någon ur personalen upptäcker branden innan detektorn aktiverar och antas till 20 sekunder. Värsta troliga fall antas inträffa om det automatiska brandlarmet inte detekterar och att branden upptäcks först när rök börjar strömma ut till korridoren. Resultat från simulering i CFAST visar att rökspridning till korridoren sker efter 120 sekunder. Efter diskussion antas att patienterna inte larmar och den troliga varseblivningstiden sätts till detektionstiden, det vill säga 70 sekunder.

7.3.2 Förberedelsetid

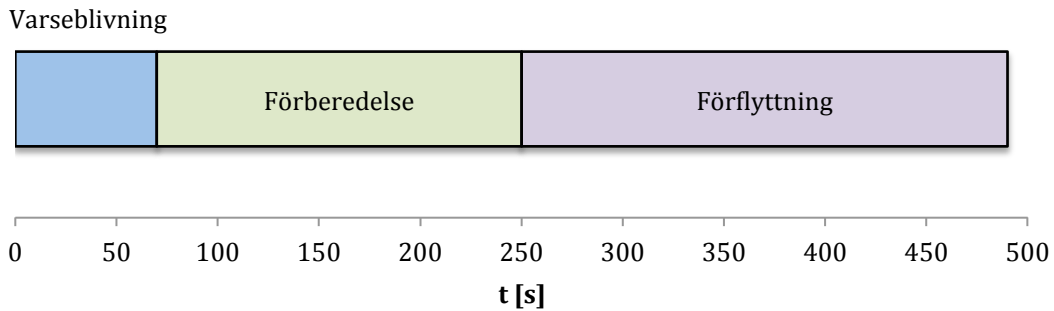
Resonemang kring förberedelsetiden förs med grund i enkätundersökningen på ett liknande sätt som för scenariot i köket. Dock antas förberedelsetiden förlängas för scenariot i patientrummet eftersom branden är mer dold för personalen och en genomsökning av avdelningen för att konstatera brand måste göras. Efter detta resonemang sätts förberedelsetiden till tre minuter.

7.3.3 Förflyttningstid

ERM används för att få en trolig förflyttningstid. Tiden för att personal och patienter på avdelningen ska förflytta sig till en säker brandcell beräknas. Simuleringarna ger en tid på fyra minuter, se bilaga E, vilken används som förflyttningstid.

7.3.4 Total utrymningstid

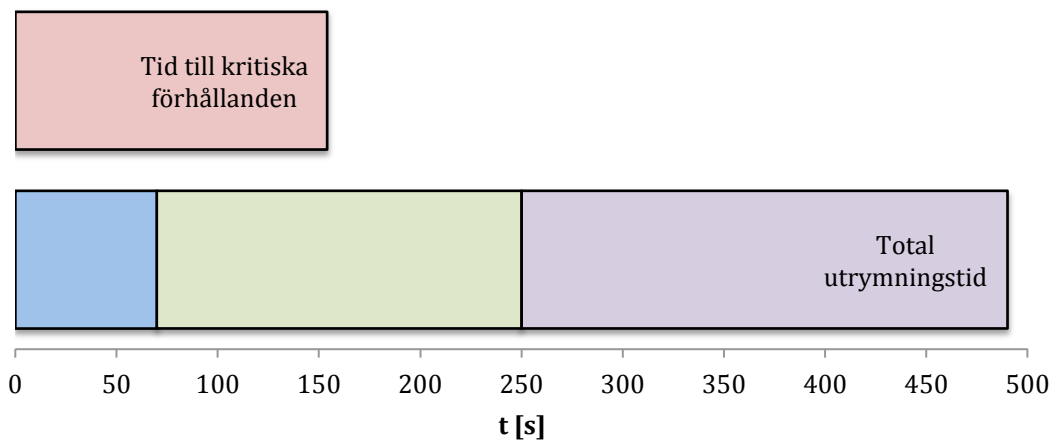
En total utrymningstid fås efter summering av de olika faserna och den totala tiden blir 490 sekunder, se figur 7.6.



Figur 7.6. Utrymningsförloppet för scenariot i patientrum, troliga fallet.

7.4 Värdering

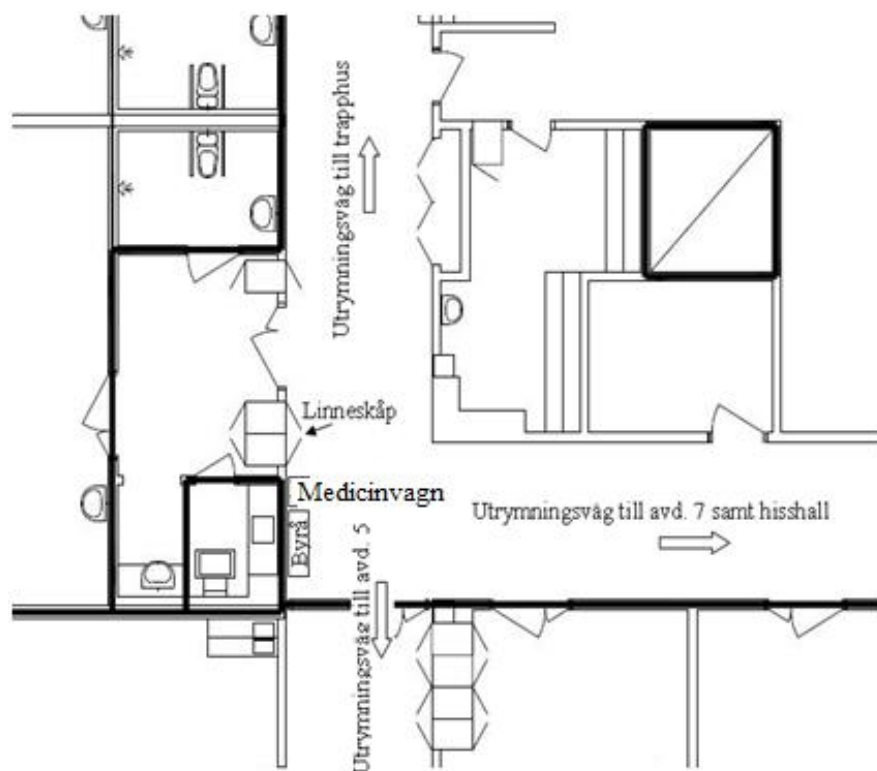
För scenariot i patientrummet är det sikten som gör att tiden för utrymningsförloppet inte är tillfredsställande. Scenariot förutsätter att dörren till patientrummet förblir öppen. Kritiskt tillstånd inträffar efter 154 sekunder, se figur 7.4, när sprinkler aktiverar. Utrymningsförloppet tar 336 sekunder längre tid än kriteriet för vad som anses tillfredsställande, se figur 7.7. En eller flera åtgärder bör genomföras för att nå tillfredsställande personsäkerhet.



Figur 7.7. Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och total utrymningstid vid brand i patientrum.

8 Brand i linneskåp

I scenariot *brand i linneskåp*, scenario 5 i figur 5.6, studeras hur en brand utvecklas i ett linneskåp för att sedan sprida sig till intilliggande medicinvagn och byrå. Syftet är att se hur branden påverkar utrymning då den troligtvis kommer att blockera utrymningsväg till annan avdelning. Figur 8.1 ger en geometrisk översikt av scenariot.



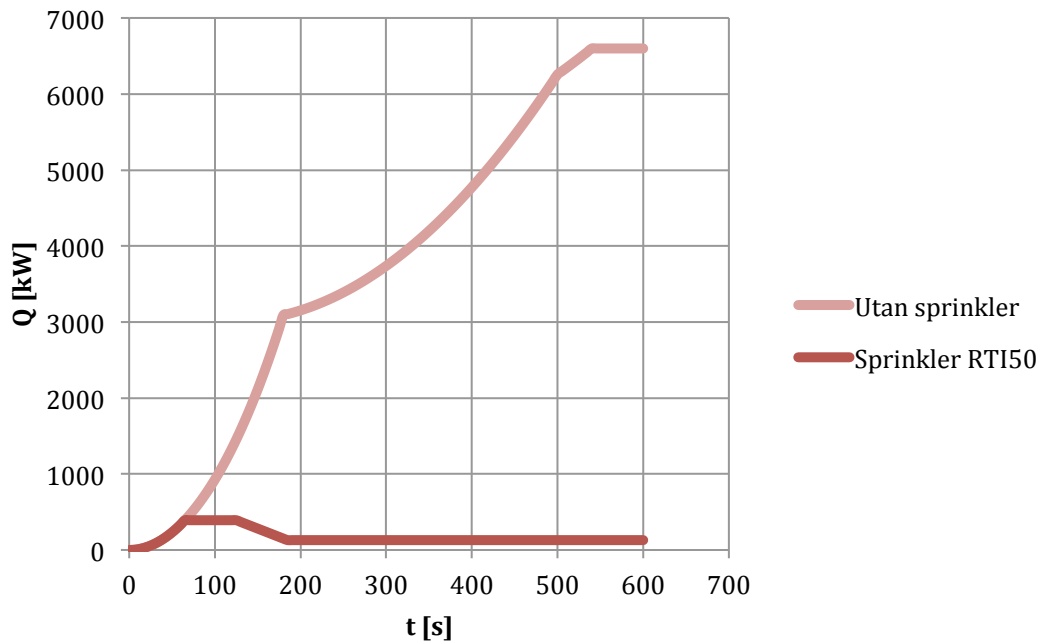
Figur 8.1. Geometrisk översikt för scenario med brand i linneskåp.

8.1 Effektutveckling

Branden antas starta i linneskåpet och genom strålningsberäkningar kontrolleras om spridning sker, se bilaga A. Beräkningar visar att en spridning till intilliggande medicinvagnen sker och det antas sedan att branden sprider sig till byrån via flammor då dessa står i princip intill varandra. Branden beskrivs med en αt^2 -kurva där linneskåpet jämförs med experiment utförda med garderober. En liknande garderob i plywood, dock med mindre innehåll, har en maximal effektutveckling om 3000 kW (Särdqvist, 1993). Denna effektutveckling nås efter cirka 180 sekunder. Medicinvagnen och byrån approximeras båda med *small dresser* som utvecklar 1800 kW efter cirka sju minuter (NIST, 2011). DETACT QS används för att simulera en tid för sprinkleraktivering. Enligt de BBRAD behålls effekten vid aktivering konstant under en minut för att sedan minska till en tredjedel under nästkommande minut. Den hålls sedan på en konstant nivå (BFS 2011:27). Simuleringar för sprinkleraktivering genomförs med RTI50. Tid till aktivering av sprinklerbulb kan avläsas i tabell 8.1. I figur 8.2 presenteras effektkurvor med och utan sprinkleraktivering.

Tabell 8.1. Aktiveringstid för en sprinklerbulb vid brand.

RTI-värde [$m^{1/2}s^{1/2}$]	Aktiveringstid [s]
50	64



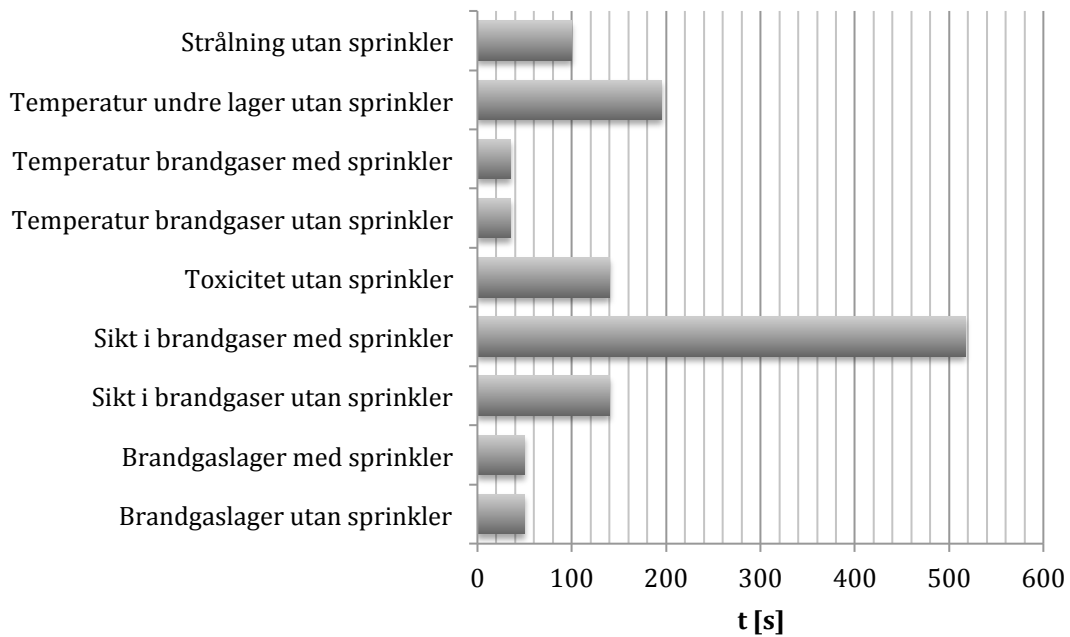
Figur 8.2. Effektkurvor för brand i linneskåp med och utan sprinkleraktivering.

8.2 Tid kritiska förhållanden

Simuleringar i CFAST (NIST, 2009) ger underlag för bedömning av tiden tills kritiska förhållanden inträffar, dessa förhållanden redovisas i avsnitt 3.2. Siktberäkningar genomförs för hand kan ses i bilaga D. Tabell 8.2 visar när respektive kriterium uppfylls. Simuleringar med sprinkler utförs med RTI50. Scenariot behandlar brand i korridoren som också är väg till utrymningsväg. Figur 8.3 visar hur de parametrar som når gränsvärde förhåller sig till varandra över tid. Brandgaserna får lov att sjunka under kritisk höjd, det är först när ytterligare ett kriterium uppfylls som kritiskt tillstånd inträffar. Kritisk höjd för sikt är två meter över golvet, övriga parametrar kan bli kritiska först då brandgaslagret sjunkit till 1,85 meter över golvet.

Tabell 8.2. Tid till kritiska förhållanden i korridor vid brand i linneskåp.

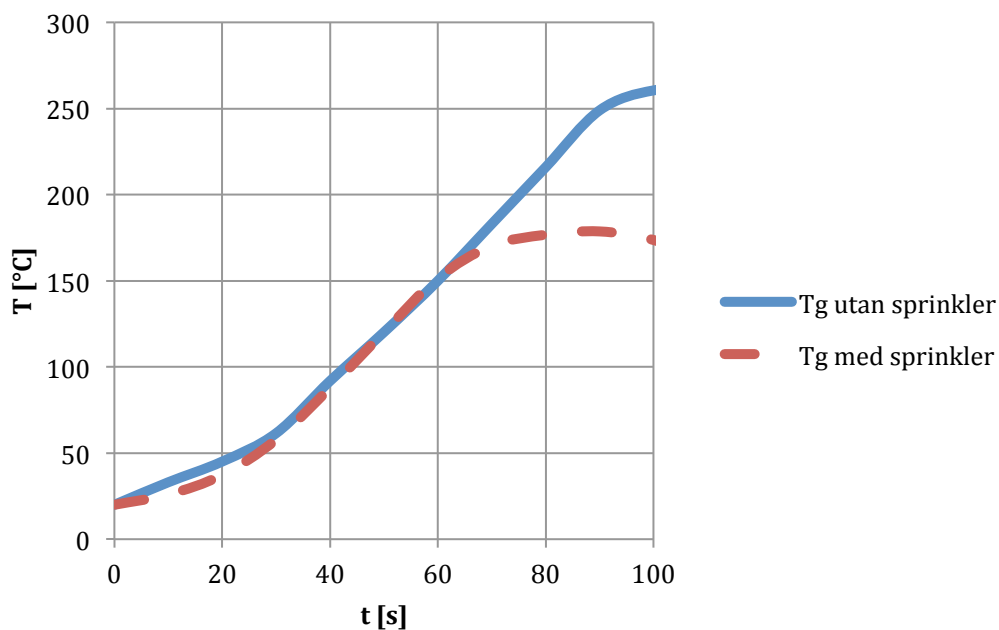
Kritisk parameter	Gränsvärde	Utan sprinkler	Med sprinkler
Temperatur brandgaser	80 °C	35 s	35 s
Temperatur undre lager	80 °C	195 s	Uppnås ej
Höjd brandgaslager	1,85 m	50 s	50 s
Strålning från brandgaser	2,5 kW/m ²	100 s	Uppnås ej
Sikt i brandgaser	5 m (2 ob)	140 s	517 s
CO	2000 ppm	Uppnås ej	Uppnås ej
CO ₂	5 %	180 s	Uppnås ej
O ₂	15 %	140 s	Uppnås ej



Figur 8.3. Tid till kritiskt tillstånd i korridor vid brand i linneskåp.

Figur 8.3 redovisar tiden till kritisk temperatur i det övre lagret, i verkligheten är dock gränsen mellan varmt och kallt inte skarp. Därför är det inte rimligt att tolka resultatet från simuleringen bokstavligen. Det ger mer en fingervisning om aktuella tider, i ett verkligt scenario kommer temperaturen gradvis bli högre ju högre upp i rummet man befinner sig. Figur 8.4 visar hur temperaturen i brandgaserna varierar i vägen till utrymningsväg, utan och med sprinkler. Sikttnedsättningen är också beroende av hur brandgaserna fördelas i rummet.

Dimensionerande kritisk tid för brand i linneskåp sätts med hjälp av tabell 8.2 till 50 sekunder.



Figur 8.4. Temperatur brandgaslager i korridor vid brand i linneskåp.

8.3 Utrymning

Utrymningsförloppet delas in i tre faser, här presenteras dessa och en total utrymningstid.

8.3.1 Varseblivningstid

Den teoretiska detektionstiden fås med hjälp av DETACT QS, se bilaga B, och är för detta scenario 10 sekunder, se tabell B.1. Eftersom detektion sker så pass snabbt antas 10 sekunder även representera den bästa troliga tiden. Värsta troliga fall antas inträffa om det automatiska brandlarmet inte detekterar och branden upptäcks först då någon ur personalen ser den. Brandgasspridning sker snabbt enligt simulering i CFAST och scenariot ligger på en överskådlig plats. Därför antas värsta troliga tid till 30 sekunder. Efter diskussion antas detektionssystemet fungera och en trolig tid för fasen uppskattas till 10 sekunder.

8.3.2 Förberedelsetid

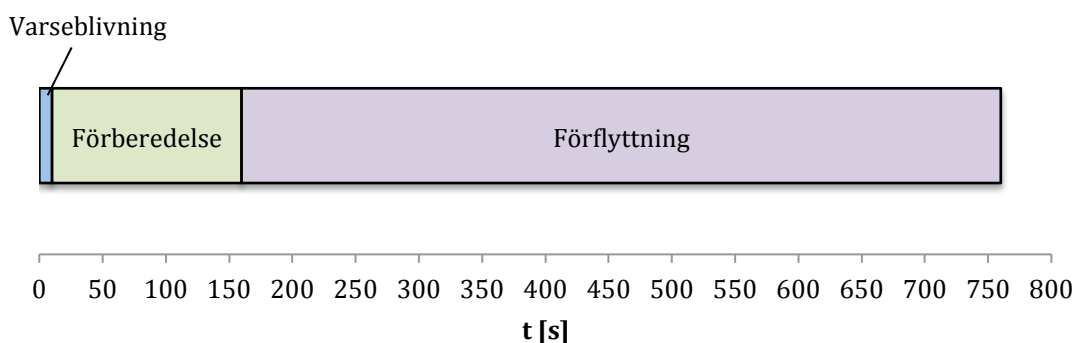
Diskussion kring förberedelsetiden genomförs på liknande sätt som för föregående scenarier och grundar sig i enkätundersökningen och scenariots placering. Eftersom scenariot i linneskåpet är överskådligt antas förberedelsetiden till 2,5 minuter eftersom en genomsökning av avdelningen ej är nödvändig.

8.3.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden för scenariot är svår att uppskatta på grund av att brandens placering stänger möjligheten till att utrymma till annan avdelning. Enligt simuleringar i ERM, se bilaga E, tar förflyttningen cirka två minuter. Eftersom ERM inte tar hänsyn till köbildning och många av patienterna inte kan ta sig ned för trappan utan bärhjälp antas denna tid enbart representera vid vilken tid de når trapphuset. Det antas få plats fyra till fem patienter på trappavsatsen samtidigt som några få kan börja ta sig nedåt. De andra som finns kvar på avdelningen har en möjlighet att ta sig till avdelning 7 genom kontoret och dagrummet. Dock är dörren till kontoret enbart 90 centimeter bred vilket gör att inga sängar kan köras denna väg. På grund av dessa svårigheter har en simulering med det vägvalet inte genomförts. Efter dessa diskussioner antas en förflyttningstid för scenariot till 10 minuter.

8.3.4 Total utrymningstid

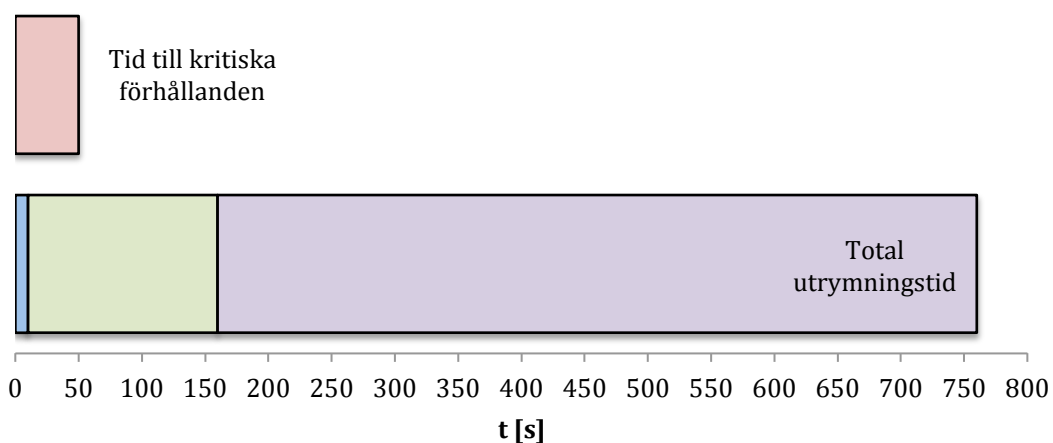
För scenariot i linneskåpet blir den totala utrymningstiden 760 sekunder, se figur 8.5.



Figur 8.5. Utrymningsförloppet för scenariot i linneskåpet, troliga fallet.

8.4 Värdering

Om sprinklersystemet inte aktiverar vid ett brandtillbud i linneskåpet inträffar kritiska förhållanden snabbt enligt figur 8.3. Kritiska förhållanden för temperatur, sikt och brandgaslagrets höjd har inträffat redan innan förflyttningsfasen påbörjats enligt figur 8.5. Temperaturen i brandgaserna hinner bli för hög innan sprinkler aktiverar, detta sker efter 50 sekunder enligt tabell 8.2 och figur 8.6. Även här bör åtgärder genomföras eftersom utrymning inte kan ske tillfredsställande.



Figur 8.6. Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och total utrymningstid vid brand i linneskåp.

9 Brand på natten

I scenariot *brand på natten* undersöks samma brandförlopp som undersökts i scenario *brand i patientrum närmast övriga avdelningar* i kapitel 7 med skillnaden att när utrymningsscenarioet simuleras används personalstyrkan som råder på natten. Sannolikheten för att en brand startar på natten är lägre än sannolikheten att den startar på dagen. Personalantalet är så mycket lägre på natten att det kommer att påverka personsäkerheten vid en utrymning. Anledningen till att *brand i patientrum* representerar *brand på natten* är för att det antas vara det mest troliga startutrymnet samt på grund av att patienterna är i rummet på natten.

9.1 Tid till kritiska förhållanden

Tiden till kritiska förhållanden fås på exakt samma sätt som i avsnitt 7.2 och tiderna kan avläsas i tabell 9.1.

Tabell 9.1. Tid till kritiska förhållanden i korridor vid brand i patientrum.

Kritisk parameter	Gränsvärde	Utan sprinkler	Med sprinkler
Temperatur brandgaser	80 °C	240 s	330 s
Temperatur undre lager	80 °C	Uppnås ej	Uppnås ej
Höjd brandgaslager	1,85 m	170 s	220 s
Strålning från brandgaser	2,5 kW/m ²	Uppnås ej	Uppnås ej
Sikt i brandgaser	5 m (2 ob)	153 s	154 s
CO	2000 ppm	Uppnås ej	Uppnås ej
CO ₂	5 %	Uppnås ej	Uppnås ej
O ₂	15 %	870 s	Uppnås ej

9.2 Utrymning

I detta stycke estimeras en total utrymningstid, vilken delas in i tre faser.

9.2.1 Varseblivnings- och förberedelsetid

Dessa två tider tas fram på samma sätt som i avsnitt 7.3. För varseblivningstiden används en teoretisk detektionstid vilken är 70 sekunder, se bilaga B. Förberedelsetiden ansätts till 3,5 minuter eftersom det kommer ta längre tid för två personer att söka igenom avdelningen jämfört med 15 personer som ger förberedelsetiden tre minuter i resonemanget som förts i avsnitt 7.3.2.

9.2.2 Förflyttningstid

Programmet ERM används för att bestämma en trolig förflyttningstid, där tiden för personal och patienter att förflytta sig till säker brandcell beräknas, se bilaga E. Två olika tider beräknas, en där personalantalet sätts till två personer och en där personalantalet sätts till sex personer. Simulering med sex vårdare genomförs för att se inverkan av ett större personalantal. Tiderna kan avläsas i tabell 9.2.

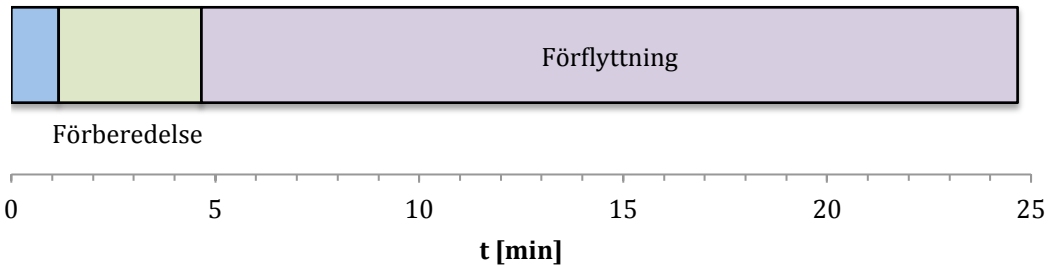
Tabell 9.2. Personalantal och förflyttningstid.

Personalantal	Förflyttningstid [min]
2	20
6	7

9.2.3 Total utrymningstid

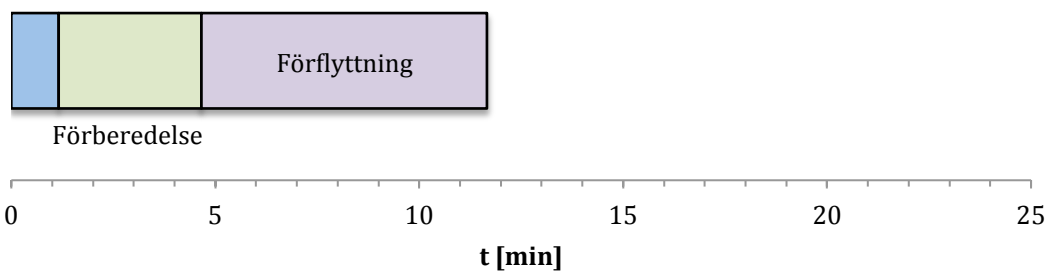
Utrymningstiden fås efter summering av de olika faserna. Den totala utrymningstiden för *brand på natten* med endast två i personalen blir cirka 24,5 minuter, se figur 9.1 och den totala utrymningstiden för *brand på natten* med sex i personalen blir cirka 11,5 minuter, se figur 9.2.

Varseblivning



Figur 9.1. Total utrymningstid med personalantal 2.

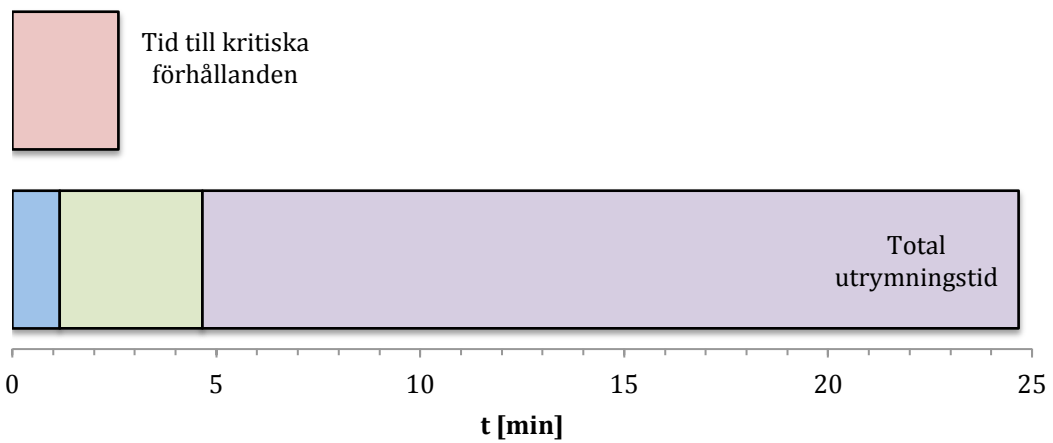
Varseblivning



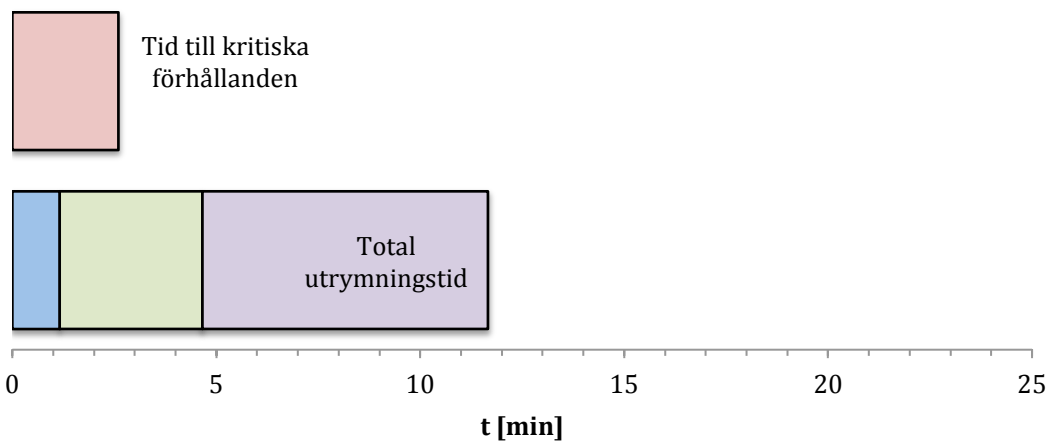
Figur 9.2. Total utrymningstid med personalantal 6.

9.3 Värdering

För scenariot *brand på natten* är det sikten som gör att personsäkerheten inte blir tillfredsställande när sprinkler aktiverar. Kritiskt tillstånd inträffar efter 154 sekunder. Utrymningsförloppet tar upp till 22 minuter längre tid än kriteriet för vad som anses tillfredsställande, se figur 9.3 och 9.4. Åtgärder behöver vidtas för att nå tillfredsställande personsäkerhet.



Figur 9.3. Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och total utrymningstid med personalantal 2.



Figur 9.4. Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och total utrymningstid med personalantal 6.

10 Känslighetsanalys

I detta kapitel undersöks hur mycket de olika valen av parametrar påverkar resultatet.

10.1 DETACT QS

För att beräkna detektionstid samt tid till aktivering av sprinkler används programmet DETACT QS. Det undersöks i detta avsnitt hur val av indata påverkar utdata.

10.1.1 Aktiveringstemperatur

Eftersom detektorn reagerar på rök antas en låg aktiveringstemperatur, 10 °C över initial rumstemperatur vid beräkning av en aktiveringstid. För att analysera hur indata påverkar resultatet beräknas även en aktiveringstid med en aktiveringstemperatur på 37 °C över initierad rumstemperatur. Tabell 10.1 presenterar resultaten för de två beräkningarna och som ses har aktiveringstemperaturen stor betydelse.

Tabell 10.1 De olika aktiveringstiderna vid olika aktiveringstemperaturer.

Brandscenario	Aktiveringstemperatur 30°C	Aktiveringstemperatur 57°C
Kök, skåp	100 sekunder	440 sekunder
Kök, kyl	330 sekunder	500 sekunder
Patientrum	70 sekunder	180 sekunder
Linneskåp	10 sekunder	36 sekunder

Detektionstiden har speciellt stor betydelse för scenariot i patientrummet eftersom det inte ligger på en överskådlig plats. Därför antas en trolig varseblivningstid vara den teoretiska aktiveringstemperaturen för detektorerna. Ur tabell 10.1 kan skillnaden för patientrummet avläsas till 110 sekunder vilket innebär en ökning av den totala utrymningstiden. För scenariot i köket sker den största förändringen, se tabell 10.1, vilket kan bero på en lägre tillväxthastighet jämfört med scenarierna i patientrum och linneskåp. Eftersom köket ofta är bemannat och ligger på en överskådlig plats antas branden upptäckas tidigare än vid detektoraktivering vilket innebär att denna ökning inte påverkar den totala utrymningstiden negativt. Vid branden i linneskåpet sker en ökning med enbart 26 sekunder, se tabell 10.1, dock ska scenariots placering tas i akt. Placeringen stänger utrymningsvägar till annan avdelning så en försämring i varseblivningstiden kan ha stor konsekvens. Dock är sannolikheten stor att branden upptäcks tidigare än 36 sekunder eftersom linneskåpet är placerat i korridoren och är väl synligt. Detta innebär att den totala utrymningstiden troligtvis inte påverkas i någon större utsträckning. Troligen är det i scenariot i patientrummet som den totala utrymningstiden försämras i störst utsträckning, se tabell 10.1.

10.2 CFAST

De approximationer och antaganden som görs för indata i CFAST innebär en del osäkerheter i resultatet. Dock har indata för geometri, branden samt sprinkleraktivering kunnat anges och väljas på ett relevant sätt. Det som användaren inte kunnat påverka i tillräckligt hög grad är material och ytskikt i väggar eftersom det endast går att definiera ett material per vägg och rum. Det är också intressant att titta extra på detta eftersom material i tak och väggar dels

brinner olika bra men också leder värme olika bra. Detta påverkar brandgaslagrets temperatur och därmed också strålningen från det. Ett material som isolerar bättre skulle kunna innebära en snabbare temperaturökning i brandgaslagret och därmed påverka sprinkleraktiveringen positivt. Det skulle också kunna innebära en ökad effektutveckling hos branden och därmed snabbare produktion av brandgaser vilket medför att tiden till kritisk nivå förkortas. Därför görs ytterligare en simulering där väggmaterialet ändras för att se hur mycket en sådan förändring påverkar resultatet. Istället för gipsskivor i väggarna väljs mineralullsisolering. Simuleringen visar en temperaturökning på maximalt 10 °C i brandgaslagret och maximalt 4 °C i det undre lagret. Brandgaslagrets höjd över golvet blir något större, cirka 0,5 meter som mest. Därefter sjunker lagret något och avvikelser blir minimala. Skillnaden anses som försumbar och slutsatsen dras att vilket material väggarna består av inte är av större betydelse för simuleringen.

10.3 Siktberäkningar

Beräkningen av siktnedsättning i bilaga D utgår från ett antagande om att brandgaserna fördelas jämnt i aktuell volym. I verkligheten fördelas gaserna ojämnt i rummet med högst koncentration vid taket. Gränsvärdet för kritiskt tillstånd är fem meter sikt vid två meters höjd. Resultat från handberäkningar ska tas som en uppskattning då det finns möjlighet att sikten försämras fortare högre upp i rummet. Sämre sikt i övre delen av rummet innebär försämrade personsäkerhet. Brandens bränsleyta och därmed massflödet antas öka kvadratisk under brandens tillväxtfas. Approximationen görs med stöd i att en brands tillväxt kan liknas vid ett förlopp som är beroende av tiden i kvadrat. Massflödet i förbränningszonen styr i hög grad hur fort sikten försämras och ovanstående approximation antas spegla tillväxten av massflödet väl.

10.4 Utrymningstider

Här presenteras känslighetsanalyser för de olika faserna som påverkar den totala utrymningstiden.

10.4.1 Varseblivningstid

Avdelning 6 är en relativt liten avdelning vilket gör att varseblivningstiden innehåller få osäkerheter. Det är mycket folk på en liten yta vilket gör att en brand troligtvis upptäcks i ett tidigt skede. Simuleringar visar också att detektion sker snabbt för de olika scenarierna och varseblivningen utgår från den teoretiska detektionstiden som ett troligt fall. Denna tid baseras på simuleringar genomförda i DETACT QS vilket innebär att osäkerheterna ligger i programmet, detta beskrivs i avsnitt 12. För respektive scenario diskuterades bästa, troliga och värsta fallet för varseblivningstiden, se avsnitt 6.3.1, 7.3.1 och 8.3.1. För scenariot i köket skiljer det cirka tre minuter mellan den bästa och värsta tiden. Tre minuter spelar relativt stor roll för det totala utrymningsförloppet. Den värsta tiden antas inträffa om det automatiska brandlarmet inte fungerar men risken för att det händer är liten. För scenariot i patientrummet skiljer det 1,5 minuter mellan bästa och sämsta tiden och för linneskåpet varierar det med 20 sekunder. Även i dessa scenarier antas den sämsta tiden inträffa om det automatiska brandlarmet inte fungerar.

10.4.2 Förberedelsetid

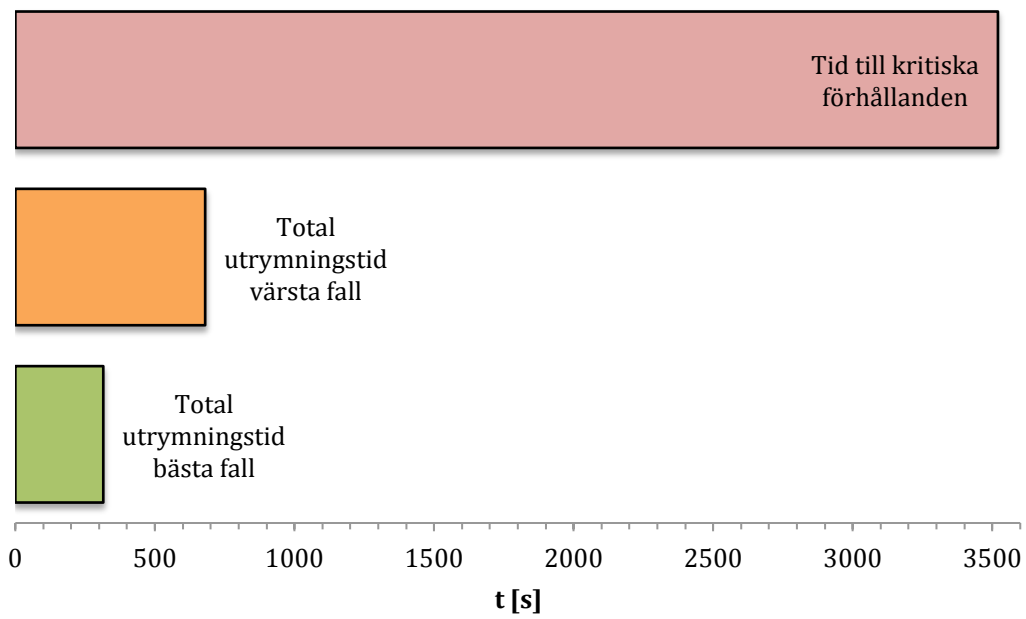
Förberedelsetiden står för stor del av den totala utrymningstiden vilket innebär att osäkerheter i denna fas påverkar relativt mycket. I rapporten utgår förberedelsetiden från litteratur och diskussioner vilket medför osäkerheter. Enda möjligheten att eliminera osäkerheter i denna fas att genomföra försök vid objektet för att få en mer korrekt förberedelsetid. Försök av denna karaktär är resurskrävande och inte möjliga i denna rapport. Tider för bästa och värsta fallet för förberedelsetiden diskuteras i avsnitt 6.3.2. Det antas skilja tre minuter för alla scenarier.

10.4.3 Förflyttning

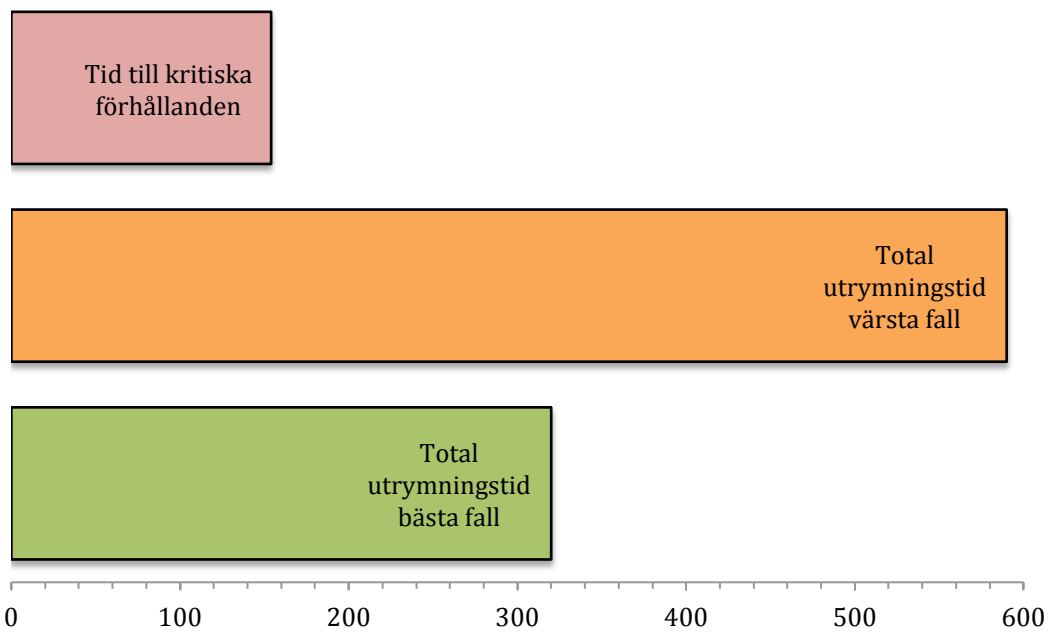
Förflyttningstiden är svår att uppskatta och därför genomförs simuleringar i ERM som antas representera denna fas. Det innebär att osäkerheterna ligger i programmet ERM. Därför genomförs ytterligare simuleringar för att kontrollera hur variation av indata i ERM påverkar utdata. Eftersom det finns flera val för typ av patient kontrolleras inverkan av dessa. Den slutgiltiga tiden varierar inte speciellt mycket vid olika fördelning av patienttyper, då rimliga typer angavs. Dock pekade simuleringarna på att om patienter kan gå själva kan detta ta längre tid än om de behöver hjälp av vårdare. Detta kan bero på att programmet inte tar hänsyn till köbildning och vägen till utrymningsvägs kapacitet. Detta gör att det tekniskt sett kan gå snabbare att köra patienter än att de ska gå själva. Eftersom placeringen som används i simuleringarna antas representera fördelningen på avdelningen väl görs ingen undersökning av denna påverkan. Det styrks också av att ERM inte tar hänsyn till köbildning vilket gör att placeringen av patienter inte spelar någon roll. Antalet vårdare påverkar förflyttningstiden, färre vårdare innebär längre tid.

10.4.4 Total utrymningstid

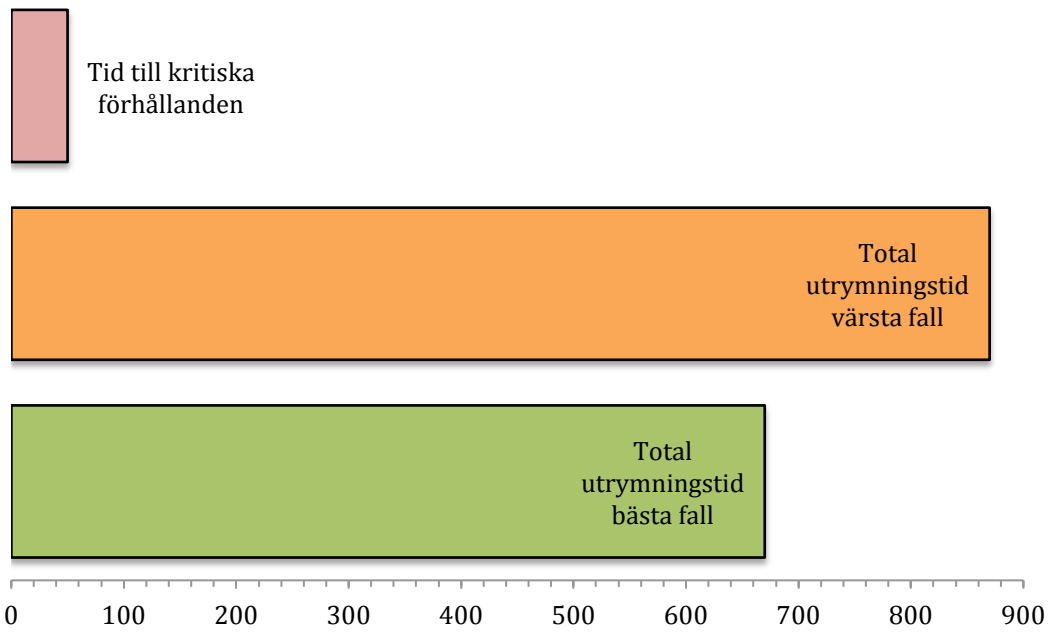
Figur 10.1-10.3 visar en överblick över respektive scenario där tider för utrymningsförloppet och tider till kritiska förhållanden visas. Störst skillnad mellan bästa och värsta fallet för det totala utrymningsförloppet inträffar för scenariot i köket. För detta scenario inträffar kritiska förhållanden först efter värsta fallet, se figur 10.1.



Figur 10.1. Jämförelse mellan tider, kök.



Figur 10.2. Jämförelse mellan tider, patientrum.



Figur 10.3. Jämförelse mellan tider, linneskåp.

11 Åtgärder

Här presenteras olika åtgärdsförslag som ska eller bör genomföras på Jakobsbergs sjukhus.

Dessa är de åtgärder som ska eller bör genomföras:

Ska genomföras

- Brandutbildning för nyanställd personal.
- Ändra konstruktionen på brandcellsgränsen mellan avdelning 6 och 7.
- Kontrollera om en analys över ventilationssystemet är gjord.
- Ta bort stolarna som står i trapphus.
- Skilda larm för brand på avdelning och brand på annan avdelning.
- Strategi - hjälp från andra avdelningar vid utrymning.
- Dörrstängare.

Bör genomföras

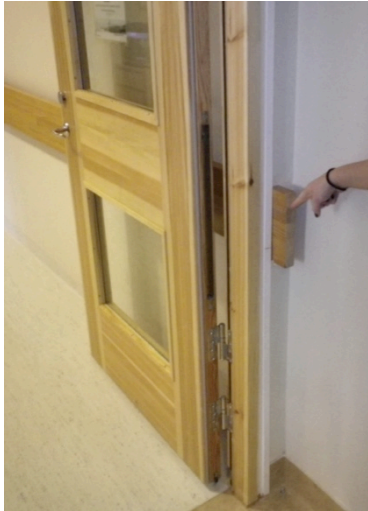
- Brandutbildning oftare.
- Installera spisvakt.

11.1 Utbildning

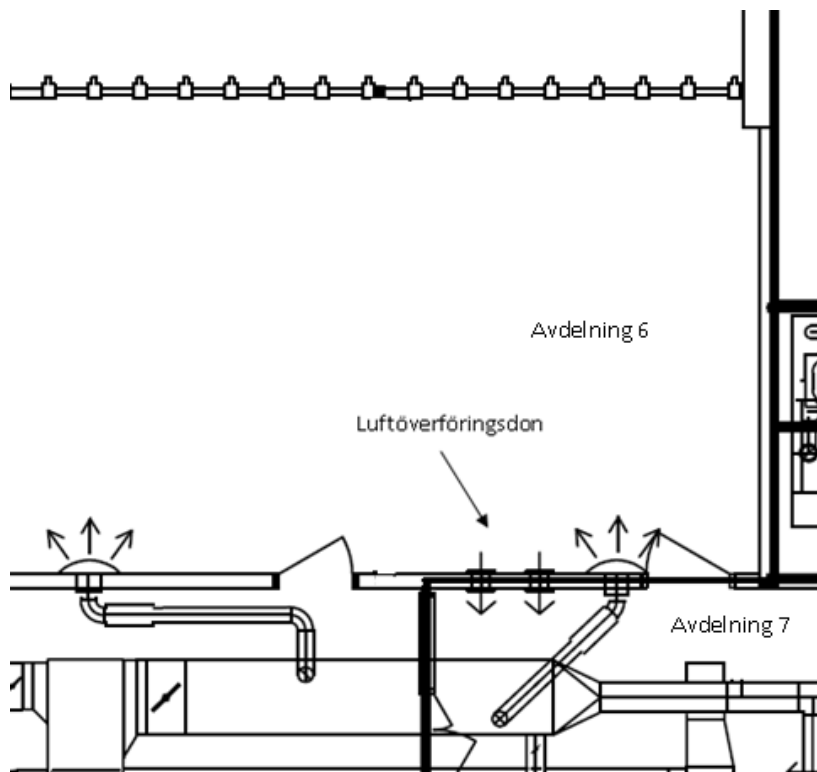
Enligt lagen om skydd mot olyckor ska organisationer genomföra systematiskt brandskyddsarbete (SFS 2003:778). De ska underhålla tekniska system och utrustning för släckning av brand och livräddning. De ska även vidta andra åtgärder som kan förebygga brand och dess skador, exempel på detta kan vara utbildning av personal. Det systematiska brandskyddsarbetet för de tekniska systemen och byggnaden sköts bra men utbildning av personal måste förbättras. Det fanns personal som jobbat upp till fem år, 8 av 20 svarande, som aldrig genomgått en brandutbildning. Det är inte tillräckligt ur ett säkerhetsperspektiv. Sjukhusets strategi innebär att personal i första hand ska släcka eller begränsa en brand och om det ska fungera optimalt är utbildning viktigt. Att de som varit anställda en lång tid gav ett positivt svar på de flesta frågorna tyder på att det genomförs bra utbildningar men med för stort tidsspänn mellan dessa. Åtgärdsförslaget är att de bör genomföra brandutbildningar oftare och ska införa en introduktionsutbildning vid nyanställning. Bra utbildning ökar chansen till snabb insats mot branden och kortare utrymningstid.

11.2 Brandcellsgräns mellan avdelning 6 och 7

Branddörren mellan avdelning 6 och 7 ska ses över och Jakobsbergs sjukhus ska genomföra de ändringar som krävs för att skapa en säker och godkänd brandcellsgräns. Räcknet som går igenom väggen, se figur 11.1, måste tas bort för att skapa en säker konstruktion. Fönstret i väggen måste bytas ut mot ett brandklassat fönster. Det måste även kontrolleras om luftöverföringsdonen som finns med på ritningen, se figur 11.2, är borttagna. Om dessa finns kvar kommer rökspridning till avdelning 7 ske snabbt vid ett brandtillbud. Dessa tre punkter ska åtgärdas för att säkerställa säkerheten vid ett brandtillbud då risk för brand- och brandgasspridning mellan avdelningar ska minimeras.



Figur 11.1 Räckets som går genom brandcellsgränsen.



Figur 11.2 Luftöverföringsdon mellan avdelning 6 och 7.

11.3 Ventilation

En kvalitativ riskbedömning genomförs av ventilationssystemet och det konstateras att det råder en spridningsrisk av brandgaser mellan brandceller. Detta eftersom samma tilluftsaggregat förser alla avdelningar på plan 4 och 5 med luft. I nuläget är det endast fläktar i drift som motverkar en spridning av brandgaser mellan brandceller, andra skydd såsom brandgasspjäll och backströmningsskydd saknas på de ritningar som finns att tillgå. För att säkerställa att fläktar i drift är ett tillräckligt skydd mot brandgasspridning måste kontroll av ventilationssystemets funktion vid brand genomföras. Om denna analys inte är gjord bör den göras då spridning av brandgaser mellan brandceller innebär stora konsekvenser vid utrymning eftersom sjukhusets

utrymningsstrategi fallerar. I rapporten kan denna analys inte genomföras då det saknas kompetens, underlag och tid.

11.4 Stolar i trapphus

Idag står det stolar i trappan som används för personer som behöver vila när de använder trappan, se figur 11.3. Eftersom trapphuset är en utrymningsväg får stolarna inte stå här. Ett alternativ är använda väggmonterade stolar som fälls upp när de inte används.



Figur 11.3 Stolar som står i utrymningsvägen.

11.5 Automatiskt brandlarm

Det automatiska brandlarmet kontrolleras idag regelbundet vilket är bra. Dock är ett åtgärdsförslag att det bör bytas ut så det är olika larm för brand på egen avdelning och brand på annan avdelning. Det skulle underlätta för personalen och förkorta förberedelsestiden då de vet direkt om de ska förbereda sig för att ta emot patienter eller om de ska utrymma avdelningen. Det kan vara olika typ av signal kombinerat med olika färg på ljussignalen.

11.6 Hjälp från andra avdelningar

För att förkorta utrymningstiden ska Jakobsbergs sjukhus införa en strategi där personal från övriga avdelningar hjälper till vid utrymning. Under natten är detta ett krav eftersom utrymningstiden blir lång när bara två vårdare arbetar. Det skiljer ungefär 13 minuter om sex vårdare genomför en utrymning jämfört med två. Även dagtid är det bra om strategin appliceras för att skapa en större marginal till tiden till kritiska förhållanden. För att personal på övriga avdelningar direkt ska veta att de ska hjälpa till ska åtgärdsförslaget med skilda larm verkställas. Även displayer där det visas vilken avdelning som är drabbad kan installeras på avdelningarna för att tydliggöra var hjälp behövs.

11.7 Brandcellsgräns E30

För att förhindra brandgasspridning till korridoren bör E30 gränsen mot patientrummen kompletteras med E30 dörrar med magnetupphängning alternativt dörrstängare. Vid aktivering av någon detektor ska dörrarna stängas och förhindrar då en spridning av brandgaser.

Om magnetupphängda dörrar väljs ska regelbunden kontroll av dessa införas i SBA. Detta för att säkerställa funktionen att magneten släpper när en detektor aktiverar alternativt vid användandet av dörrstängningsknappen. Ett annat

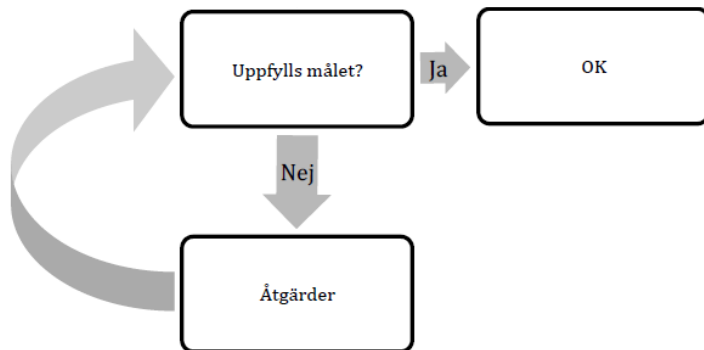
alternativ är dörrar med dörrstängare, dessa kan vara tunga att öppna och eftersom de flesta patienterna är äldre kan det vara negativt. Det finns dock freeswing dörrstängare som innebär att dörren kan öppnas utan motstånd i normalt läge. När en detektor aktiverar eller strömmen bryts stängs dörren.

11.8 Spisvakt

För att undvika att plattorna på spisen glöms på bör spisvakt installeras. Eftersom glömd spis är en vanlig orsak till brand och spisvakt är en enkel åtgärd rekommenderas detta för Jakobsbergs sjukhus.

12 Validering av åtgärder

I detta kapitel undersöks de åtgärdsförslag som föreslås utifrån de brandscenarier som utreds. Det är det sista steget i flödesschemat och proceduren upprepas tills personsäkerheten uppfylls, se figur 12.1. Brand i patientrum och linneskåp kräver åtgärder för att säkerställa personsäkerheten vilka diskuteras i detta avsnitt. Branden i köket uppfyller personsäkerheten givet att sprinkler aktiverar.



Figur 12.1. Sista proceduren i flödesschemat.

12.1 Brand i patientrum

Eftersom sikten är för dålig efter 154 sekunder jämförs denna tid med utrymningstiden vilken är 490 sekunder. Detta medför att personsäkerheten inte uppfylls utan åtgärder.

Om skilda larm för brand på avdelning och brand på annan avdelning installeras kommer förberedelsetiden för scenariot i patientrummet förkortas. Ett antagande görs att en brand på en dold plats förlänger förberedelsetiden med cirka 30 sekunder. Detta eftersom ett brandtillbud måste konstateras innan förflyttning av patienter kan påbörjas. Om detta åtgärdsförslag görs kommer den totala utrymningstiden minskas till 460 sekunder vilket fortfarande inte är tillräckligt och fler åtgärder måste genomföras.

Eftersom det är sikten som är den kritiska parametern för scenariot i patientrummet inriktas vidare åtgärder för att förhindra dålig sikt i korridoren som är väg till utrymningsväg. Enligt simuleringar strömmar rök ut i korridoren efter 120 sekunder vilket gör att något måste göras mellan 120 sekunder och 154 sekunder efter brandens start. En åtgärd som skulle förhindra rökspridningen är att säkerställa att dörren till brandrummet är stängd innan kritiska förhållanden inträffar. Utbildningar antas göra att personalen får bra kunskap vilket leder till snabbare insatser. Om personalen som upptäcker branden känner sig väl förberedd kan de direkt påbörja utrymning av patienterna från brandrummet. Kan inte en släckinsats genomföras måste personalen veta vikten av att se till att dörren är stängd. Om detta genomförs inom 154 sekunder innebär det att en säker utrymning uppfylls för resterande patienter på avdelningen.

12.2 Brand i linneskåp

Eftersom scenariot i linneskåpet utvecklas snabbt och placeringen är sådan att utrymningssvägar till annan avdelning stängs innebär det att ett brandtillbud här

måste släckas. Detta eftersom utrymning via trapphuset inte är möjlig då flertalet patienter behöver assistans. För att en brand ska släckas i ett så tidigt skede som möjligt behöver personalen en bra utbildning så alla direkt kan påbörja en släckning. Som enkätundersökningen visade var det flertalet av de som varit anställda under fem år som saknade utbildning. Det gör att det för tillfälligt är beroende av vilken personalstyrka som arbetar om släckning i ett tidigt skede ska säkerställas. För att detta ska undvikas behöver utbildningen för de nyanställda förbättras avsevärt. Om det antas att de som besitter kunskaper känner sig väl förberedda och då kan genomföra en släckinsats på egen hand i ett tidigt skede kan personsäkerheten fastställas om alla får utbildning. Eftersom sprinkler aktiverar efter 64 sekunder kan en snabb insats förhindra en aktivering och då begränsa skadorna. Även om sprinkler hinner aktivera kan en släckinsats vara nödvändig för att säkerställa att branden släcks helt.

12.3 Brand på natten

Eftersom utrymningstiderna blir långa under natten krävs en snabb åtgärd för att förhindra brandgasspridning. Dörrar till patientrummen som stänger när en detektor aktiverar är en nödvändig åtgärd. Personalens utbildning är väldigt viktig och eftersom de enbart är två vårdare krävs att båda vet hur de ska agera vid ett brandtillbud. För att förkorta utrymningstiderna till en acceptabel nivå krävs hjälp från personal från övriga avdelningar. Skilda larm skulle informera personalen att deras avdelning inte är drabbad och de kan då snabbt hjälpa till. Vid en brand i patientrummet under natten krävs det dörrstängare, bra utbildad personal samt att de får hjälp från övrig personal på våningsplanet om personsäkerheten ska uppfyllas.

13 Osäkerheter

I rapporten introduceras osäkerheter i olika skepnader, generellt kan sägas att de härrör från antaganden, använda modeller och indata. Kunskapsluckor och andra omedvetna svagheter genererar osäkerheter som är svåra att komma åt via egenkontroll i gruppen. Resultat från beräkningar innehåller osäkerheter kopplade till modellens exakthet men också indata som valts. Verifiering av datormodeller genomförs via handberäkningar för att kontrollera resultatens validitet. En lyckad verifiering innebär dock inga garantier eftersom indata präglas av naturlig variation och kunskapsosäkerheter. I detta avsnitt diskuteras de osäkerheter som anses förekomma i samband med beräkningar och simuleringar.

Statistiken som används för att bedöma brandscenarier är inte direkt kopplad till Jakobsbergs sjukhus men anses vara tillämplig då den redovisar incidenter vid sjukhus. För att kunna beräkna och simulera konsekvenserna från de olika brandscenierna representeras bränderna med effektkurvor. Effektkurvorna som används i de olika scenarierna approximeras med tidigare genomförda experiment vilket innebär osäkerheter då dessa inte helt överensstämmer med verkligheten. Den möjligheten som finns för att undvika dessa osäkerheter är att genomföra experiment som är en exakt kopia av verkligheten vilket inte är genomförbart i denna rapport. Ett exempel är att garderoben som valts att representera brandscenarioet i linneskåpet innehåller mindre material jämfört med verkligheten. Mer brännbart material innebär möjlighet till större effektutveckling vilket påverkar scenarioet negativt. Dock bör det också bidra till tidigare sprinkleraktivering.

För att kunna beräkna och analysera huruvida de olika brandscenierna kommer till att utgöra fara för personsäkerheten på Jakobsbergs sjukhus används olika datorprogram till hjälp. Varje datorprogram som används innebär en förenkling av verkligheten och medför därmed osäkerheter i resultatet.

Aktiveringstiderna för både sprinklersystemet och rökdetektorerna bestäms med hjälp av programmet DETACT QS. Programmet ger bäst resultat när höga RTI används därför innebär det en del osäkerheter vid beräkning av varseblivningstiden. Detta eftersom detektorn inte reagerar på värme utan på rök och ett mycket lågt RTI-värde används i rapporten. En ytterligare osäkerhet är att DETACT QS bygger på ett kvasistationärt antagande, det vill säga ett förlopp som till en viss del inte är beroende av tiden (Martinez de Aragón, Rey, & Chica, 2003). För att beräkna aktiveringstiden i rapporten används effektkurvor, från de olika brandscenierna, som baseras på en α^2 -kurva, det vill säga ett förlopp som är beroende av tiden i kvadrat. Dessutom sker aktiveringen av detektor respektive sprinklerbulb i tillväxtstadiet då branden är som mest tidsberoende. Att approximera ett transient förlopp med ett kvasistationärt medför en del fel och det är viktigt att vara medveten om dessa. Tiderna från DETACT QS ger endast ett ungefärligt resultat gällande aktiveringstiderna för rökdetektorer och sprinklersystem.

En stor del av rapporten baseras på simuleringar från programmet CFAST vilket som tidigare nämnts innebär förenklingar. I verkligheten delas inte rummet in i

två kontrollvolymmer, det varmare övre och det kallare undre lagret. Bland annat uppstår osäkerheter vid bestämmandet av tid till kritiska förhållanden av temperaturen i rummet. I vissa fall är temperaturen i brandgaslagret över 100 °C medan det i det undre lagret endast är 20 °C, har brandgaslagret inte sjunkit till kritisk höjd anses utrymningsförloppet i rapporten tillfredsställande. I själva verket bildas det ingen skarp gräns mellan varma brandgaser och kall luft. Fördelningen av brandgaser påverkar också siktförhållanden, sikten försämras gradvis högre upp i rummet. Kritiska förhållanden uppstår möjligtvis vid annan tidpunkt under ett utrymningsförlopp som äger rum i verkligheten.

De tider som fås vid utrymningssimuleringarna blir osäkra dels för att ERM inte tar hänsyn till vägen till utrymningsvägs bredd och dels för att det inte tas någon hänsyn till eventuella köbildningar. Vid scenariot i linneskåpet måste simuleringstiden dessutom ändras och antas vilket är ytterligare en stor osäkerhet.

14 Diskussion

Jakobsbergs sjukhus har förutsättningar för ett bra brandskydd. Locum genomför SBA och andra kontroller kontinuerligt. De kontrollerar att de olika aktörerna genomför SBA genom möten varje månad. Ett bra brandskydd är viktigt då det finns många patienter med försämrad rörelseförmåga vilket medför att en utrymningssituation kan ta lång tid. Ytterligare en anledning till ett bra brandskydd är att utrymning via trapphus är i princip omöjlig då många av patienterna är sängliggande och utrymning sker oftast till annan brandcell på samma plan.

14.1 Aktiva system

Här diskuteras de aktiva system Jakobsbergs sjukhus har eller rekommenderas installera.

Brandskyddet förbättras avsevärt då det finns ett sprinklersystem installerat och i samtliga brandscenarier har detta en avgörande roll för hur brandens effektutveckling begränsas. Vikten av att sprinklersystemet fungerar är väldigt stor, skulle systemet falla i de brandscenarier som valts skulle utrymningsförloppet behöva förkortas orimligt mycket. Locum genomför idag kontroll av pumparna varje vecka vilket är bra då sprinklersystemet måste fungera. Sprinklerbulberna som idag finns installerade ska reagera snabbt, vilket är viktigt för att begränsa en brand i tidigt skede.

Larmsystemet är idag adresserbart och på plan 1 finns en dator där varje detektor kan spåras. Detta underlättar för räddningstjänsten eftersom de kan få besked om vilken detektor som aktiverat direkt vid ankomst. Idag är det samma larm som ljuder på hela våningen vid aktivering och ett åtgärdsförslag i rapporten är att installera skilda larm. Vid skilda larm, ett för brand på egen avdelning och ett för brand på annan avdelning, antas förberedsetiden förkortas. Detta på grund av att personalen vid larm direkt kan reagera på rätt sätt. Det vill säga antingen genom att släcka och påbörja en förflyttning av patienter eller genomföra förberedelser för att ta emot patienter från den drabbade avdelningen.

Dörrstängare finns idag på dörrarna mellan de olika brandcellerna vilket är ett krav för att hindra brandgasspridning mellan brandceller. Vid ett brandtillbud i ett patientrum skulle dörrar med dörrstängare mot patientrummen förhindra brandgasspridning till korridoren. Det är av stor vikt att förhindra brandgasspridning för att kunna genomföra en säker utrymning och undvika kritiska förhållanden i korridoren. Vid en brand i ett patientrum under natten krävs dörrar med dörrstängare för att säkerställa personsäkerheten. Eftersom patienterna är äldre kan de ha svårt att öppna en dörr med dörrstängare och detta bör tas i beaktning vid en installation. Det finns så kallade freeswing dörrstängare som medför att dörren går lätt att öppna när spänning till detektor finns. Magnetupphängda dörrar kan även vara en lösning men då måste regelbunden kontroll av dessa införas i SBA. Detta för att undvika att magneterna inte släpper vid en detektoraktivering.

14.2 Passiva system och övrigt brandskydd

Här diskuteras passiva system Jakobsbergs sjukhus har samt övrigt brandskydd.

Brandcellsgränsen mellan avdelning 6 och 7 måste ses över då fel upptäckts vid platsbesöket och på ritningar. Framförallt måste konstruktionen ses över då ett räcke går genom väggen och det finns även ett fönster i väggen som inte är brandklassat. Det måste också kontrolleras om luftöverföringsdonen som finns på ritningarna har tagits bort. Klarar inte brandcellsgränsen att hindra brand- och brandgasspridning kan det leda till förödande konsekvenser, framförallt om två avdelningar samtidigt måste utrymmas till en tredje avdelning. Detta tar lång tid och platsen på den tredje avdelningen räcker kanske inte till. Det kan också orsaka problem då utrymning sker till avdelningen som först antas vara säker men som sedan visar sig inte vara det.

Enligt lag är det inte tillåtet att låsa in någon som inte är frihetsberövad, detta innebär att kodlåset vid dörren till trapphuset måste vara konstruerat så att den enskilde själv kan låsa upp. Generellt kan det inte anges om särskilda former av lås, till exempel kodlås eller tvåhandsfattning, är tillåtna eller förbjudna utan det som avgör är om den enskilde själv kan öppna dörren, eller utan dröjsmål få hjälp med att öppna dörren, som är avgörande. Den ansvarige för verksamheten måste ta ställning till vilken form av lås det ska finnas i lokalerna. Viktigt är att ha kontakt med räddningstjänsten för att veta säkert att den lösning som väljs fungerar även vid utrymningssituationer (Socialstyrelsen, 2012).

I rapporten antas att den funktion som vid aktiverat larm försätter dörrarna i olåst läge fungerar. Det går dock inte att bortse från en felfunktion i ett tekniskt system vilket skulle innebära att koden fortfarande måste knappas in. Den tidsfördröjning detta skulle innebära anses marginell. Att slå in en kod, som personalen dessutom är vana att använda, bedöms högst ta några sekunder extra. Det som måste lyftas fram är vad som händer i ett svårare utrymningsfall med exempelvis mycket brandgaser och dåliga siktförhållanden samt där situationen är väldigt stressad. Då är kodlås ingen bra lösning eftersom tidsfördröjningen riskerar att bli betydligt längre om dörrarna inte försätts i olåst läge vilket påverkar förflyttningstiden negativt.

Det har tidigare i rapporten pekats på hur viktig utbildningen för personalen är. Speciellt då sjukhuset har som utrymningsstrategi att personalen först ska försöka släcka branden och sedan utrymma patienter till annan avdelning. För att en släckinsats ska lyckas måste personen ha en bra utbildning för att kunna agera snabbt och rätt. Ett åtgärdsförslag är att genomföra utbildningar oftare då det förhoppningsvis bidrar till säkrare personal vid ett brandtillbud. Det viktigaste åtgärdsförslaget som ska genomföras är att införa utbildning vid nyanställning. I nuläget verkar detta inte finnas då i stort sett alla som arbetat en kortare tid svarade att de inte fått någon typ av utbildning. En utrymning och eventuell släckinsats får inte påverkas negativt beroende på vilken personalstyrka som arbetar, således måste förändringar göras. Att de som arbetat en längre tid känner sig väl förberedda är bra eftersom personer har en tendens att följa och lyssna till personer med ledarroll vid ett brandtillbud. De som fått en utbildning svarade att de känner sig väl förberedda, det tyder på att

utbildning är viktigt. Det är sjukhusets strategi att personalen på avdelningen ska kunna handla snabbt, rätt och effektivt under en brand. Det är väldigt viktigt att personalen känner sig trygga i sina handlingar. Branden i linneskåpet medför en blockering av utrymningsvägar och pekar på hur viktigt det är att personalen kan och vet hur de ska kunna genomföra en släckinsats i tid.

En brand på natten medför stora konsekvenser för utrymningen av en brandutsatt avdelning. Detta eftersom personalstyrkan har minskats från 15 personer dagtid till endast två personer nattetid per avdelning. Att de som arbetar under natten har en bra utbildning är väldigt viktigt. När de enbart är två kan de inte förlita sig på att någon annan agerar vid en eventuell brand. Under natten skulle de skilda larmen vara positivt ur ett utrymningsperspektiv. Detta eftersom personal från övriga avdelningar behöver hjälpa till för att förkorta utrymningstiden. Personalen på övriga avdelningar hade då blivit informerade om att deras avdelning inte är utsatt och de kan snabbt hjälpa till.

Eftersom Jakobsbergs sjukhus har en utrymningsstrategi som innebär att utrymning ska ske till närmsta säkra brandcell på samma plan är det viktigt att brandgaser inte sprider sig över brandcellsgränserna. Då tillräckligt omfattande underlag och kunskap om ventilationssystemet och brandgasspridning via detta saknas, har det inte analyserats vidare i rapporten. Det som konstaterats är att samma tilluftsaggregat, TA7 och TA12, förser de olika avdelningarna på plan 4 och 5, det vill säga flera olika brandceller, med luft. Detta innebär att det föreligger en risk för brandgasspridning mellan dessa, med speciellt stor risk då brand startar nära ett tilluftsdon. Brandgasspridning innebär stora konsekvenser för utrymning.

Locum har planer på att förändra sitt SBA för att underlätta och undvika misskötsel. De funderar över att göra arbetet digitalt för att undvika pappersarbete. Eftersom SBA är viktigt för att säkerställa brandskyddet är det positivt att underlätta arbetet i så stor utsträckning som möjligt. Det är särskilt viktigt att arbetet sköts eftersom det finns flera aktörer i huset och de bör hålla samma nivå.

15 Slutsats

Här presenteras slutsatserna i en punktlista.

- Jakobsbergs sjukhus har ett bra sprinklersystem som inte behöver förändras. De gör även tillräckligt för att säkerställa funktionen.
- De har ett bra detektionssystem men ska genomföra en förändring för att få olika signaler vid detektion.
- Det ska installeras dörrar med dörrstängare mot patientrummen.
- På grund av ritningarna och felen som upptäckts vid platsbesöket måste Jakobsbergs sjukhus kontrollera och åtgärda felen som finns i brandcellsindelningen.
- Utbildning för nyanställd personal måste införas för att säkerställa personsäkerheten på avdelningen.
- Utbildning för personal som arbetar natt är speciellt viktigt.
- Det måste kontrolleras om en analys av ventilationen är genomförd, är denna inte gjord rekommenderas det starkt att den genomförs.
- Utrymningsvägar bör vara fria från hinder så framkomligheten under en utrymning är tillfredsställande varför stolarna i trapphuset ska tas bort.
- Fortsätt med ett bra och regelbundet SBA.

16 Referenser

- Alvord, D. M. (1985). *Status Report on the Escape and Rescue Model and the Fire Emergency Evacuation Simulation for Multifamily Buildings*. Gaithersburg: U.S. Department of Commerce.
- Andersson, O. (2011). *Brandfara i bärbara datorer*. Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola. Lund: Lunds universitet.
- Beard, A., & Goebelbecker, S. (den 1 12 2007). *Fire Behaviour of Household Appliances towards External Ignition*. Hämtat från flameretardants-online.com: http://www.flameretardants-online.com/images/userdata/pdf/230_EN.pdf den 7 3 2012
- BFS 2011:27. *BBRAD 1*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.
- Brandkåren Attunda. (2011). *Insatsrapport*. Jakobsberg: Brandkåren Attunda.
- Brandteknik och riskhantering. (den 31 08 2011). *Lunds Tekniska Högskola*. Hämtat från Kursplaner 2011/2012 VBR054: http://www.ka.lth.se/kursplaner/11_12/VBR054.html den 11 02 2012
- Carlens, K. (2006). *Analys av brandskyddets egenskaper*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola. Lund: Lunds Universitet.
- Drysdale, D. (1998). *An Introduction to Fire Dynamics* (2nd uppl.). Chichester, NY: Wiley.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Lund: Lunds Universitet.
- Hall, J. R. (2004). *FIRE IN THE U.S. AND SWEDEN*. Quincy: NFPA.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Lavastica International B.V. (2012). *Salwico OA-130 combined optical smoke/heat detector*. Bergschenhoek: Lavastica International B.V.
- NFPA. (2006). *SELECTIONS FROM U.S. FIRES IN SELECTED OCCUPANCIES HEALTH CARE FACILITIES, EXCLUDING NURSING HOMES*. Quincy: NFPA.
- NIST. (2009). *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide*. Gaithersburg: NIST.
- NIST. (den 23 11 2011). *Dresser fire time-line*. Hämtat från Fire on the Web: <http://fire.nist.gov/fire/fires/dress2/dress2.html> den 7 3 2012

Martinez de Aragón, J. J., Rey, F., & Chica, J. A. (2003). *DIFISEK-programvara för branddimensionering*. Bilbao: LABEIN Teknologiskt centrum.

MSB. (den 19 02 2012). *IDA-portalen*. Hämtat från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap: <http://ida.msb.se/ida2#page=a0109> den 19 02 2012

SFS 2003:778. *Lagen om skydd mot olyckor*. Svensk författningssamling.

Socialstyrelsen. (den 16 5 2012). *Föreskrifter om tvångs- och skyddsåtgärder upphävda*. Hämtat från Socialstyrelsen: http://www.socialstyrelsen.se/fragorochsvar/foreskrifteromtvangs-ochskydds#anchor_0 den 16 5 2012

Svenska Brandskyddsföreningen. (2004). *Regler & Standard 2004*. Stockholm: SIS Förlag.

Säkerhetspartner. (den 16 03 2010). Brandskyddsplan, Jakobsbergs sjukhus, plan 5. Stockholm.

Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires*. Department of Fire Safety Engineering, Institute of Technology. Lund: Lund University.

Bilaga A - Strålning

Här presenteras strålningsberäkningar för de olika scenarierna.

Flamhöjd

När strålningsberäkningar genomförs räknas en flamhöjd ut med hjälp av Heskestads modell för beräkning av flamhöjd, beräkningsgång ekvation A.1-A.3.

$$A = \text{bredd} \cdot \text{längd} \quad \text{Ekvation A.1}$$

$$D_f = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \cdot 2 \quad \text{Ekvation A.2}$$

$$L_f = 0.235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02 \cdot D_f \quad \text{Ekvation A.3}$$

Synfaktor

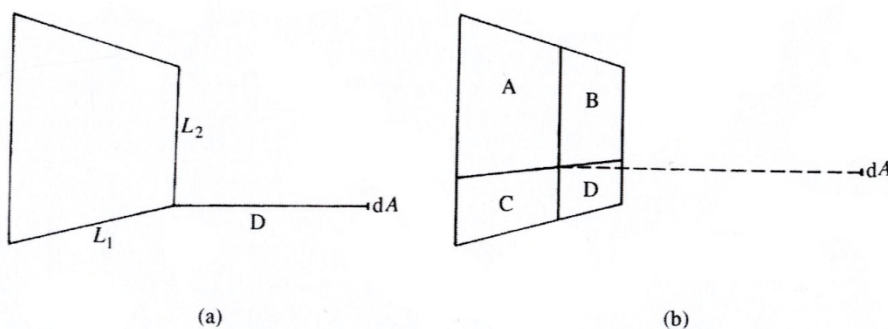
Strålningen per ytenhet som en flamma sänder ut mot ett föremål beräknas enligt ekvation A.7. Emissiviteten och flamtemperaturen antas i respektive beräkning. Flamhöjden som beräknas enligt Heskestads modell används för att beräkna variablerna α och S , se ekvation A.4-A.5 samt figur A.1. Dessa används sedan för att erhålla synfaktorn (Φ), enligt tabell A.1. Den totala synfaktorn beräknas sedan enligt ekvation A.6.

$$S = \frac{L_1}{L_2} \quad \text{Ekvation A.4}$$

$$\alpha_s = \frac{(L_1 \cdot L_2)}{D} \quad \text{Ekvation A.5}$$

$$\Phi_{tot} = 4 \cdot \Phi_{del} \quad \text{Ekvation A.6}$$

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \Phi_{tot} \cdot T^4 \quad \text{Ekvation A.7}$$



Figur A.1. Stöd till synfaktorberäkning (Drysdale, 1998).

Tabell A.1. Värden för α och S för beräkning av synfaktor (Drysdale, 1998).

Table 2.7 Values of $\phi(\alpha, S)$ for various values of α and S^*

α	$S = 1$	$S = 0.9$	$S = 0.8$	$S = 0.7$	$S = 0.6$	$S = 0.5$	$S = 0.4$	$S = 0.3$	$S = 0.2$	$S = 0.1$
2.0	0.178	0.178	0.177	0.175	0.172	0.167	0.161	0.149	0.132	0.102
1.0	0.139	0.138	0.137	0.136	0.133	0.129	0.123	0.113	0.099	0.075
0.9	0.132	0.132	0.131	0.130	0.127	0.123	0.117	0.108	0.094	0.071
0.8	0.125	0.125	0.124	0.122	0.120	0.116	0.111	0.102	0.089	0.067
0.7	0.117	0.116	0.116	0.115	0.112	0.109	0.104	0.096	0.083	0.063
0.6	0.107	0.107	0.106	0.105	0.103	0.100	0.096	0.088	0.077	0.058
0.5	0.097	0.096	0.096	0.095	0.093	0.090	0.086	0.080	0.070	0.053
0.4	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.079	0.075	0.070	0.062	0.048
0.3	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.065	0.063	0.059	0.052	0.040
0.2	0.051	0.051	0.050	0.050	0.049	0.048	0.047	0.045	0.040	0.032
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.026	0.024	0.021
0.09	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.022	0.019
0.08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.020	0.017
0.07	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.018	0.016
0.06	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	0.014
0.05	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013
0.04	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.010
0.03	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008
0.02	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
0.01	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

* $S = L_1/L_2$ and $\alpha = (L_1 \times L_2)/D^2$ (see Figure 2.21). From McGuire (1953). Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown copyright.

Brand i kök

För scenario med brand i kök genomförs strålningsberäkningar för att avgöra huruvida en brand i en brödkorg på spisen antänder köksskåpet ovanför. Flamman antas omfatta hela brödkorgen, eftersom korgen är placerad rakt under skåpen ses flamman som horisontell platta med brödkorgens mått. Beräkningsgången som beskrivs ovan ger en infallande strålning mot köksskåpet, 0,3 meter ovanför brödkorgen, på 38 kW/m². Strålningen är tillräcklig för att köksskåpet ska antända (Drysdale, 1998). Ingående värden för olika parametrar i infallande strålning i tabell A.2. Flamtemperaturen antas till 800 °C (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tabell A.2. Värden för strålningsberäkning.

Parameter	Ingående värde
L_1	0,075
L_2	0,075
D	0,3
Φ_{tot}	0,5
ϵ	1
σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
T	1073 K

Brand i patientrum

För brandscenario 3 genomförs strålningsberäkningar för att avgöra om en brand i en säng antänder närliggande inredning. Beräkningsgången som beskrivs ovan ger en infallande strålning mot den närmsta sängen på 15 kW/m². Strålningen är tillräcklig för att sängen ska antända (Drysdale, 1998). Ingående värden för olika parametrar för flammhöjdsberäkning ses i tabell A.3 och för infallande strålning tabell A.4. Det genomförs även beräkningar för sängarna som står på motsatt sida rummet, fyra meter bort, de visar att ingen spridning sker.

Tabell A.3. Värden för flammhöjdsberäkning.

Parameter	Ingående värde
Bredd	2 m
Längd	0,8 m
A	1,6 m ²
D_f	1,4
\dot{Q}	700 kW

Tabell A.4. Värden för strålningsberäkning.

Parameter	Ingående värde
L_1	0,9
L_2	1
D	2
Φ_{tot}	0,204
ε	1
σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
T	1073 K

Brand i linneskåp

En strålningsberäkning genomfördes för att kontrollera om spridning till medicinvagnen sker. Vid beräkningarna antogs flammans storlek vara samma som linneskåpets för att sedan följa beräkningarna för synfaktorn som finns beskriven ovan. Beräkningarna ger en infallande strålning på 50 kW/m² som är tillräcklig för att antända medicinvagnen, som antas bestå av trä (Drysdale, 1998). Ingående värden för strålningsberäkningar ses i tabell A.5. Flamtemperaturen antas till 800 °C (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tabell A.5. Värden för strålningsberäkning.

Parameter	Ingående värde
L_1	0,5
L_2	1
D	0,5
Φ_{tot}	0,668
ε	1
σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
T	1073 K

Bilaga B - DETACT QS

DETECTOR ACTuation-Quasi Steady (DETECT QS) är ett program som används för att beräkna aktiveringstider för både detektorer och sprinkler vid ett eventuellt brandtillbud. De indata programmet behöver är RTI-värde, avstånd från brand till tak, radiellt avstånd från brand till detektor samt en aktiveringstemperatur. DETACT QS används för att beräkna både detektionstiden samt tid till aktivering av sprinkler. Det är viktigt att vara medveten om dess begränsningar och DETACT QS bygger bland annat på följande antaganden och begränsningar:

- Innertaket är plant och horisontellt utan hinder som påverkar brandgasernas utbredning
- Ingen transporttid för de varma gaserna beaktas, från källan till taket.
- Endast konvektiv värmeutbredning
- Det tas ingen hänsyn till ledningsförluster och strålningsvärme.
- Underskattar temperaturer vid låga innertak och korta radiella avstånd
- Kvasistationär förenkling av ekvationer

Programmet bör dessutom inte användas i små rum om ett gaslager hinner byggas upp innan aktivering. En ytterligare osäkerhet är att programmet ger bättre resultat då höga RTI-värden väljs (Martinez de Aragón, Rey, & Chica, 2003).

Detektoraktivering

På Jakobsbergs sjukhus finns det multidetektorer installerade, det vill säga detektorer som både reagerar vid en viss mängd rök men också när temperaturen har höjts till 57 °C. DETACT QS behöver en aktiveringstemperatur för att kunna räkna ut aktiveringstiden. Samtliga bränder i de olika brandscenerierna är sotande bränder därför görs två försök för varje brand; ett där detektorn aktiverar vid en temperatur på 57 °C, vilket är ett konservativt värde på grund av de sotande bränderna, och ett försök där detektorn aktiverar vid en temperatur på 30 °C. Aktiveringstemperaturen på 30 °C baseras på att det är sotande bränder och det kommer troligtvis vara tillräckligt mycket rökpartiklar i taket för att aktivera. Enligt ett informationsblad om de detektorer som finns installerade på sjukhuset använder sig detektorn av infrarött ljus, vilket innebär en snabb reaktion (Lavastica International B.V, 2012). RTI för detektorn bestäms till 0,5 eftersom RTI inte skall påverka detektionen. Aktiveringstiderna för de olika brandscenerierna visas i tabell B.1. In- och utdatafil för brand i kök vid aktiveringstemperatur 30 °C visas i figur D.1.

Tabell B.1. Aktiveringstiderna för de olika bränderna i scenario 1,3 och 5.

Brandscenari	Aktiveringstemperatur 30°C	Aktiveringstemperatur 57°C
Kök, skåp	100 sekunder	440 sekunder
Kök, kyl	330 sekunder	500 sekunder
Patientrum	70 sekunder	180 sekunder
Korridor	10 sekunder	36 sekunder

```

CEILING HEIGHT= 1.12776 m    3.7 ft
RADIUS= 7.0104 m    23 ft
DET ACT TEMP= 30 C    86 F
RTI= .496881 (m*s)^(1/2)    .9 (ft*s)^(1/2)

TIME      FIRE    GAS TEMP    DET TEMP    GAS TEMP    DET TEMP
sec       kW      C           C           F           F
0.0      0.0     20.0       20.0       68.0       68.0
10.0     10.0    25.6       24.9       78.1       76.9
20.0     12.5    26.9       26.8       80.5       80.2
30.0     15.0    27.8       27.7       82.1       81.8
40.0     17.5    28.7       28.6       83.7       83.4
50.0     20.0    29.5       29.4       85.1       84.9
60.0     20.2    29.7       29.7       85.4       85.4
70.0     20.5    29.7       29.7       85.5       85.5
80.0     20.7    29.8       29.8       85.7       85.7
90.0     21.0    29.9       29.9       85.8       85.8
100.0    21.2    30.0       30.0       85.9       85.9

**** DETECTOR ACTUATION AT 105.6 SECONDS ****

```

Figur B.1. In- och utdatafilen för brand i kök, aktiveringstemperatur 30 °C.

Sprinkleraktivering

Beräkning för aktiveringstid av sprinklerbulb gjordes på liknande sätt. Sprinklerbulberna på Jakobsberg har en aktiveringstemperatur på 68 °C. På sjukhus brukar *quick response* bulber vara installerade i sprinklersystemet, det vill säga sprinklerbulber med ett RTI lägre än 50 (Svenska Brandskyddsföreningen, 2004). Aktiveringstiderna för en sprinklerbulb i de olika brandscenarierna visas i tabell B.2.

Tabell B.2. Aktiveringstiderna för en sprinklerbulb i de olika brandscenarierna

RTI-värde $m^{1/2}s^{1/2}$	Aktiveringstid [s]			
	Brandscenario 1		Brandscenario 3	Brandscenario 5
	Skåp/spis	Kylskåp	Patientrum	Linneskåp
50	74	600	220	64

I figur B.2 visas in- och utdatafilen för brand i kök, köksskåp och spis.

```

CEILING HEIGHT= 1.12776 m    3.7 ft
RADIUS= 1.43256 m    4.7 ft
DET ACT TEMP= 67.77778 C    154 F
RTI= 49.6881 (m*s)^(1/2)    90 (ft*s)^(1/2)

TIME      FIRE    GAS TEMP    DET TEMP    GAS TEMP    DET TEMP
sec       kW      C           C           F           F
0.0      0.0     20.0       20.0       68.0       68.0
10.0     70.0    79.4       24.5       175.0      76.1
20.0     73.3    85.6       33.5       186.0      92.3
30.0     76.7    87.6       41.5       189.6     106.7
40.0     80.0    89.5       48.7       193.1     119.6
50.0     83.3    91.4       55.1       196.6     131.1
60.0     86.7    93.3       60.8       200.0     141.5
70.0     90.0    95.2       66.0       203.4     150.8

**** DETECTOR ACTUATION AT 73.6 SECONDS ****

```

TYPE A CARRIAGE RETURN TO CONTINUE? _

Figur B.2. RTI 50

Bilaga C – CFAST

Här presenteras datorprogrammet CFAST och dess begränsningar samt indata.

Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model

CFAST är ett datorprogram som används för att simulera bränder och brandspridning, rökfyllnad samt temperaturförändringar relaterade till dessa (NIST, 2009). CFAST bygger på en tvåzonsmodell som innebär att rummet delas in i två kontrollvolym, det varmare övre och det kallare undre lagret. En kontrollvolym antas enligt denna modell ha likformiga förhållanden vid alla tidpunkter vilket innebär att hela volymen har samma temperatur, röktäthet, gaskoncentration och så vidare. I brandrummet läggs en kontrollvolym även till för brandplymen. Eftersom avdelningen har relativt enkel geometri antas CFAST vara tillräckligt som simuleringsprogram och väljs då framför programmet Fire Dynamics Simulator (FDS). Simuleringstiderna förkortas också avsevärt i CFAST jämfört med FDS.

Viktiga begränsningar

Följande punkter redovisar begränsningar (NIST, 2009):

- Enkel byggnadsgeometri.
- Skarp skiktning mellan brandgaslagret och det undre lagret.
- Gaserna antas vara ideala gaser.
- Fungerar bäst i rum med ungefär samma bredd och längd. Accepterade kvoter mellan längd (L), bredd (B) och höjd (H) är: $\frac{L}{B} < 3, \frac{L}{H} < 3, \frac{B}{H} > 0,4$
- Ingen hänsyn tas till transporttiden horisontellt och vertikalt för brandgaser.
- Resultatens giltighet minskar med avståndet till brandrummet.

Indata CFAST

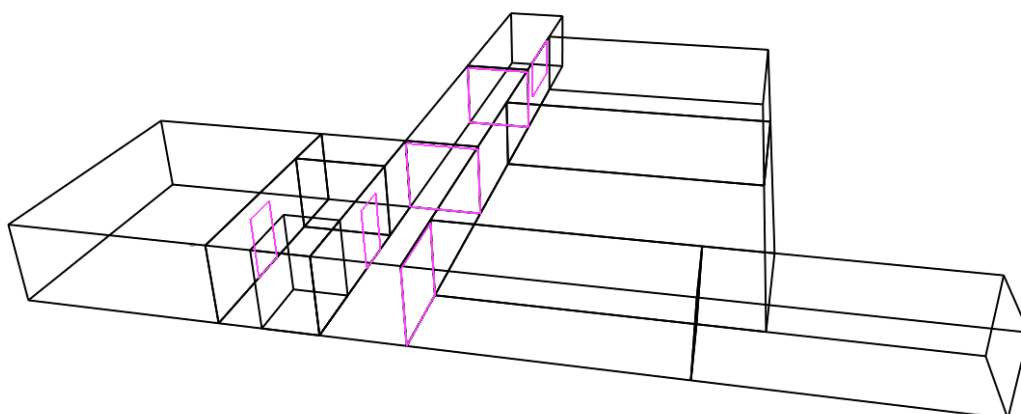
Vid simuleringarna i CFAST har förenklingar och antaganden gjorts främst för att det inte går att beskriva ett brandförlopp exakt men också för att göra avdelningens byggnadsgeometri bättre anpassad till programmet.

Simuleringstiden sätts till 900 sekunder, det vill säga 15 minuter, vilket är en rimlig tid med tanke på att rapporten syftar till personsäkerhet. Inne- och uteluftstemperaturen sätts till 20 °C respektive 10 °C vilka anses vara rimliga medelvärden.

Geometri

Avdelning 6 byggs upp utifrån verkliga avstånd och mått samt utvalda brandscenarier med brand i kök, patientrum och linneskåp. Det stora patientrummet byggs med öppning till tillhörande förrum och därifrån öppning till korridoren. Öppningarna är i samma storlek som respektive dörr i verkligheten. Korridoren löper normalt sett genom hela avdelningen men kortas av något och slutar strax efter köksdelen som också har en med verkligheten överensstämmande öppning. Även korridoren mot avdelning 7 ritas in. Övriga rum och korridorer tas inte med då programmets giltighet försämras med avståndet till brandrummet. Korridorerna byggs i flera korta delar med stora öppningar, där endast en liten klack i taket skiljer varje del, se figur B.1. Samtliga delar uppfyller accepterade kvoter mellan olika mått som anges under viktiga

begränsningar ovan. Detta för att öka giltigheten för programmet och få ett mer relevant resultat.



Figur C.1. Aktuell geometri.

Material/Ytskikt

Väggar, golv och tak består alla av olika material som har olika egenskaper med hänsyn till brandklassning och bärighet. I CFAST definieras väggar, golv och tak i varje rum för sig, dock kan väggarna inom ett rum inte vara av olika material, vilket innebär att ett generellt väggmaterial väljs. Exakt vilket material sjukhusets respektive väggar, golv och tak består av är okänt varför det mest troliga approximeras med ett i CFAST fördefinierat material. Lämpligt fördefinierat material för golvet saknas varför materialet inte definieras i simuleringarna.

Branden

I CFAST finns möjligheten att välja en fördefinierad brand eller att själv definiera en. Brandscenarierna i detta fall definieras var för sig utifrån maximal effektutveckling, tid till utveckling av en megawatt, vilken typ av bränsle, storlek på bränslet samt brandens placering i rummet. Då exakta uppgifter om bränslets material, mängd, strålningsfraktion, med mera saknas, väljs det i CFAST fördefinierade bränsle som bäst kan liknas med det verkliga. Branden placeras sedan ut på rätt position samt i rätt utrymme och en plymmodell väljs. De plymmodeller som kan användas är McCaffrey och Heskestad vilka båda korrelerar massflödet till det övre lagret. McCaffreys modell bygger på korrelationer från experiment medan Heskestad analyserar både egna och Zukoskis data för att korrelera fram en plymmodell. Heskestads modell baseras på den konvektiva effektutvecklingen samt på flammans storlek vilken i sin tur beror av den totala effektutvecklingen. Då flammans storlek beräknas med Heskestads modell används även denna som modell för brandplymerna. Dock visar båda korrelationerna ungefär liknande resultat i CFAST (NIST, 2009).

Sprinkler

Simuleringar för varje brandscenario görs även med sprinkleraktivering. Detta utförs genom att effektkurvan som beräknats fram med hjälp av DETACT QS

samt enligt BBRAD för respektive scenario definieras som brand i CFAST se figur 6.4, 7.3 samt 8.2.

Exempel på textfil från CFAST-simulering

```
Date stamp from CFAST initialization 2012/05/17
The project files are based on the root: koksprinkler
Version 6.1.1 Created 2008/10/28
Opening a version 6 file in normal mode
Key word TIMES parameter(s) = 900 -50 0 10 10
Key word EAMB parameter(s) = 283.15 101300 0
Key word TAMB parameter(s) = 293.15 101300 0 50
Key word CJET parameter(s) = WALLS
Ceiling jet calculation has been set: T F T F T
Key word CHEMI parameter(s) = 10 393.15
Key word WIND parameter(s) = 0 10 0.16
Key word COMPA parameter(s) = patientrum7.6 6 2.5 0 20.7 0
KAOWOOL OFF CONCRGYP
Compartment 1 patientr 7.6 6.0 2.5 0.0 20.7 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
CONCRGYP CONCRGYP
Key word COMPA parameter(s) = Förrum 5.6 3 2.5 0 17.7 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 2 Förrum 5.6 3.0 2.5 0.0 17.7 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = Toa liten 2 1.7 2.5 0 17.7 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 3 Toa lite 2.0 1.7 2.5 0.0 17.7 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = Toa stor 2 3 2.5 5.6 17.7 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 4 Toa stor 2.0 3.0 2.5 5.6 17.7 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = korridor 17.6 2.5 2.5 0 15.2 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 5 korridor 7.6 2.5 2.5 0.0 15.2 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = korridor 27.6 2.5 2.5 7.6 15.2 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 6 korridor 7.6 2.5 2.5 7.6 15.2 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = korridor 37.6 2.5 2.5 15.2 15.2 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 7 korridor 7.6 2.5 2.5 15.2 15.2 0.0 T F T T KAOWOOL
OFF GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = korridor t2.5 7.6 2.5 0 7.6 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
Compartment 8 korridor 2.5 7.6 2.5 0.0 7.6 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
GYP1/2 GYP1/2
Key word COMPA parameter(s) = korridor 22.5 7.6 2.5 0 0 0
KAOWOOL OFF GYP1/2
```

Compartment 9 korridor 2.5 7.6 2.5 0.0 0.0 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
 GYP1/2 GYP1/2
 Key word COMPA parameter(s) = expedition 9.1 9.5 2.5 2.5 5.7 0
 KAOWOOL OFF GYP1/2
 Compartment 10 expediti 9.1 9.5 2.5 2.5 5.7 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
 GYP1/2 GYP1/2
 Key word COMPA parameter(s) = kök 8 9.5 2.5 11.6 5.7 0
 KAOWOOL OFF GYP1/2
 Compartment 11 kök 8.0 9.5 2.5 11.6 5.7 0.0 T F T T KAOWOOL OFF
 GYP1/2 GYP1/2
 Key word COMPA parameter(s) = korridor 47.6 2.5 2.5 22.8 15.2 0
 KAOWOOL OFF GYP1/2
 Compartment 12 korridor 7.6 2.5 2.5 22.8 15.2 0.0 T F T T KAOWOOL
 OFF GYP1/2 GYP1/2
 Key word HALL parameter(s) = 5 -1 -1 -1
 Key word HALL parameter(s) = 6 -1 -1 -1
 Key word HALL parameter(s) = 7 -1 -1 -1
 Key word HALL parameter(s) = 8 -1 -1 -1
 Key word HALL parameter(s) = 9 -1 -1 -1
 Key word HALL parameter(s) = 12 -1 -1 -1
 Key word HVENT parameter(s) = 1 2 1 1.2 2 0 1 2.4
 0 1 1
 Key word HVENT parameter(s) = 2 5 1 1.2 2 0 1 3.5
 0 1 1
 Key word HVENT parameter(s) = 5 8 1 2.5 2.4 0 1 0
 7.6 1 1
 Key word HVENT parameter(s) = 5 6 1 2.5 2.4 0 1 0
 7.6 2 1
 Key word HVENT parameter(s) = 6 7 1 2.5 2.4 0 1 0
 15.2 2 1
 Key word HVENT parameter(s) = 7 11 1 3 2.4 1 1 0.8
 0 1 1
 Key word HVENT parameter(s) = 7 12 1 2.5 2.4 0 1 0
 22.8 2 1
 Key word OBJEC parameter(s) = Brand i sk11 7 7 1.2 2 1
 0 0 0 1
 Plume model for this fire: Heskestad
 Open the output file H:\BTR\Kök\koksprinkler.out
 Open the smokeview files - H:\BTR\Kök\koksprinkler.smv
 H:\BTR\Kök\koksprinkler.plt
 Open the spreadsheet files - H:\BTR\Kök\koksprinkler.n.csv
 H:\BTR\Kök\koksprinkler.f.csv H:\BTR\Kök\koksprinkler.s.csv
 H:\BTR\Kök\koksprinkler.w.csv
 Open the object fire file H:\BTR\Kök\Brand i skap m sprinklerakt.o
 Object Brand i skap m sprinklerakt position set to 7.000 7.000 1.200;
 Maximum HRR per m³ is 5.595E+04
 Open the thermophysical properties file C:\Program Files\CFAST6\thermal.csv
 Total execution time = 2.62 seconds
 Normal exit from CFAST

Verifiering av CFAST-simulering

För att verifiera simuleringar i CFAST kontrolleras resultat från simulering mot handberäkningar för gasernas höjd. Verifieringen inleds med att anta tvåzonsmodell även för handberäkningar. CFAST är en tvåzonsmodell som inte tar hänsyn till transporttid för brandgaserna, däremot tas värmeförluster in i konstruktionen med i kalkylen. Verifieringen avser scenariot med brand i patientrum, kritisk höjd inträffar när gaserna är 1,85 meter över golvet. Kritiskt tillstånd i väg till utrymningsväg kommer inträffa först i korridoren utanför patientrummet. Därför tas rummet, förrummet och den delen av korridoren i beaktning. Lösningen är iterativ på så sätt att brandgaslagrets höjd sätts till 1,85 meter och tiden till att ekvationen uppfylls undersöks.

För att verifiera simuleringar görs vissa förenklingar för att underlätta handberäkningar.

- Massflödet ut ur patientrummet är lika med massflödet i plymen.
- Volymerna behandlas som en stor sammanhängande volym.
- Ingen hänsyn tas till den fördröjning av spridningen som sker ovanför respektive öppning.
- Massflödet i plymen skapar ett brandgaslager som direkt är jämnt fördelat över aktuell volym, gränsen mellan varm och kall zon är skarp.

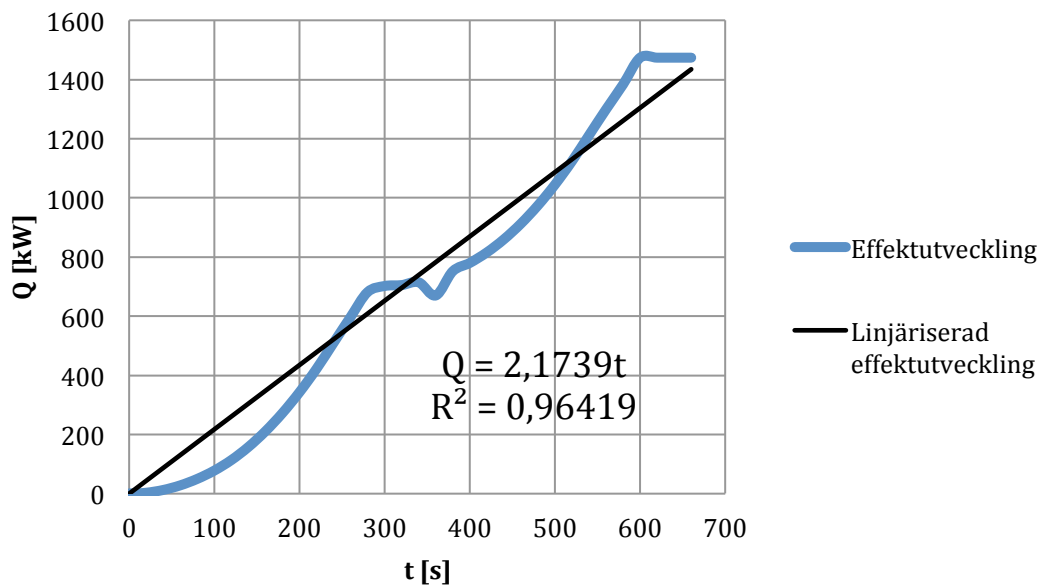
Tiden tills brandgaslaget nått den kritiska höjden beräknas med stöd i nedanstående förenklingar och ekvation C.1-C.9.

- Volymen för varm zon i tvåzonsmodellen beräknas med hjälp av brandgaslagrets höjd vid kritiskt tillstånd.
- Brandens effektutveckling linjäriseras enligt figur C.2 för att efterlikna aktuellt förhållande. Vald linjärisering stämmer väl överens med brandens effektutveckling med $R^2 = 0,96419$.
- Massflödet i plymen beräknas med Heskestads plymmodell där z_0 också görs tidsberoende med en ekvivalent diameter om 1,6 meter. Diametern baseras på att sängen antas vara 2 m².
- Massflödet i plymen integreras över tiden för att erhålla total massa transporterad i plymen.
- Temperaturen i brandgaserna erhålls genom ekvation C.1, där hänsyn tas till värmeförluster via innertaket.
- Ekvation C.1 ger gasernas temperatur vid aktuell tidpunkt, därför beräknas en medeltemperatur vid varje tidssteg.
- Brandgasernas densitet beräknas ur ekvation C.9 där T_g är ovan nämnda medeltemperatur vid varje tidssteg.
- Utströmmad volym fås till slut genom att dividera totalt transporterad massa med gasdensiteten vid aktuell tid.
- Avläsning av tiden till att gasernas volym överensstämmer med den som beräknats med hjälp av brandgaslagrets höjd vid kritiskt tillstånd.
- Tiden ovan jämförs med tiden det tar till kritiskt tillstånd i CFAST.

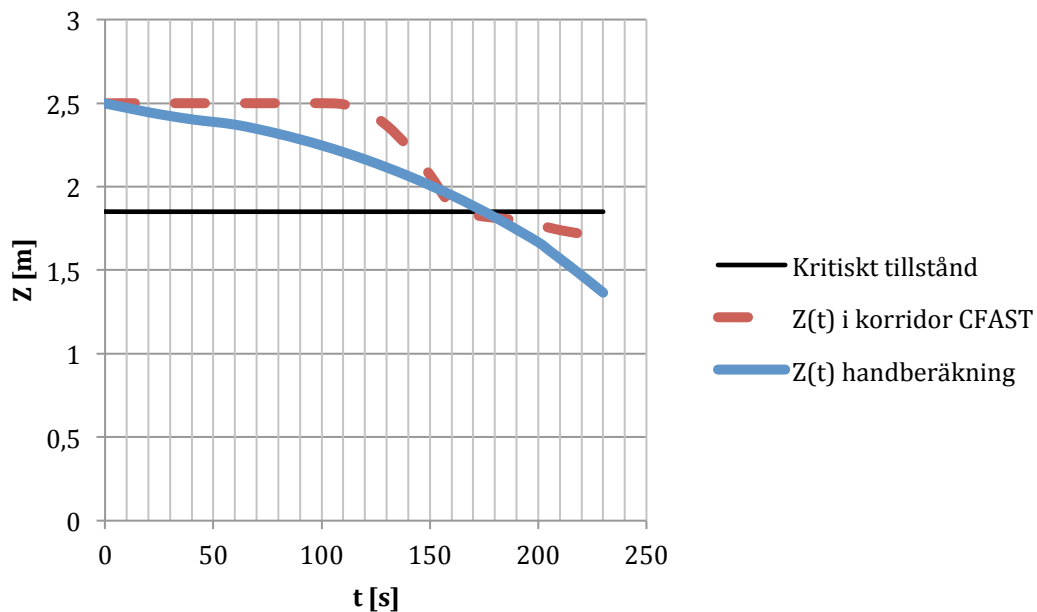
Figur C.2 visar brandens effektutveckling och den linjäriserade effektutvecklingen. Figur C.3 visar hur brandgasernas höjd minskar med tiden

vid simulering och handberäkning. Resultaten stämmer väl överens. Kurvorna skär varandra efter cirka 175 sekunder och höjden är då nära den kritiska. Kurvornas olika utseende förklaras av linjäriseringen av effektutvecklingen, det intressanta är dock totalt genererad volym brandgaser så kurvans utseende är av mindre betydelse.

Sökt: t vid $Z_{gas} = Z_{kritisk} \Rightarrow 2,5 - \left(\frac{\int_0^t \dot{m}_p dt}{\frac{\bar{\rho}_g}{V_{kritisk}} (2,5 - 1,85)} \right) \approx 1,85 \text{ m}$ Ekvation C.1



Figur C.2. Linjäriserad effektutveckling.



Figur C.3. Jämförelse brandgaslagrets höjd vid handberäkning och simulering i CFAST.

Följande ekvationer används vid beräkning av tiden tills brandgaslagret nått en viss höjd.

$$\frac{\dot{Q}}{dt} = 2,1739t \text{ [kW]} \Rightarrow Q = \frac{2,4427t^2}{2} \text{ [kJ]} \quad \text{Ekvation C.2}$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_0 &= 0,083\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \text{ där } D = 2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \\ \Rightarrow \dot{z}_0 &= 0,083 \cdot (2,1739t)^{2/5} - 1,02 \cdot 1,6 \text{ [m]} \end{aligned} \quad \text{Ekvation C.3}$$

$$\dot{Q}_c \approx 0,7\dot{Q} \text{ [kW]} \quad \text{Ekvation C.4}$$

$$\dot{m}_p = 0,071 \cdot (0,7\dot{Q})^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot (0,7\dot{Q}) \quad \text{Ekvation C.5}$$

$$V_{kritisk} = (A_{patientrum} + A_{förrum} + A_{korridor}) \cdot (2,5 - 1,85) \quad \text{Ekvation C.6}$$

$$T_g = 293 + \left(\frac{\dot{Q}}{\dot{m}_p + h_k A_T} \right) \quad \text{Ekvation C.7}$$

$$A_T = \text{Takarea}$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad \text{Ekvation C.8}$$

$$\tilde{\rho}_g = \frac{353}{\tilde{T}_g} = \frac{353}{\frac{\sum T_{g,n}}{n}} \quad \text{Ekvation C.9}$$

Bilaga D - Sikt i brandgaser

Beräkningar gällande röktäthet, D_L , baseras på variabler med enheten obscura som återger hur sikten dämpas med avståndet från betraktaren. En obscura motsvarar tio meter sikt, gränsvärdet för när sikten anses för dålig är fem meter, baserat på BBRAD (BFS 2011:27). Den optiska densiteten per meter är då två obscura, se ekvation D.1. Vid beräkning utgår från rökpotentialen, D_0 , för aktuellt material (Drysdale, 1998). Uttrycket för massa som måste förbrännas för att ge aktuell röktäthet ges av ekvation D.2. Utrymmets volym ges av ekvation D.3 och utgörs av brandrummet samt del av korridor i direkt anslutning till detta i respektive scenario.

$$D_{L,10log} = \frac{-10}{L} \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 2 \text{ obscura} \quad \text{Ekvation D.1}$$

$$D_{0,10log} = D_{L,10log} \cdot \frac{V}{m_{kritisk}} \Rightarrow m_{kritisk} = D_{L,10log} \cdot \frac{V}{D_{0,10log}} \quad \text{Ekvation D.2}$$

$$V = L \cdot B \cdot H \text{ m}^3 \quad \text{Ekvation D.3}$$

Idealt massflöde från bränsleytan vid respektive scenario ges i tabell D.1 (Drysdale, 1998). I scenarierna för kök och llinneskåp antas bränslet vara plywood och i patientrummet antas det vara polyuretanskum. För att ta hänsyn till brandens tillväxtfas görs ett antagande om att bränsleytans storlek vid maximal effekt är 2 m². Hänsyn tas till bränsleytans storlek under brandens tillväxt genom att kvoten mellan effektutveckling vid aktuell tidpunkt och maximal effektutveckling multipliceras med bränsleytan vid maximal effekt. När brandspridning sker behandlas effektkurvorna separat för respektive fas varefter ett totalt massflöde erhålls. Brandspridning hinner endast ske i köket innan sikten är för dålig, brödkorgen i scenariot har en bränsleyta om 0,15² m². De första 300 sekunderna i köksscenariot benämns fas 1, fasen när skåpen antänds kallas fas 2. Beräkningar utförs utan och med sprinkler för varje scenario. I fallet med sprinkler tas hänsyn till brandens tillväxt upp till maximal effekt med sprinkler, därefter hålls bränsleytan och därigenom effektutvecklingen konstant. En brands tillväxt kan approximeras som funktion av tiden i kvadrat med en αt^2 -kurva. För att massflödet från bränsleytan ska spegla brandens tillväxt antas att bränsleytans storlek ökar proportionellt med brandens effekt. För varje scenario innebär det att tiden då maximal effekt nås för aktuell bränsleyta används för att skapa uttrycket för massflöde som funktion av tiden i kvadrat, se ekvation D.4. Ur ekvation D.4 erhålls koefficienten k som styr massflödets tillväxt. Uttrycket integreras enligt ekvation D.5 för att erhålla total massa och tiden löses ut ur ekvation D.6. Tiden då gränsvärdet för sikt uppnås ges av ekvation D.6. Resultatet är en underskattning då beräkningarna grundas på ett antagande om att gaserna fördelas jämnt i hela volymen. I själva verket kommer en skiktning att uppträda. Det innebär att sikten försämras fortare i brandgaslagret.

$$\frac{\dot{Q}_t}{\dot{Q}_{max}} \cdot 2 \cdot \dot{m}'' = k t_{maxeffekt}^2 \Rightarrow k = \frac{\dot{Q}_t - 2 \cdot \dot{m}''}{t_{maxeffekt}^2} \quad \text{Ekvation D.4}$$

$$m_{kritisk} = \int \frac{\dot{Q}_t \cdot 2 \cdot \dot{m}''}{t_{maxeffekt}^2} \cdot t^2 dt = \frac{\dot{Q}_t \cdot 2 \cdot \dot{m}''}{3 \cdot t_{maxeffekt}^2} \cdot t^3 \quad \text{Ekvation D.5}$$

$$\Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{m_{kritisk} \cdot 3 \cdot t_{maxeffekt}^2}{\frac{\dot{Q}_t \cdot 2 \cdot \dot{m}''}{3 \cdot t_{maxeffekt}^2}}} \quad \text{Ekvation D.6}$$

Insättning av värden ur tabell D.1 och D.3 i ekvation D.1-D.7 ger resultat i tabell D.2 och D.4.

Tabell D.1. Ingående parametrar för siktberäkning utan sprinkler.

Scenario	$D_{0,10log}$ [ob·m ³ /g]	\dot{m}'' [g/m ² s]	V [m ³]	$t_{maxeffekt}$ (fas) [s]
Kök	0,17	10	237,5	300 (1) 420 (2)
Patientrum	0,96	32	203,5	300
Linneskåp	0,17	10	47,5	180

Tabell D.2. Resultat siktberäkningar utan sprinkler.

Scenario	$m_{kritisk}$ [g]	m (t) [g]	$t_{kritisk}$ [s]
Kök (1)		22,5	718
Kök (2)	2794-29,6=2764,4	2764,4	
Patientrum	424	424	153
Linneskåp	559	559	140

Tabell D.3. Ingående parametrar för siktberäkning med sprinkler.

Scenario	$D_{0,10log}$ [ob·m ³ /g]	\dot{m}'' [g/m ² s]	V [m ³]	$t_{maxeffekt}$ (fas) [s]
Kök	0,17	10	237,5	300 (1) 374 (sprinkler)
Patientrum	0,96	32	203,5	220 (sprinkler)
Linneskåp	0,17	10	47,5	64 (sprinkler)

Tabell D.4. Resultat siktberäkningar med sprinkler.

Scenario	$m_{kritisk}$ [g]	m (t) [g]	$t_{kritisk}$ [s]
Kök (1)		22,5	3520
Kök (2)	2794-29,6=2764,4	2764,4	
Patientrum	424	424	154
Linneskåp	559	559	517

Bilaga E - ERM

För att beräkna förflyttningstiden för personal samt patienter från avdelning 6 används simuleringsprogrammet ERM. För scenarier gällande brand i kök och brand i patientrum bestäms tiden det tar för vårdare och patienter att förflytta sig till närmsta brandcell på samma plan, det vill säga avdelning 7. Avdelningen brukar vara bemannad dagtid med 10 till 15 vårdare samt 20 patienter.

ERM tar hänsyn till gånghastighet, prioritering av patienter och patienternas hjälpbehov. Hjälpbehovet definieras för varje patient genom att ange vilken typ av patient det är, allt från att de kan gå själva till att de behöver hjälp av två vårdare under hela utrymningen. Programmet har flera begränsningar som bör tas i akt när utrymningstiden analyseras. Bland annat tar inte programmet hänsyn till hur personer påverkas av brandgaser. Det tas inte heller hänsyn till att köbildning kan uppstå eller vägen till utrymningsvägs kapacitet. Antalet patienter och personal är begränsade till 15 vårdare och 75 patienter.

ERM bygger på ett nätverk av noder som representerar rum, korridor och säkra områden. Dessa noder kopplas samman och beskriver då gångvägen personer kan ta vid en utrymningssituation. Patienter och personal placeras ut på noderna och programmet beräknar tiden tills alla befinner sig på säkra noder (Alvord, 1985).

För simuleringar på Jakobsbergs sjukhus används indata som följer. Patienterna på avdelningen har svårt att röra sig själva, totalt sett finns maximalt fem patienter som kan gå utan några hjälpmedel. Därför varierar typ av patient mellan typ 20 och typ 3C. I tabell E.1 kan de värden som används under simuleringen för brandscenario i kök respektive patientrum avläsas. Två simuleringar genomförs och tiden för förflyttning blev cirka 4 minuter. Samma upplägg används för att simulera nattetid med skillnaden att personalantalet ändras till två och sex personer.

Tabell E.1. De olika värden som används i ERM för scenarier i kök och patientrum.

Typ	Antal
Personal	11
Patienter	20
Patienttyp	15-18 typ 20 (Patient som behöver mycket assistans eller bli buren till säker plats)
Patienttyp	3-5 typ 3C (Patienter som måste ledas till säker plats, en vårdare klarar 5-6 sådana)
SAFE	Avdelning 7
Antal noder	17

Nodernas placering i simuleringen för brandscenario kök och patientrum visas i figur E.1.



Figur E.1. Nodernas placering, scenarier i kök och patientrum.

För att beräkna förflyttningstid för patienter och personal på avdelning 6 vid brand i linneskåp genomförs en del ändringar. Detta eftersom scenariot äger rum i korridoren på väg mot avdelning 7 och därför kan den vanliga utrymningsvägen inte användas. I stället sätts trapphuset som den nya utrymningsvägen. De fem personer som antas befinna sig nära avdelning 7 och har möjlighet att utrymma dit tas bort ur simuleringen. Nodernas placering kan ses i figur E.2 och de olika värden som används under simuleringen kan avläsas i tabell E.2. Förflyttningstiden för patienter och personal, enligt simulering, blir cirka två minuter.

Tabell E.2. De olika värden som användes i simuleringen, scenario linneskåp.

Typ	Antal
Personal	10
Patienter	16
Patienttyp	12 typ 20 (Patient som behöver mycket assistans eller bli buren till säker plats)
Patienttyp	4 typ 3C (Patienter som måste ledas till säker plats, en vårdare klarar 5-6 sådana)
SAFE	Avdelning 7
Antal noder	17



Figur E.2. Nodernas placering vid brand i linneskåp.

Exempel på en utdatafil för brandscenarier i kök och patientrum.

```

+++++
+ GENERAL INFORMATION +
+++++
THE INPUT FORMAT MODE IS B
TITLE ----- PATIENTRUM och KÖK
THE SCALE IS 1.0000
THE NODE LINK PRINTING FLAG IS 0.
THE NODE SHORTEST PATH PRINTING FLAG IS 0.
THE EVENT NOTICE PRINTING FLAG IS 0.
THE NUMBER OF STAFF IS 11
THE NUMBER OF RESIDENTS IS 20.
THE NUMBER OF NODES IS 17.
THE STAFF DELAY FOR ALERTING IS 5 SECONDS.
THE INTER-RESCUE TIME IS 20 SECONDS.
THE NUMBER OF DESIRED RESIDENT SPEED CHANGES IS 0.
0
THE SPEED OF A STAFF MEMBER IS 300 FT/MINUTE.
THE SPEED OF A TYPE 3C RESIDENT IS 147 FT/MINUTE.
THE SPEED OF A TYPE 20 RESIDENT IS 105 FT/MINUTE.
1
+++++
+ STAFF INFORMATION +
+++++
STAFF MEMBER 1 IS AT NODE 13.

```

HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 2 IS AT NODE 5.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 3 IS AT NODE 15.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 4 IS AT NODE 15.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 5 IS AT NODE 6.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 6 IS AT NODE 8.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 7 IS AT NODE 10.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 8 IS AT NODE 10.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 9 IS AT NODE 10.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 10 IS AT NODE 4.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.
 STAFF MEMBER 11 IS AT NODE 3.
 HIS DELAY TIME IS 15 SECONDS.

1 ++++++
 + RESIDENT INFORMATION +
 ++++++

RESIDENT 1 IS AT NODE 13.
 HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 1, AND HAS A DELAY FACTOR
 OF 8 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
 AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
 RESIDENT 2 IS AT NODE 13.
 HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 2, AND HAS A DELAY FACTOR
 OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
 AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
 RESIDENT 3 IS AT NODE 13.
 HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 3, AND HAS A DELAY FACTOR
 OF 12 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
 AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
 RESIDENT 4 IS AT NODE 13.
 HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 4, AND HAS A DELAY FACTOR
 OF 14 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
 AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
 RESIDENT 5 IS AT NODE 2.
 HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 6, AND HAS A DELAY FACTOR
 OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
 AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
 RESIDENT 6 IS AT NODE 12.
 HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 8, AND HAS A DELAY FACTOR
 OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
 AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
 RESIDENT 7 IS AT NODE 12.

HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 7, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 8 IS AT NODE 9.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 9, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 9 IS AT NODE 9.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 10, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 10 IS AT NODE 7.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 12, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 11 IS AT NODE 7.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 11, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 12 IS AT NODE 15.
HE IS OF TYPE 3C , PRIORITY 20, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 147 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 1.
RESIDENT 13 IS AT NODE 15.
HE IS OF TYPE 3C , PRIORITY 19, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 147 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 1.
RESIDENT 14 IS AT NODE 15.
HE IS OF TYPE 3C , PRIORITY 18, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 147 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 1.
RESIDENT 15 IS AT NODE 15.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 17, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 16 IS AT NODE 6.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 13, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 17 IS AT NODE 6.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 14, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.
RESIDENT 18 IS AT NODE 8.
HE IS OF TYPE 3C , PRIORITY 15, AND HAS A DELAY FACTOR OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 147 FEET PER MINUTE AND HAS A WANDERER FLAG OF 1.
RESIDENT 19 IS AT NODE 8.
HE IS OF TYPE 3C , PRIORITY 16, AND HAS A DELAY FACTOR

OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 147 FEET PER MINUTE
AND HAS A WANDERER FLAG OF 1.
RESIDENT 20 IS AT NODE 1.
HE IS OF TYPE 20 , PRIORITY 5, AND HAS A DELAY FACTOR
OF 10 SECONDS. HE TRAVELS 105 FEET PER MINUTE
AND HAS A WANDERER FLAG OF 0.

++++
SIMULATION STOPPED AFTER 4.18 MINUTES.