

# Brandteknisk riskvärdering av röntgenavdelningen på Värnamo sjukhus

VBR054



Källa: [www.rjl.se](http://www.rjl.se)



Grupp 12  
Kristian Bladström  
Anton Håkansson  
Viktor Jansson  
Martin Sigvardsson

Handledare  
Marcus Runefors

**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



# **Brandteknisk riskvärdering av röntgenavdelningen på Värnamo sjukhus**

**Kristian Bladström  
Anton Håkansson  
Viktor Jansson  
Martin Sigvardsson**

**Lund 2015**

*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.*

**Avdelning för Brandteknik**  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 Lund  
Telefon: 046-222 73 60  
E-post: brand@brand.lth.se  
www.brand.lth.se  
Fax: +46 46 222 46 12

**Department of Fire Safety Engineering**  
Lund University  
Box 118  
S-221 00 Lund, Sweden  
Telephone: +46 46 222 73 60  
E-mail: brand@brand.lth.se  
www.brand.lth.se  
Fax: +46 46 222 46 12

---

**Rapport nr/Report nr:**  
9495

**Titel/Title:**  
Brandteknisk riskvärdering av Värnamo sjukhus

**Författare/Authors:**  
Kristian Bladström  
Anton Håkansson  
Viktor Jansson  
Martin Sigvardsson

**Språk/Language:**  
Svenska/Swedish

**Antal sidor/Number of pages:**  
106 (inklusive bilagor/including appendix)

**Handledare/Supervisor:**  
Marcus Runefors

**Nyckelord:**  
Brandteknisk riskvärdering, BTR, Värnamo, sjukhus, röntgen, FDS, Pathfinder, Argos.

**Keyword:**  
Fire safety evaluation, BTR, Värnamo, hospital, X-ray, FDS, Pathfinder, Argos.

**Bilder/Pictures:**  
Om ingen källa anges är bilderna tagna av författarna/All pictures are taken by the authors if no reference is given.

## Abstract

This report contains a fire safety risk analysis of the X-ray Ward in the hospital in Värnamo. Värnamo hospital was built in 1976 and is today one of the biggest district hospitals in Sweden with approximately 1300 employees.

A visit at the hospital was conducted in order to gain an understanding of existing fire hazards and risks on the site. All information gained during the visit was compiled and handled together with hospital fire statistics. Using the gathered information and statistics, several plausible fire scenarios were chosen and out of these, four were analyzed more closely. The four selected scenarios were chosen different from each other so as to represent the widest array of possible outcomes as possible.

The analysing process was conducted primarily in the computer program FDS, Fire Dynamics Simulator. The program was used to calculate how variables like visibility, temperature, thermal radiation, height of smoke layer and concentration of carbon monoxide, vary in the case of a fire. This information was then combined with egress calculations conducted in the computer program Pathfinder.

The results showed that in one of the scenarios, fire in one of the waiting rooms, the environment would become harmful to humans before evacuation is finished. The results were the same for a different scenario, fire in a washing room. For a third scenario, fire in one of the hospital beds, thermal radiation will become harmful to nearby humans before evacuation is finished. For the last scenario, fire in a cabinet filled with cables, the environment will not become critical for humans for the full length of the fire.

Based on the results of the fire risk analysis, the authors have come up with four different measures that need to be taken to ensure that evacuation can be performed safely in the case of a scenario that is similar to the ones examined. The measures are as follows:

- Install a sprinkler system
- Replace 10 % of the ceiling with a metal grid
- Fire cell divide the waiting room for beds
- Install protection from radiation between each bed in the waiting room for beds

## Sammanfattning

I denna brandtekniska riskvärdering av Värnamo sjukhus utvärderas säkerheten för sjukvårdspersonal, patienter och anhöriga vid brand på röntgenavdelningen. Arbetet inleddes med ett platsbesök vid sjukhuset där värdefull information om sjukhuset och röntgenavdelningen samlades in.

Värnamosjukhus invigdes 1976 och är idag ett av Sveriges största länsdelssjukhus där cirka 1300 personer arbetar. Sen sjukhuset invigdes har delar av sjukhuset reoverats och ombyggnationer har genomförts.

Efter besöket på sjukhuset sammanställdes all information från platsbesöket för att skapa en god överblick av objektet. Utifrån den samlade informationen och statistik från MSB:s statistikdatabas gjorde gruppen en gemensam inventering av de möjliga brandscenarier som identifierats under besöket på sjukhuset. Utifrån de möjliga brandscenarierna som identifierats gjordes en grovanalys där varje scenario bedömdes utifrån en riskmatris för att få en rättvis och jämförbar bedömning. I schablonmodellen bedömdes konsekvens och sannolikhet var för sig för att på ett enkelt sätt kunna skatta dem.

Utifrån grovanalysen valdes de fyra scenarier som gruppen ansåg intressanta för vidare analys. Scenarierna valdes för att täcka in olika delar av röntgenavdelning, samt brandscenarier av olika karaktär. På så vis täcker riskvärderingen så gott som möjligt in hela scenariorymden av en stor mängd olika bränder. Detta innebär att de valda scenarierna blir representativa för den totala riskanalysen.

När de fyra scenarierna valts startade arbetet med att försöka simulera och beräkna brand- och utrymningsförloppen för de olika brandscenarierna på röntgenavdelningen. Mycket tid och resurser ägnades åt simuleringar i datorprogrammet FDS för att illustrera hur ett specifikt brandscenario påverkar miljön på röntgenavdelningen. I programmet erhöles resultat om hur sikten, brandgaslagret höjd, strålningen, temperaturen samt koncentrationen kolmonoxid varierade för respektive brandscenario.

För att få en bild av hur människor utrymmer röntgenavdelningen vid brand användes simuleringsprogrammet Pathfinder. Med information från besöket om antalet patienter på avdelning samt litteraturstudier av utrymningsförsök i sjukhusmiljöer, skattades de tre utrymningsfaserna varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningstid för de olika människorna på avdelningen. Med dessa grundläggande indata för simuleringar erhålls resultaten för utrymningsförloppen och den totala utrymningstiden.

Från resultaten i FDS och Pathfinder kunde bedömningen göras att för scenario brand i väntrum och scenario brand i tvättrum kommer sikten bli dålig, höjden på brandgaslagret för låg samt temperaturen för hög innan alla hunnit lämna lokalen. För scenario brand i sjukhussäng kommer strålningen till närliggande patienter bli skadlig. I scenario brand i elnisch, visar resultaten att det inte kommer uppstå någon fara för människorna på avdelningen.

Utifrån resultaten för de valda brandscenarierna har gruppen kommit med åtgärdsförslag för att förbättra säkerheten för människor vid brand på avdelningen. Nedan presenteras de fyra framtagna åtgärdsförslagen som skulle kunna reducera riskerna vid brand:

- Installation av ett sprinklersystem
- Ersätt 10 % av undertaksplattorna med galler
- Brandcellsindelning av väntrum för sängar
- Strålningsskydd mellan de sängliggande patienterna i sängväntrummet

## Förord

Vi vill tacka följande personer för den hjälp de gett under tiden som denna rapport gjorts.

Marcus Runefors vid LTH: för handledning av arbetet.

Jonathan Wahlqvist vid LTH: för tips och råd med FDS.

Enrico Ronchi vid LTH: för tips och råd med Pathfinder.

Bjarne Husted vid LTH: för tips och råd med Argos.

Lars-Inge Berggren vid Värnamo sjukhus: för guidning vid platsbesök och svar på frågor.

Anders J Björk vid Räddningstjänsten Värnamo: för guidning vid platsbesök och svar på frågor.



## Nomenklatur

Beteckning	Förklaring	Enhet
$A_o$	öppningarnas area	[m <sup>2</sup> ]
$A_T$	inneslutningsarea exklusive öppningar	[m <sup>2</sup> ]
$\alpha$	tillväxtkonstanten	[kW/s <sup>2</sup> ]
$c$	specifik värmekapacitet	[J/kg·K]
$c_p$	specifik värmekapacitet vid konstant tryck	[kJ/kg·K]
$d$	avstånd från strålningskälla till föremål	[m]
$D$	brandkällans diameter	[m]
$D^*$	karaktäristisk branddiameter	[m]
$\varepsilon$	emissivitet	[-]
$g$	gravitationskonstanten	[m <sup>2</sup> /s]
$\Delta H_{eff,wood}$	förbränningsvärmens för trä	[kJ/kg]
$h_k$	värmeövergångstalet	[kW/m <sup>2</sup> ·K]
$H_o$	öppningens höjd	[m]
$k$	värmekonduktivitet	[W/m·K]
$L$	flamhöjden	[m]
$L_1$	flammans korta sida	[m]
$L_2$	flammans långa sida	[m]
$\rho$	densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_\infty$	omgivande luftens densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\dot{q}''$	strålningseffekten	[kW/m <sup>2</sup> ]
$\dot{Q}$	effekten	[kW]
$Q^*$	dimensionslösa effektutvecklingen	[-]
$\dot{Q}_{FO}$	effekten då övertändning sker	[kW]
$\sigma$	Boltzmanns konstant	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-4</sup> ]
$\phi$	synfaktorn	[-]
$t$	tid	[s]
$t_p$	termisk penetrationstid	[s]
$T$	temperatur	[K]

## Förkortningar

<b>Akronym</b>	<b>Förklaring</b>
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd
CFD	Computational fluid dynamics
FDS	Fire dynamics simulator
HRR	Heat release rate
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
RTI	Response time index
LSO	Lagen om skydd mot olyckor

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund .....	1
1.1 Syfte .....	1
1.2 Mål .....	1
1.3 Skyddsmål .....	1
1.4 Skadekriterier .....	1
1.5 Metod .....	2
1.6 Avgränsningar .....	2
<b>2. Objektsbeskrivning .....</b>	<b>3</b>
2.1 Översikt .....	3
2.2 Personal och patienter .....	4
2.3 Befintligt brandskydd .....	4
2.3.1 Detektionssystem .....	4
2.3.2 Larmsystem .....	5
2.3.3 Sprinklersystem .....	5
2.3.4 Allmänt brandskydd .....	5
2.3.5 Systematiskt brandskyddsarbete .....	5
2.3.6 Brandcellsindelning .....	5
2.3.7 Utrymning .....	5
2.3.8 Räddningstjänst .....	6
<b>3. Teori.....</b>	<b>7</b>
3.1 Utrymning .....	7
3.1.1 Utrymningsförlopp .....	7
3.1.2 Varseblivningstid .....	7
3.1.3 Förberedelsestid .....	8
3.1.4 Förflyttningstid .....	8
3.1.5 Patienter .....	8
3.1.6 Pathfinder .....	8
3.2 Brandförlopp .....	9
3.2.1 Effektutveckling .....	9
3.2.2 Tillväxthastighet .....	10
3.2.3 FDS.....	11
<b>4. Riskidentifiering .....</b>	<b>12</b>
4.1 Statistik.....	12

4.2 Sannolikhet för brandutveckling .....	15
4.3 Grovanalys .....	16
4.3.1 Inventering av brandscenarier .....	16
<b>5. Brandscenarier för vidare analys .....</b>	<b>20</b>
5.1 Scenario 2, brand i väntrum .....	20
5.2 Scenario 7, brand i sjukhussäng .....	20
5.3 Scenario 12, brand i tvätttrum .....	21
5.4 Scenario 16, brand i elnisch .....	22
<b>6. Scenario 2, brand i väntrum.....</b>	<b>23</b>
6.1 Effektkurva.....	23
6.2 FDS.....	24
6.2.1 Ingående data FDS scenario 2, brand i väntrum .....	24
6.2.2 Effektkurva och tid till detektoraktivering i FDS.....	25
6.2.3 Sikt .....	26
6.2.4 Strålning .....	29
6.2.5 Temperatur .....	30
6.2.6 Kolmonoxid.....	31
6.3 Utrymning .....	32
6.4 Sammanfattning scenario 2, brand i väntrum.....	33
<b>7. Scenario 7, brand i sjukhussäng .....</b>	<b>34</b>
7.1 Effektkurva.....	34
7.2 Strålning .....	35
7.3 Sammanfattning Scenario 7, brand i sjukhussäng.....	36
<b>8. Scenario 12, brand i tvätttrum .....</b>	<b>37</b>
8.1 Effektkurva.....	37
8.2 FDS.....	38
8.2.1 Ingående data scenario 12 .....	38
8.2.2 Effektkurva och tid till detektoraktivering i FDS.....	39
8.2.3 Sikt .....	40
8.2.4 Strålning .....	43
8.2.5 Temperatur .....	44
8.2.6 Kolmonoxid.....	45
8.3 Utrymning .....	46
8.4 Sammanfattning scenario 12, brand i tvätttrum .....	47
<b>9. Scenario 16, Brand i elnisch .....</b>	<b>48</b>

9.1 Effektkurva.....	48
9.2 FDS.....	49
9.2.1 Ingående data scenario 16, brand i elnisch.....	49
9.2.2 Sikt .....	50
9.2.3 Strålning .....	50
9.2.4 Temperatur .....	51
9.2.5 Kolmonoxid.....	51
9.3 Sammanfattning scenario 16, brand i elnisch.....	52
<b>10. Åtgärdsförslag .....</b>	<b>53</b>
10.1 Sprinkler .....	53
10.1.1 Effektutveckling .....	54
10.1.2 Sikt .....	54
10.1.3 Strålning .....	58
10.1.4 Temperatur .....	59
10.2 Galler till undertak .....	61
10.2.1 Sikt .....	61
10.2.2 Temperatur .....	62
10.3 Brandcellsindelning.....	63
10.4 Strålningsskydd mellan sjukhussängarna.....	63
10.5 Sammanfattning åtgärdsförslag.....	64
<b>11. Diskussion .....</b>	<b>65</b>
11.1 FDS.....	65
11.2 Utrymning .....	67
11.3 Åtgärdsförslag .....	68
<b>Referenser .....</b>	<b>71</b>
<b>Bilaga A – SBA .....</b>	<b>73</b>
<b>Bilaga B - Sannolikhet för brandutveckling .....</b>	<b>75</b>
<b>Bilaga C - Grovriskanalys – Inventering av brandscenarier .....</b>	<b>76</b>
<b>Bilaga D - Scenario 2, brand i väntrum .....</b>	<b>82</b>
Bilaga D.2 FDS .....	82
<b>Bilaga E - Scenario 12, brand i tvättrum .....</b>	<b>86</b>
Bilaga E.2 Beräkningar av effektutveckling .....	86
Bilaga E.3 FDS.....	89
<b>Bilaga F - Scenario 7 brand i sjukhussäng.....</b>	<b>94</b>
Bilaga F.2 Strålningsberäkningar .....	94

Bilaga F.3 Argos .....	98
<b>Bilaga G – Scenario 16, brand i elnisch.....</b>	<b>100</b>
Bilaga G.2 FDS .....	100
<b>Bilaga H – Pathfinder .....</b>	<b>103</b>
<b>Bilaga I – FDS.....</b>	<b>104</b>
Bilaga I.2 Placering av mätare .....	104
Bilaga I.3 Kontroll.....	105

## 1. Inledning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av röntgenavdelningen på Värnamo sjukhus. Den brandtekniska riskvärderingen fokuserar på de olika parametrar som påverkar personsäkerheten vid en eventuell brand. Då människorna som befinner sig på sjukhus kan ha problem med att utrymma själva blir sjukhusmiljön komplex ur ett brandtekniskt perspektiv med avseende på att alla ska kunna ta sig till säker plats.

### 1.1 Bakgrund

Personer som befinner sig i sjukhusmiljöer har ofta försämrade förmåga att utrymma. Denna nedsatta förmåga kan till exempel bero på att patienten är sängliggande eller uppkopplad med medicinsk utrustning. En del sängliggande patienter kan inte förflytta sig själva och dessa kräver då assistans från personalen för att vid brand kunna genomföra en utrymning. I denna rapport kommer dessa faktorer påverka tiden för utrymningsförloppet vilket i sin tur kommer avgöra ifall människor kommer kunna ta sig till en säker plats utan att ta skada.

Denna nedsatta förmåga gör att utrymningsberäkningarna blir komplexa. Det finns även en viss problematik med röntgenavdelningens utformning där det är många små rum. För att verifiera att säkerheten för människorna i lokalen är tillräcklig utförs denna riskanalys ur ett brandtekniskt perspektiv.

### 1.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att undersöka om säkerheten för människor på röntgenavdelningen blir tillfredställande i händelse av brand.

### 1.2 Mål

Målet med rapporten är att fastställa säkerhetsnivån på röntgenavdelningen vid Värnamo sjukhus och vid behov ge förslag på möjliga förbättringar som kan öka säkerheten vid utrymning för personal och patienter.

### 1.3 Skyddsmål

Skyddsmålet är att människorna i byggnaden inte ska skadas vid en eventuell brand.

### 1.4 Skadekriterier

För att uppfylla skyddsmålet definieras skadekriterier som anger en nedre gräns som säkerställer att människor inte kommer ta skada vid brand. Vid högre påverkan av aktuella kriterier skulle en djupare analys kunna göras för att kontrollera huruvida detta kan accepteras eller ej. I denna rapport bedöms överskridande av dessa kriterier dock som skadligt.

Röntgenavdelningens korridorer är enkla att följa, samt har genomlysta nödutrymningskyltar, vilket gör att en röktäthet som ger siktförhållanden på fem meter kan accepteras (Gunnarsson, 2003). Höjden där sikten beräknas på är 1,8 m över golvet.

En människa känner smärta inom ett par sekunder då strålningen mot huden är  $3 \text{ kW/m}^2$  (Fire Dynamics, 2013). En strålning på  $10 \text{ kW/m}^2$  kan accepteras vid kortare exponeringstid (BBRAD, 2013).

Den maximala temperaturen en person får utsättas för under utrymning är  $80 \text{ °C}$  (Boverket, 2013).

Boverkets författningssamling definierar i BBRAD koncentrationer av gaser som kan anses acceptabla vid utrymning enligt Tabell 1 nedan (Boverket, 2013).

Tabell 1. Skadekriterier enligt BBRAD.

Kolmonoxid [ppm]	Koldioxid [%]	Syrgas [%]
<2000	<5	>15

Farliga nivåer av kolmonoxid kommer att uppnås snabbare än för koldioxid (Gann & Bryner, 2008). Därför kommer endast koncentrationen kolmonoxid att tas hänsyn till vid bedömning av kritiska förhållanden.

I Tabell 2 nedan sammanfattas de skadekriterier som använts i denna rapport för att uppnå skyddsmålet.

Tabell 2. Skadekriterier som representeras de värden där utrymning inte längre kan anses vara säker.

Sikt [m]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]	Temperatur [°C]	Koncentration Kolmonoxid [ppm]
5	3	80	2000

## 1.5 Metod

I början av arbetet gjordes ett besök på sjukhuset för att få en så tydlig och verklighetsbaserad inblick i verksamheten som möjligt. Vid besöket observerades samtliga delar av röntgenavdelningen och de utrymmen som angränsar till avdelningen. Vid platsbesöket observerades även information som inte framgår av ritningar. Information om inredning, blockerade utrymningsvägar och personalrutiner dokumenterades.

För att utvärdera säkerheten togs flera brandscenarier fram genom kvalitativa bedömningar, tidigare erfarenhet och information från besöket. Samtliga scenarier tilldelades konsekvens och sannolikhet och ordnades i en riskmatris. Av dessa scenarier valdes fyra representativa bränder ur riskmatrisen, där sammanvägningen av sannolikhet och konsekvens ansågs vara hög.

För att utvärdera säkerheten i byggnaden för de valda brandscenarierna har handberäkningar och simuleringar legat till grund för utvärderingen. Simuleringar av brandförlopp med FDS och utrymningssimuleringar med Pathfinder har använts för att kunna beräkna tiden till dess att förhållandena i byggnaden blir kritiska vid utrymning.

Utifrån resultaten från beräkningar, simuleringar och känslighetsanalyser har bedömningen av byggnadens säkerhetsnivå fastställts samt förslag på åtgärder tillhandahållits.

## 1.6 Avgränsningar

Följande avgränsningar har gjorts i rapporten:

- Rapporten behandlar endast röntgenavdelningen vid Värnamo sjukhus.
- Rapporten är en brandteknisk riskvärdering och avgränsas endast till risker som kan medföra negativa konsekvenser för människors liv och hälsa.



## 2. Objektsbeskrivning

Följande avsnitt beskriver verksamheten vid Värnamo sjukhus och dess röntgenavdelning. Objektsbeskrivningen ger även inblick i hur det befintliga brandskyddet är uppbyggt.

### 2.1 Översikt

Värnamo sjukhus invigdes 1976 och är i dagsläget ett av landets största länsdelssjukhus. De kommuner som är anslutna till sjukhuset är Gislaved, Gnosjö, Vaggeryd och Värnamo. På sjukhuset arbetar cirka 1300 personer varje dag. Sjukhuset tar även emot praktikanter varje termin som utbildar sig inom vården. Inför framtiden har Värnamo sjukhus som mål ”att bli ett av världens säkraste och mest effektiva lokala sjukvårdssystem” (Dovier, 2015).

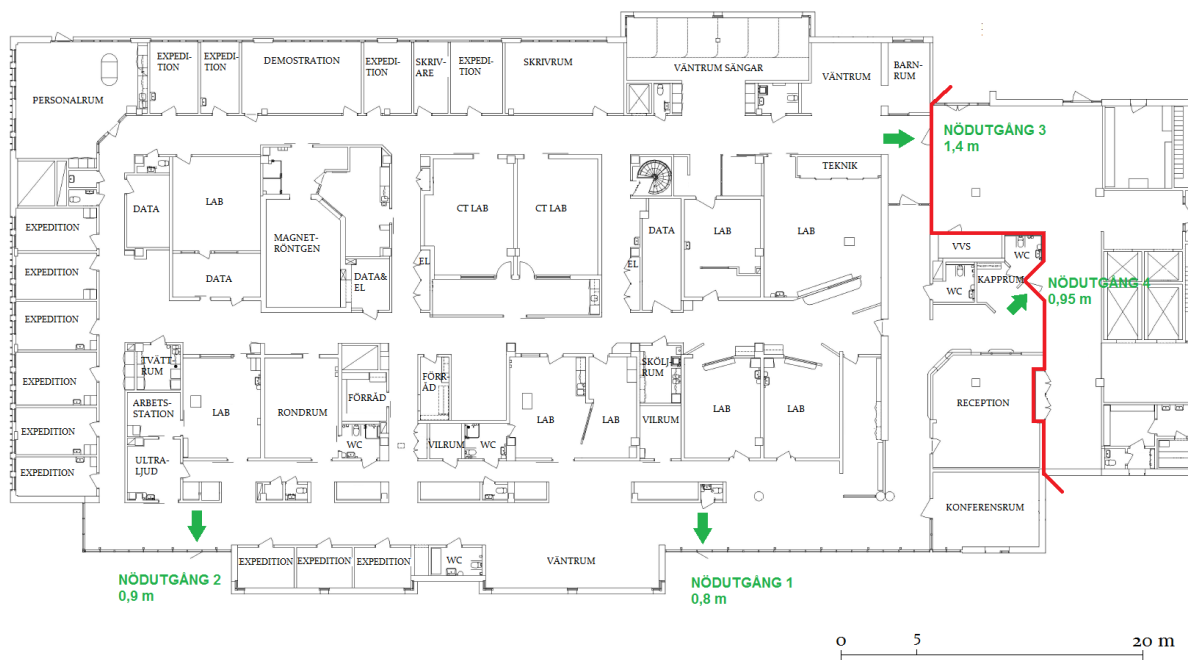
Rapporten är avgränsad till röntgenavdelningen på sjukhuset som ligger på plan två, markplanet. Avdelningen är cirka 1900 m<sup>2</sup>, se Figur 1.



Figur 1. Översiktsbild av Värnamo sjukhus. Den röda markeringen visar vart på sjukhuset röntgenavdelningen ligger.

På röntgenavdelningen utförs magnetkamera-, ultraljud-, skikt-, skelett-, och lungröntgen samt mammografi. Det finns ett rum utrustat för röntgen med magnetkamera och två rum för skikt-röntgen, även kallat datortomografi. Verksamheten är som störst under dagtid, men är bemannad med personal dygnet runt. Avdelningen har fyra nödutgångar och utgör en egen brandcells vilket beskrivs närmare under avsnitt 2.3 Befintligt brandskydd. För översiktsbild av röntgenavdelningen på sjukhuset se Figur 2.

Trapphuset på avdelningen bör vara brandcellsindelad, men detta framgick inte under platsbesöket. Då detta inte påverkar utrymningen från själva avdelningen kommer detta inte att undersökas närmre.



Figur 2. Planritning för röntgenavdelningen där nödutgångar samt brandcellsgräns är markerad.

På avdelningen finns flera väntrum där soffor, stolar, bord och inredning finns utplacerat. Förutom dessa väntrum finns även ett väntrum för sängliggande patienter utmed korridoren som ses i övre delen av Figur 2. Utöver väntrummen finns förråd, kontor, toaletter, personalrum, manöverrum, reception, labb, elnischer, omklädning, kapprum och vilorum med mera. I dessa rum finns olika typer av inredning och teknisk utrustning vilket gör att förutsättningarna för en möjlig brand i respektive rum skiljer sig åt.

Det som utmärker avdelningen är att där finns en magnetröntgen. Att plötsligt avbryta magnetröntgen är både dyrt, komplicerat och tar lång tid. Det sistnämnda är intressant ur ett utrymningsperspektiv då det ökar den totala utrymningstiden för avledningen.

## 2.2 Personal och patienter

Under dagtid befinner sig ungefär 30 patienter, lika många anställda, samt ett antal anhöriga på avdelningen. Av dessa kan fem patienter antas vara sängliggande, vilket framgick vid intervjuer under platsbesöket. Under nattetid finns två sköterskor i beredskap, då endast akuta fall behandlas under natten. Sängarna som patienterna använder på avdelningen är 1,1 meter breda. På avdelningen får patienterna själva se till att de registreras när de anländer till avdelningen. De patienter som ej förmår att registrera sig själva vid ankomst registreras av den person i personalen som transporterat sängen med patienten dit. Registreringen görs på datorer. (Berggren, 2016)

## 2.3 Befintligt brandskydd

Nedan redogörs det befintliga brandskyddet på röntgenavdelningen vid Värnamo sjukhus.

### 2.3.1 Detektionssystem

På sjukhuset finns det adresserbara detektorer som på röntgenavdelningen finns i samtliga utrymmen förutom på toaletterna. Detta innebär att varje detektor skickar specifik information

vilket gör det enkelt för personalen på sjukhuset att lokalisera branden. Detektorerna på avdelningen är optiska rökdetektorer förutom de i tvättrummet och sköljrummet där värmedetektorer är installerade.

### 2.3.2 Larmsystem

När en detektor aktiveras eller om någon person manuellt trycker in en larmknapp så kopplas larmet automatiskt till räddningstjänsten. Eftersom ingen larmlagring sker har personalen ingen möjlighet att avbryta larmet. Larmet från detektorn skickas även till den gemensamma sambandscentralen på sjukhuset, där informationen ska bearbetas för att möjliggöra en tidig insats av personal på sjukhuset.

Detektorerna på sjukhuset är även kopplade till brandförsvarstablåerna på sjukhuset. Dessa är placerade vid entréerna på sjukhuset för att räddningstjänsten enkelt ska kunna lokalisera var branden har uppstått när de anländer till platsen.

### 2.3.3 Sprinklersystem

På röntgenavdelningen finns idag inget sprinklersystem. Då sjukhuset stod färdigt 1976 fanns det inget krav på sprinklersystem på avdelningen. Allt eftersom ombyggnationer har skett på andra avdelningar har det också installerats sprinkler. Det finns därför redan två sprinklercentraler installerade i byggnaden som är utformade till klassen boendesprinkler.

### 2.3.4 Allmänt brandskydd

Röntgenavdelningen är utrustad med skumbrandsläckare längs de allmänna korridorerna samt koldioxidsläckare i korridoren i mitten där röntgenutrustningen finns. För placering av brandsläckare se Figur 3. Det finns även brandfiltar utplacerade på avdelningen.

### 2.3.5 Systematiskt brandskyddsarbete

Vid nyanställning av personal får den nyanställda genomgå en arbetsplatsintroduktion där brandskydd samt rutiner vid brand går igenom. En checklista ska även undertecknas "*Checklista vid introduktion i brandkunskap på arbetsplatsen*", se Bilaga A.

### 2.3.6 Brandcellsindelning

Hela röntgenavdelningen är indelad i en större brandcell av klass EI30, se Figur 2. Brandceller i sjukhus ska vara av klass EI60 (Boverket, 2013).

### 2.3.7 Utrymning

I brandcellen finns fem dörrar som leder ut, varav fyra är uppmärkta som utrymningsvägar med skyltar i avdelningens korridorer. Personalrummet som finns längst upp till vänster i samma figur har även en nödutrymningsskylt uppsatt inne i rummet, men är inte skyltad till utifrån.

Under platsbesöket noterades även att nödutgång 1 var mycket svår att öppna och hade ett olämpligt beslag. De nödutgångar som dokumenterades vid platsbesöket överensstämmer ej med de som är markerade på den utrymningsplan som finns i lokalen, se Figur 3.



Figur 3. Röntgenavdelningens utrymningsplan.

Vid brand har all personal gemensamt ansvar att utrymma och se till att ingen är kvar i avdelningen. Inga rutiner finns för övning av utrymning och det var flera år sedan en utrymningsövning gjordes. Vid utrymning finns inga klara rutiner för hur uppsamling görs eller för kontroll av att alla har kommit ut.

### 2.3.8 Räddningstjänst

I Värnamo kommun finns idag en brandstation. Stationen är en heltidsstation vilket innebär en anspänningstid på 90 sekunder. Brandstationen är i dagsläget bemannad dygnet runt av tre brandmän, en styrkeledare samt en insatsledare. Vid räddningstjänsten i Värnamo tjänstgör även två deltidsbrandmän, där en av deltidsbrandmännen åker som första insatsperson i ett eget fordon. Den andra deltidsbrandmannen har tio minuter på sig att ta sig till brandstationen (Kauppinen, 2016). Körtiden för räddningstjänsten uppskattas vara ungefär fyra minuter (Björk, 2016). Då räddningstjänsten anländer till sjukhuset antas de påbörja en insats på avdelningen där dem förväntas vara behjälpliga vid utrymning.

### 3. Teori

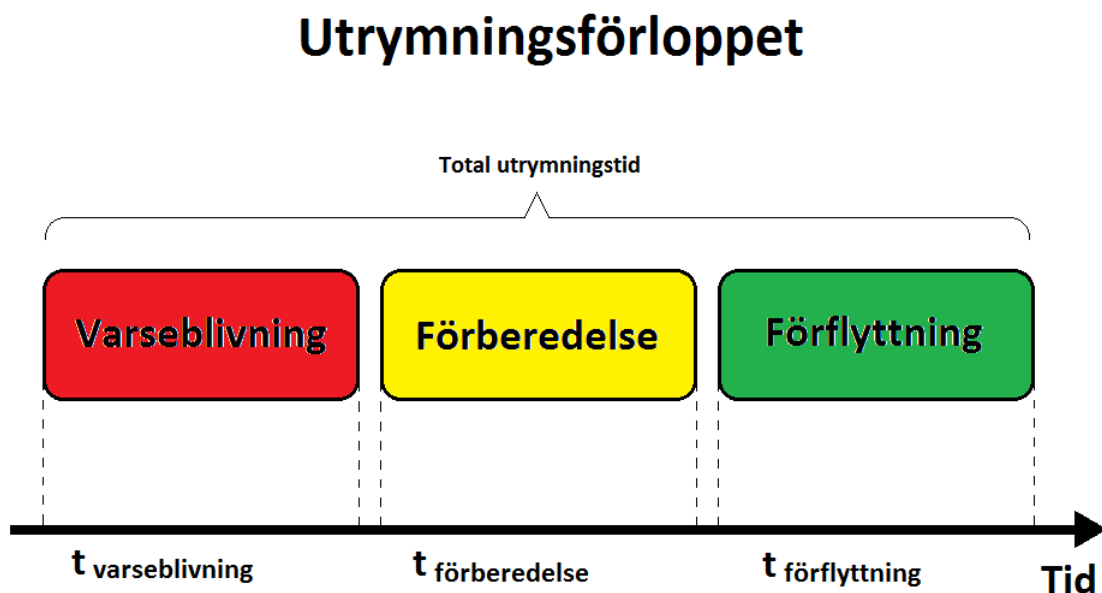
I följande avsnitt av rapporten presenteras nödvändig teori som ligger till grund för den brandtekniska riskvärderingen.

#### 3.1 Utrymning

För att utvärdera om en byggnad är säker ur ett brandtekniskt perspektiv måste möjligheten till säker utrymning beaktas. I följande avsnitt beskrivs hur olika faktorer påverkar tiden för utrymning och hur den kan beräknas.

##### 3.1.1 Utrymningsförlopp

För att kunna genomföra säker utrymning i byggnaden krävs att tiden för att evakuera byggnaden är kortare än tiden tills att kritiska förhållanden med avseende på skadekriterierna råder. För att skatta den totala utrymningstiden brukar utrymningsförloppet delas in i de tre faserna varseblivning, förberedelse och förflyttningstid. De tre faserna är samtliga beroende av ett antal olika faktorer som påverkar den totala utrymningstiden. I detta avsnitt redogörs hur tiden för utrymning av en byggnad kan beräknas, se Figur 4.



Figur 4. Schematisk bild över de olika faserna som ingår i utrymningsförloppet. Det totala utrymningsförloppet delas in i de tre faserna varseblivningstid, förberedelsestid samt förflyttningstid.

##### 3.1.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid som hinner fortlöpa från det att en brand startar tills att man har blivit medveten om att någonting inte är som det ska. Varseblivningstiden beror mycket på hur tidigt en detektor kan förväntas upptäcka branden och starta utrymningslarmet. Lokalens utformning kan också påverka tiden för varseblivning. En stor öppen lokal ökar chanserna för att upptäcka branden då överblickbarheten ökar. (Frantzich, 2001)

### 3.1.3 Förberedelsetid

Förberedelsetiden är den tid det tar för en person att från att man har insett att förhållandena i byggnaden skiljer sig från det normala tills att man börjar röra sig mot en nödutgång. Detta är precis som varseblivningstiden beroende av en rad olika faktorer, och de är dessutom mycket svåra att uppskatta på grund av den sociala påverkan från andra människor vid utrymning (Nilsson, 2016).

### 3.1.4 Förflyttningstid

Förflyttningstiden är den tid det tar att förflytta sig från den aktuella platsen tills man befinner sig i säkerhet. Förflyttningstiden är ofta den enklaste delen av utrymningsförloppet att skatta, då osäkerheten i den ingående data som gånghastigheter är relativt små, samt att datorprogram kan användas för simulering av utrymningsförloppet. (Frantzich, 2001)

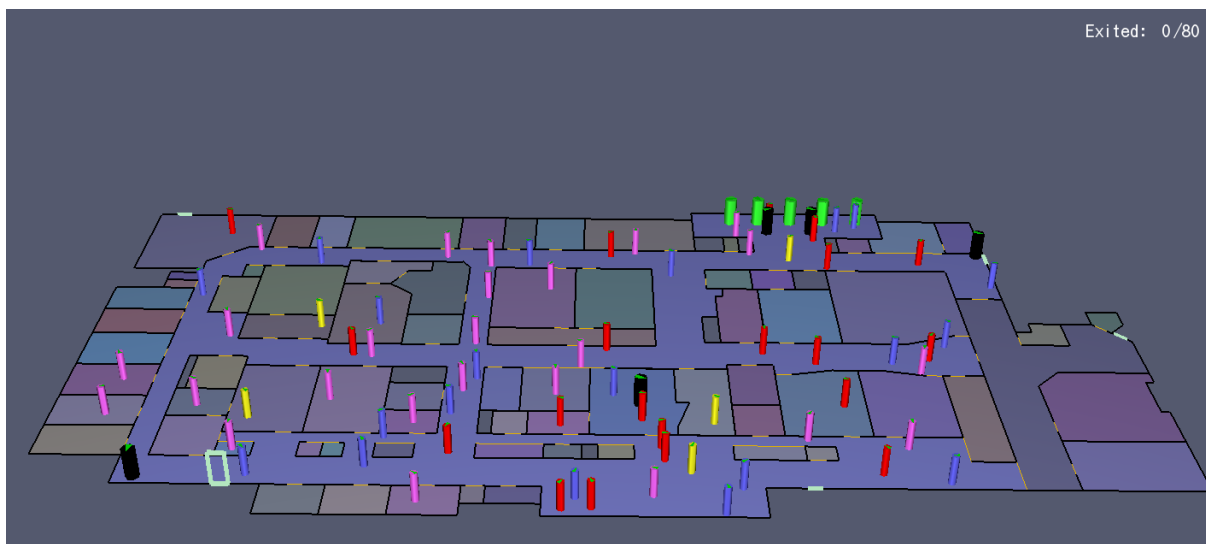
### 3.1.5 Patienter

Det råder stor skillnad mellan patienternas förmåga att evakuera en byggnad vid brand. Generellt så brukar man skilja på patienter som kan gå själva och patienter som kräver hjälp från en annan människa för att kunna utrymma. Dessutom finns det en stor variation bland patienter i förberedelsetid som krävs innan utrymningen kan påbörjas. Denna förberedelsetid kan bero på vilken sjukdom patienten har samt vilken medicinsk behandling patienten får. I vissa fall kan även förberedelsetiden inkludera att sjukvårdspersonalen måste avsluta och fränkoppla medicinsk utrustning från patienten. Förberedelsetiden inkluderar även den tid det kan ta att flytta en patient från en säng till en rullstol, sätta på patienten kläder eller tid för patienten att samla ihop sina saker/tillhörigheter. Patienterna på sjukhuset definieras på olika sätt utifrån deras förmåga att utrymma själva. Patienterna kan delas in i följande kategorier: (Alonso, 2014)

- Typ 1 – Patient som kan gå själv med nedsatt rörelseförmåga.
- Typ 2 – Patient som inte kan gå själv som behöver assistans av en rullstol eller liknande.
- Typ 3 - Patient som inte kan gå själv som behöver assistans av en sjukhussäng, filt eller liknande och som kan behöva evakueras med hjälp av ”filtdragning”. Det är också möjligt att denna typ av patient är kopplad till någon typ av medicinsk utrustning.

### 3.1.6 Pathfinder

Beräkningarna för hur människor väljer att evakuera en byggnad gjordes i datorprogrammet Pathfinder. I programmet kan parametrar som dörrbredd, förflyttningshastighet, tid till påbörjad utrymning och val av utrymningsväg ingå i simuleringen för att få en så trolig och verklighetsbaserad utrymning som möjligt. Nedan presenteras en figur som visar geometrin av röntgenavdelningen som kommer att ligga till grund för beräkning av människors tid till utrymning, se Figur 5.



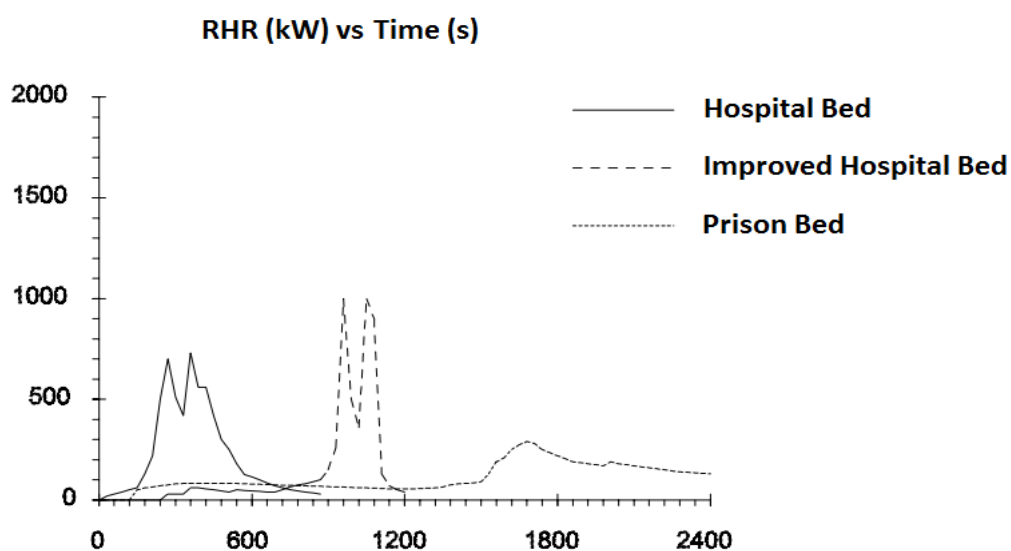
Figur 5. Bild från simuleringsprogrammet Pathfinder. Bilden föreställer avdelningen med patienter och personal utplacerade.

### 3.2 Brandförlopp

För att utvärdera hur lång tid det tar innan förhållandena i en byggnad blir kritiska till följd av brand är brandförloppets karaktär av största vikt. Information angående brandens effekt, tillväxthastighet samt rökspridning är faktorer som kommer påverka hur lång tid det tar tills att förhållandena i byggnaden blir kritiska för människor att vistas i. I detta avsnitt ges en inblick i hur ett brandförlopp påverkar förhållandena i en byggnad.

#### 3.2.1 Effekttutveckling

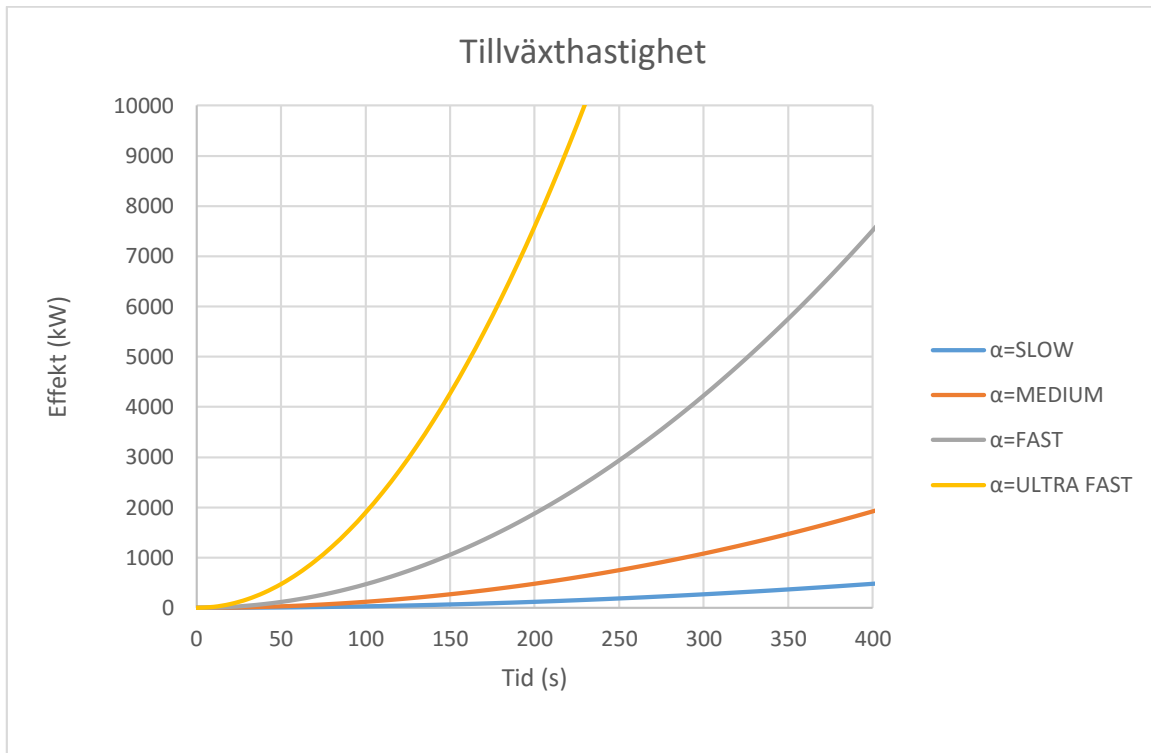
Ett brandförlopp beskrivs ofta med hjälp av en effektkurva som visar hur effekten från en brand varierar med tiden. Brandens effekt är av intresse då detta är avgörande för vilken temperatur som uppnås i rummet där branden befinner sig, samt att brandens effekt är proportionerlig mot vilken mängd brandgaser som bildas i lokalen. I Figur 6 presenteras en bild av en effekttutvecklingskurva (Holmstedt & Kaiser, 1983).



Figur 6. Effekttutvecklingen från brand i tre olika sängar.

### 3.2.2 Tillväxthastighet

För att beskriva hur effektutvecklingen ökar under brandens tillväxtfas kan tillväxten beskrivas med en  $\alpha t^2$  kurva. Beroende på vad som brinner och hur förutsättningarna ser ut kommer effektutvecklingen variera för olika bränder. Hur fort en brand utvecklas och därmed hur fort effekten från branden ökar är avgörande för om personerna i byggnaden hinner utrymma tillräckligt fort. I Figur 7 presenteras ett par vanliga alfavärden för tillväxthastigheten av en brand.

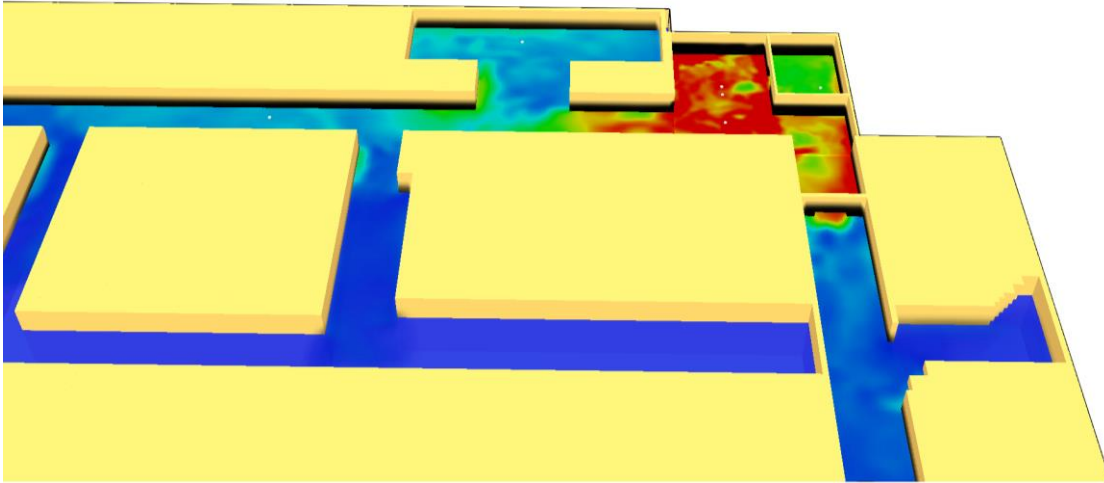


Figur 7. Grafen visar hur tillväxthastigheten av en brand kan beskrivas med en  $\alpha t^2$ -kurva med olika värden för alfa.



### 3.2.3 FDS

När en brand startar i en byggnad är spridningen av rök, temperaturen, strålningen och koncentration av toxiska gaser avgörande för om människor kommer att kunna evakuera lokalen på ett tillfredställande sätt. I detta arbete användes datorprogrammet Fire Dynamics Simulator för att kunna beräkna dessa variabler. Nedan presenteras en bild från FDS som illustrerar temperatur och rökspridning vid en viss tidpunkt, se Figur 8.



*Figur 8. Bilden visar utdata från simuleringen med en slice file för temperaturen i rummet.*

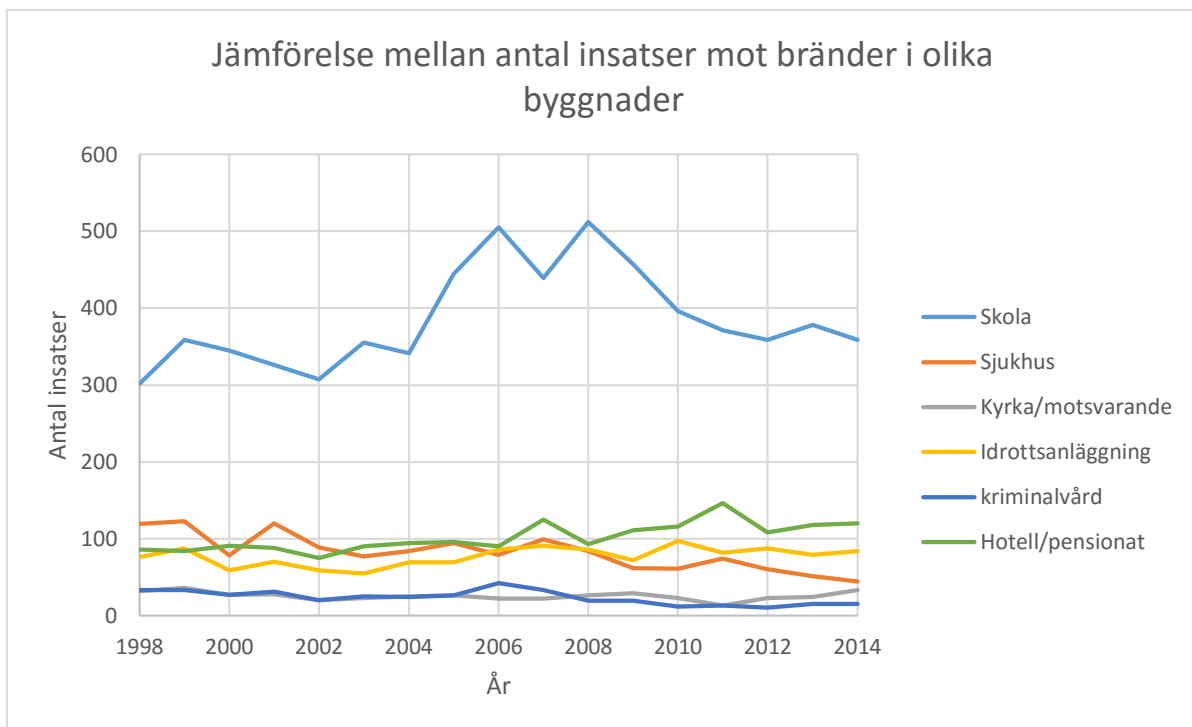
För kontroll av resultaten i FDS se Bilaga I.3 .

## 4. Riskidentifiering

I detta kapitel presenteras det underlag som fått ligga till grund för riskvärderingen.

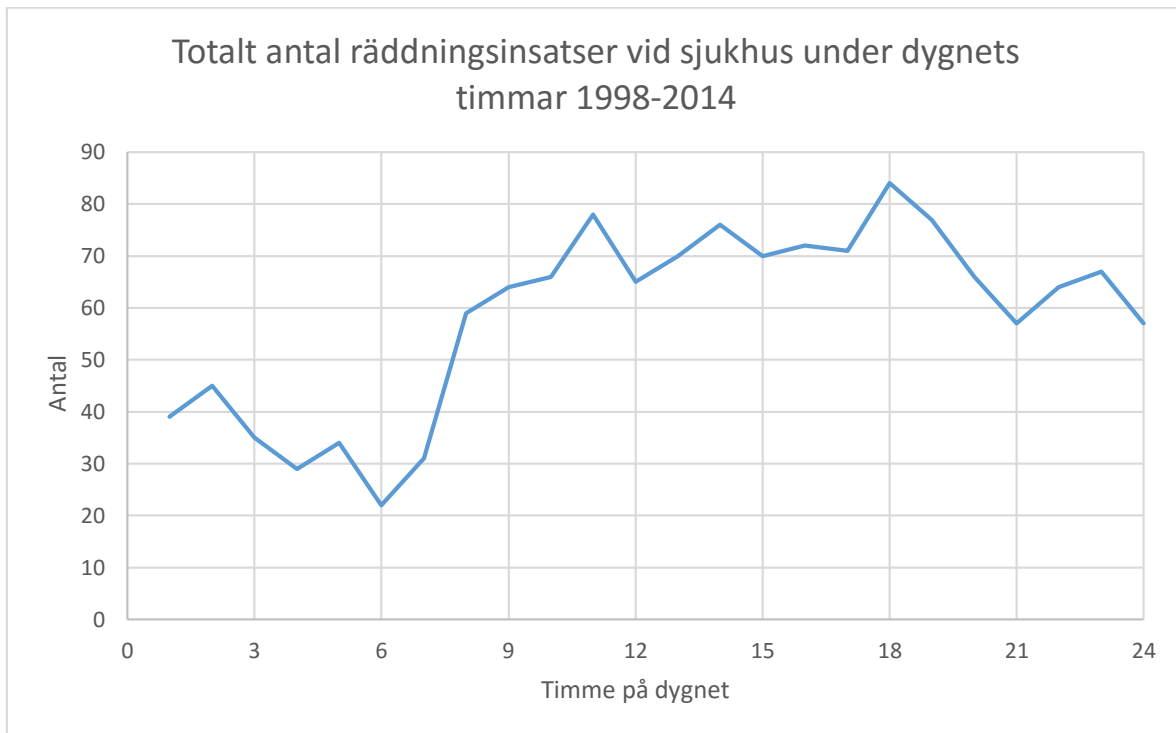
### 4.1 Statistik

Här sammanfattas statistik för att ta fram ett underlag för en sannolikhetsbedömning av respektive brandscenario. Statistiken har sitt ursprung i MSB:s statistikdatabas där samtliga indata härrör tidsintervallet 1998-2014 för samtliga räddningstjänster i Sverige. I Figur 9 ges exempel på jämförelse mellan antalet insatser mot brand i byggnad för olika typer av verksamheter. Beräkningarna är inte viktade med avseende på antal byggnader eller antal personer som vistas i dem. Man kan med detta som underlag dra slutsatsen att bränder i sjukhus inte utmärker sig i förhållande till andra offentliga byggnader. Detta ger en uppfattning om sannolikheten för att brand uppstår.



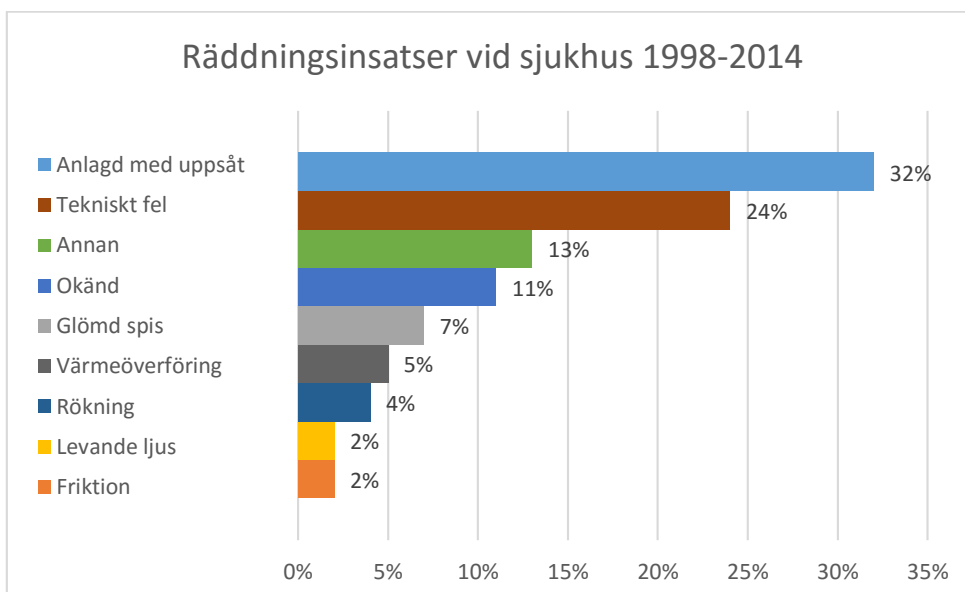
Figur 9. Illustrerar antalet bränder i sjukhus i relation till andra typer av byggnader i Sverige (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016).

I Figur 10 presenteras antalet insatser mot brand vid sjukhus under åren 1998-2014 fördelat under dygnets timmar, där man kan se att det oftast uppstår bränder dagtid.



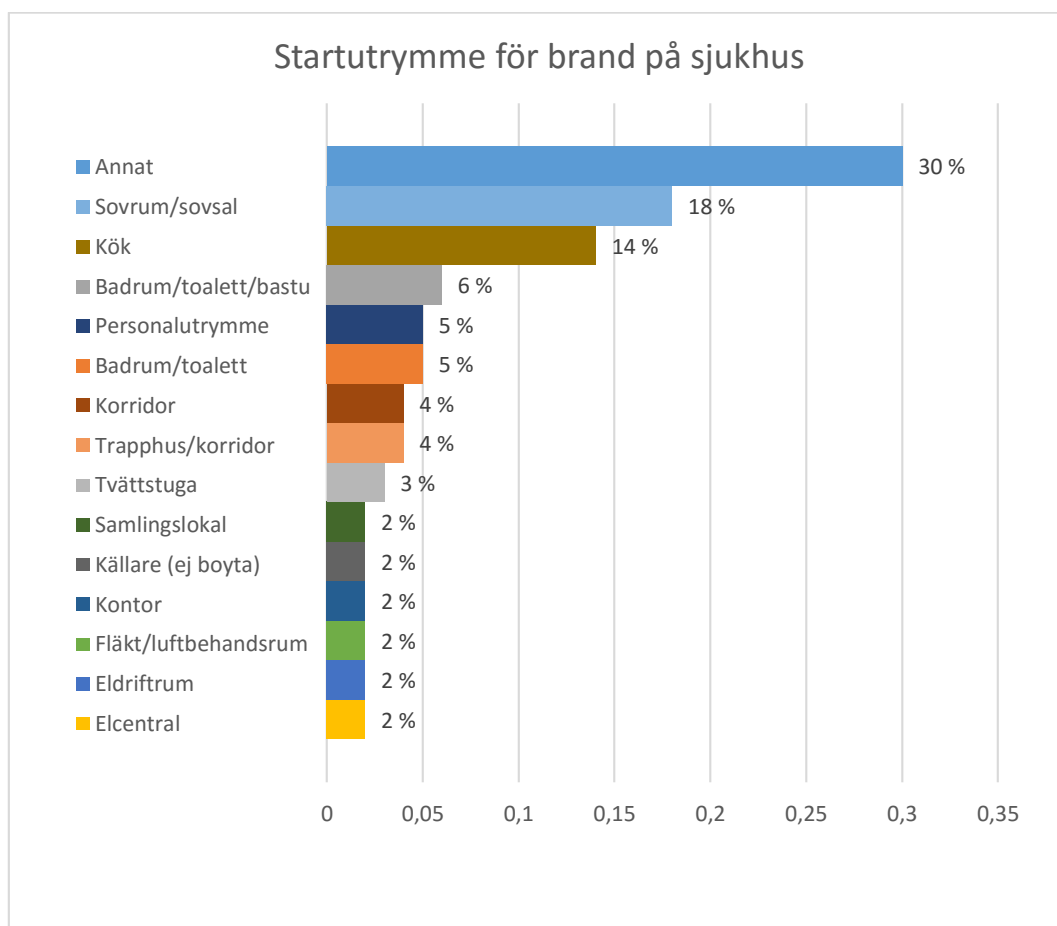
Figur 10. Visar antalet bränder vid sjukhus under dygnets timmar (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016).

I Figur 11 presenteras de vanligaste brandorsaker som lett till att räddningstjänsten påbörjat en insats vid sjukhus i Sverige. Figuren visar att brandorsakerna ”anlagd med uppsåt” samt ”tekniskt fel” är de mest representerade orsakerna till brand på sjukhus i Sverige.



Figur 11. Orsaker till räddningsinsats vid sjukhus i Sverige. Orsaksfall  $\leq 1\%$  är exkluderade från figuren. (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016)

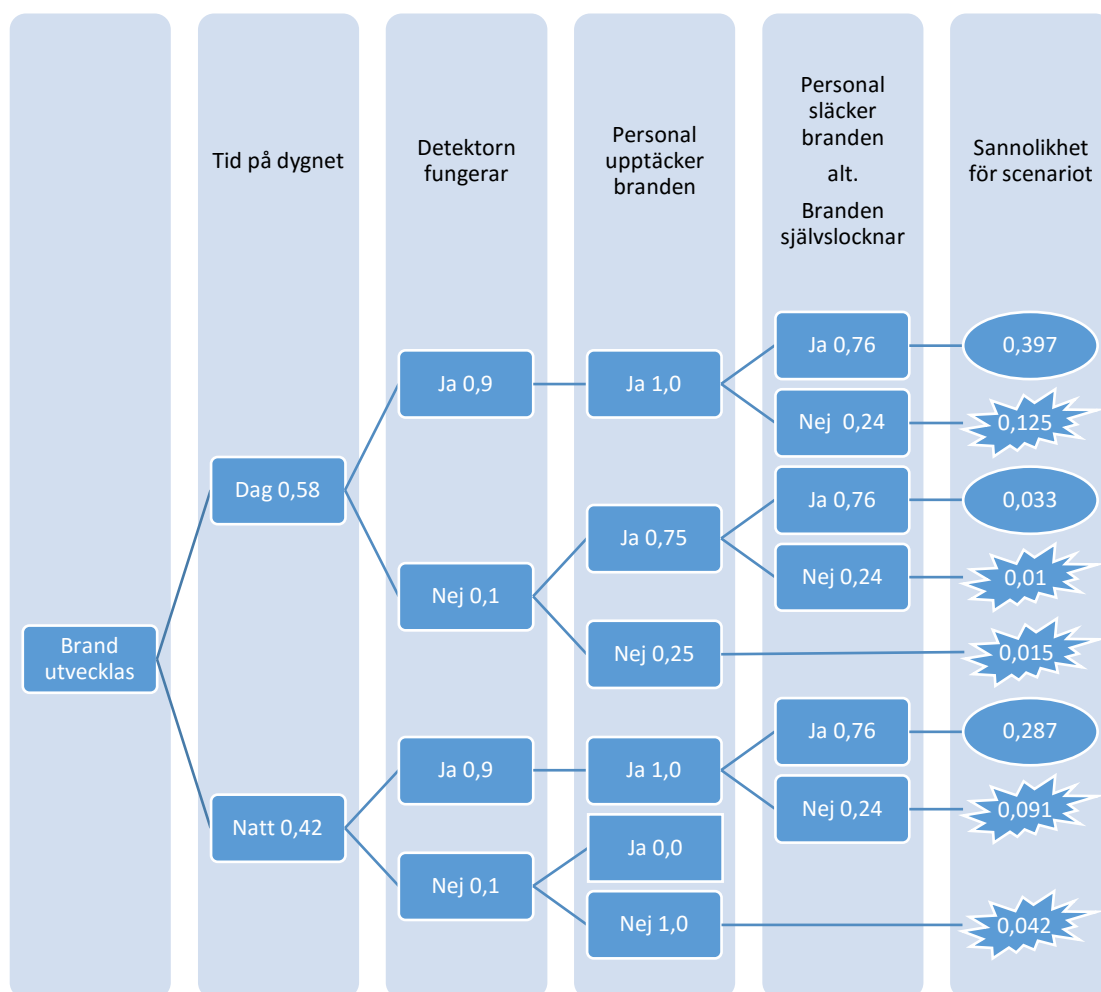
I Figur 12 presenteras statistik från MSB:s databas för brand i olika startutrymmen på sjukhus, där man kan se att ”annat” och ”sovrums/sovsal” är de vanligaste startutrymmena.



Figur 12. Fördelningen för startutrymmen där brand uppstår på sjukhus i Sverige från 1998-2014. Startutrymmen som representerar en sannolikhet  $\leq 1$  % är exkluderade från figuren. (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016)

## 4.2 Sannolikhet för brandutveckling

Figur 13 är ett händelsetråd som ger en översiktlig bild av sannolikheten för att brand ska uppstå och fortsätta utvecklas.



Figur 13. Händelsetråd som ger ett riktvärde av vad sannolikheten kan vara för att en brand utvecklas på röntgenavdelningen. Fallen där branden utvecklas uttrycks med en spetsig form.

Nedanstående text beskriver de ingående parametrarna för händelsetrådet från tid på dygnet till sannolikhet för scenariot.

Statistik visar att brand uppstår mer frekvent på dagen än på natten i sjukhusmiljöer (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016). Skillnaden mellan dag och natt sätts till när det är fler än åtta i personal på röntgenavdelningen och när det endast är två i personalen. Se Bilaga B - Sannolikhet för brandutveckling för beräkning.

Den sammanslagna sannolikheten för att rökdetektor och värmedetektor ska fel fungera ligger på 10 % per detektor (Johansson, 1999). Detta innebär att brandlarmet inte kommer att varna för branden så att en utrymning kan påbörjas. Specifikt för värmedetektorer är felsannolikheten 8,6 % medan det för rökdetektorer ligger på 13 %.

Då personalantalet skiljer sig mellan två personer på natten till 30 personer på dagen kommer det ge olika möjligheter till att hitta branden innan detektorer aktiveras eller ifall detektorer inte

aktiverar alls. Enligt en tidigare studie genomförd i samma typ av byggnad kan det uppskattas till cirka 75 % sannolikhet att personalen hittar en brand ifall det är fler än åtta i personalen medan det uppskattas till 0 % ifall det endast är två personer i personalen (Frantzich, 2001). De framtagna sannolikheterna är baserade på sjukhuspersonal i en lokal som inte är lättöverskådlig vilket är fallet på röntgenavdelningen. Det antas i händelseträdet att personalen kan lokalisera branden ifall en detektor aktiverar.

Det finns en chans att patienterna själva upptäcker branden innan branddetektorerna aktiverar. Om detta inträffar finns larmknappar installerade. Det antas dock att tiden det skulle ta för detektorn att aktivera inte skulle vara avsevärt längre, på grund av avdelningens trånga geometri och avstånd till larmknapparna.

Ifall personalen upptäcker en brand finns det även en sannolikhet på cirka 76 % att de kommer att kunna släcka branden (Johansson, 1999). Det ska dock beaktas att sannolikheten att branden självslocknar är medräknat i detta, men det påpekas också i rapporten att den vanligaste anledningen till branden slocknar är en insats från personalen.

Den sammanlagda sannolikheten att branden utvecklas utan att någon släcker den beräknas till cirka 28 % för en godtycklig brand på avdelningen.

Sannolikheten för varje scenario och den sammanlagda sannolikheten ska betraktas som en möjlighet att bilda sig en uppfattning om att en brand utvecklas och ska inte ses som ett absolut värde.

### 4.3 Grovanalys

I följande avsnitt presenteras möjliga brandscenarier på röntgenavdelningen som identifierats under platsbesöket. Varje enskilt brandscenario värderas också utifrån i vilken omfattning de förväntas påverka säkerheten för människorna på avdelningen.

#### 4.3.1 Inventering av brandscenarier

För att värdera de olika brandscenarierna med avseende på risk har en modell med olika kriterier tagits fram för att skatta konsekvens respektive sannolikhet. Modellen bygger på att bryta ner de två beståndsdelarna sannolikhet och konsekvens, som ligger till grund för risken, till mindre beståndsdelar för att på ett enklare sätt kunna skatta dem. Nedan följer de kriterier som använts för att på ett enkelt och systematiskt sätt värdera risken för respektive brandscenario.

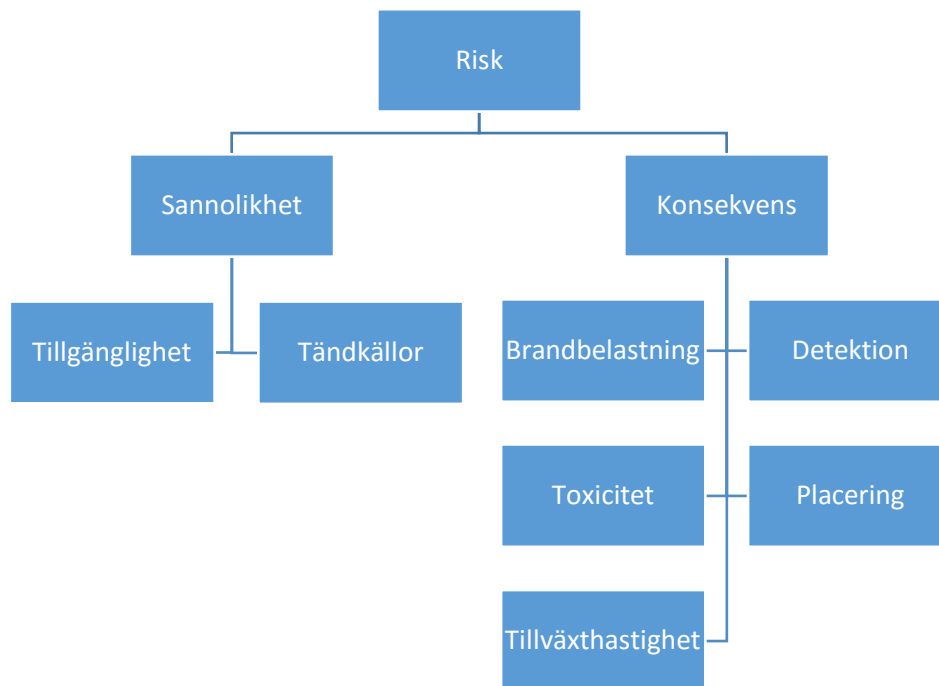
**Sannolikhet** – Hur troligt är det att en brand uppstår?

- **Tillgänglighet** – Vilka människor har tillgång till utrymmet med avseende på anlagd brand?
- **Tändkällor** – Finns det tändkällor i utrymmet? Hur många tändkällor finns det?
- **Statistik** – Vad säger statistiken om frekvensen för brand i detta utrymme?

**Konsekvens** – Hur kommer möjligheterna till säker utrymning påverkas?

- **Brandbelastning** – Finns det brännbart material i utrymmet? Är brandbelastningen hög?
- **Tillväxthastighet** – Typ av brännbart material i utrymmet? Finns det risk att brandeffekten ökar snabbt?
- **Toxicitet** – Vilka produkter bildas vid förbränningen?
- **Detektion** – Finns det möjlighet att upptäcka branden i ett tidigt skede? Finns det detektor i utrymmet?
- **Placering** – Var i byggnaden ligger utrymmet? Finns det risk att en brand i utrymmet reducerar antalet tillgängliga utrymningsvägar?

Figur 14 ger en överblick av hur konsekvens och sannolikhet har skattats.



Figur 14. Schematisk bild över hur konsekvensen och sannolikheten har skattats.

Nedan presenteras de brandscenarier som identifierats efter att röntgenavdelningen inspekterats vid platsbesöket, se Tabell 3. En beskrivning av varje scenario där konsekvens och sannolikhetsbedömning för respektive scenario görs finns i Bilaga C.

Tabell 3. Översikt över varje scenarios sannolikhet och konsekvens

Scenario	Rum	Typ	Plan	Sannolikhet	Konsekvens
1		Arkiv	1	2	4
2	033/036	Väntrum	2	5	8
3	077	Installationsgolv	2	3	7
4	095	Data & elrum	2	3	7
5	014	Reception	2	3	8
6	022	Kapprum	2	4	8
7	038	Väntrum sängar	2	6	8
8	101	Personalrum	2	9	3
9	102	Data	2	3	4
10	089	Förråd	2	1	7
11	100	Klädskåp	2	2	6
12	098	Tvätttrum	2	7	8
13	074	Sköljrum	2	4	7
14	109	Expedition	2	3	4
15	133	Toalett	2	5	3
16	082	Elnisch	2	5	9

I Figur 15 illustreras även var de olika utrymmena för respektive scenario är belägna i byggnaden.



Figur 15. Översikt av var i byggnaden de olika scenariona utspelar sig. Den rosa ytan avser installationsgolvet som sträcker sig genom hela manöverkorridoren på avdelningen. De blå ytorna illustrerar placeringen av identifierade brandscenarier.



När respektive scenario tilldelats konsekvens och sannolikhet användes en riskmatris för en jämförelse mellan alla scenarier, se

Figur 16.

<b>Konsekvens</b>	<b>Mycket allvarlig</b>	<b>10</b>										
		<b>9</b>					<b>16</b>					
	<b>Allvarlig</b>	<b>8</b>			5	6	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>12</b>			
		<b>7</b>	<b>10</b>		4,3	13						
		<b>6</b>		<b>11</b>								
	<b>Besvärande</b>	<b>5</b>										
		<b>4</b>		1	9,14							
		<b>3</b>					<b>15</b>			8		
	<b>Lindrig</b>	<b>2</b>										
		<b>1</b>										
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
<b>Sannolikhet</b>												
			<b>Mkt liten</b>	<b>Liten</b>			<b>Viss</b>			<b>Stor</b>		

Figur 16. Riskmatris där de identifierade brandscenarierna presenteras. Riskmatrisen ligger till grund för de brandscenarier som valdes att arbeta vidare med.

## 5. Brandscenarier för vidare analys

Utifrån de identifierade brandscenarierna valdes fyra scenarier som bedömdes höga i både sannolikhet och konsekvens. Dessa brandscenarier täcker in olika delar av röntgenavdelningen, samtidigt som de behandlade ett varierat antal brandorsaker. På så vis täcker riskvärderingen så gott som möjligt hela scenariorymden av en stor mängd olika bränder. Detta innebär att ett fåtal scenarion blir representativa för den totala riskanalysen av avdelningen.

### 5.1 Scenario 2, brand i väntrum

Väntrummet är lokaliserat nära nödutgång fyra och har en relativt stor mängd brännbart material i form av möbler och övrig inredning. En brand i väntrummet förväntas resultera i att förhållanden vid nödutgång fyra tidigt blir kritiska. I väntrummet finns även ett avskilt utrymme avsett för barn vilket gör scenariot mer komplext då det inte kan förväntas att barn kommer att agera som en vuxen person vid brand (Niklasson, 2013). Väntrummet har en hög tillgänglighet samt en stor omsättning av människor vilket medför att sannolikheten för en anlagdbrand ökar.

### 5.2 Scenario 7, brand i sjukhussäng

Sängliggande patienter på avdelningen kan inte antas kunna utrymma själva och kräver därför assistans från sjukhuspersonal. I väntrummet finns det fem platser för sängliggande patienter. Detta scenario avgränsas till att endast studera strålningen från branden då rökspridningen kan förväntas vara likartad med scenario 2, brand i väntrum som är placerat i rummet bredvid, se Figur 15. Strålningen undersöks till närliggande patienter i rummet, samt hur strålningen från en brand i en sjukhussäng påverkar möjligheterna för vårdpersonalen att göra en insats. Då skadekriterierna måste uppfyllas för att uppnå en säker utrymning så får inga personer utsättas för en strålning över 3 kW/m<sup>2</sup>. Se Figur 17 för bild på sängväntrummet.



Figur 17. Översikt av väntrummet för sängar.

### 5.3 Scenario 12, brand i tvättrum

Rummet med vitvaror innehåller bland annat strykjärn, torktumlare och torkskåp som kan agera som eventuella tändkällor. I tvättrummet finns även stora mängder brännbart material som förvaras i stora garderober, vilket skapar gynnsamma förutsättningar för häftiga brandförlopp. Tvättrummet är utrustat med en värmedetektor i taket, vilket kan innebära en längre tid till aktivering än en optisk rökdetektor. I Figur 18 syns tvättrummet.



Figur 18. Bilder av tvättrummet från platsbesöket vid sjukhuset.

#### 5.4 Scenario 16, brand i elnisch

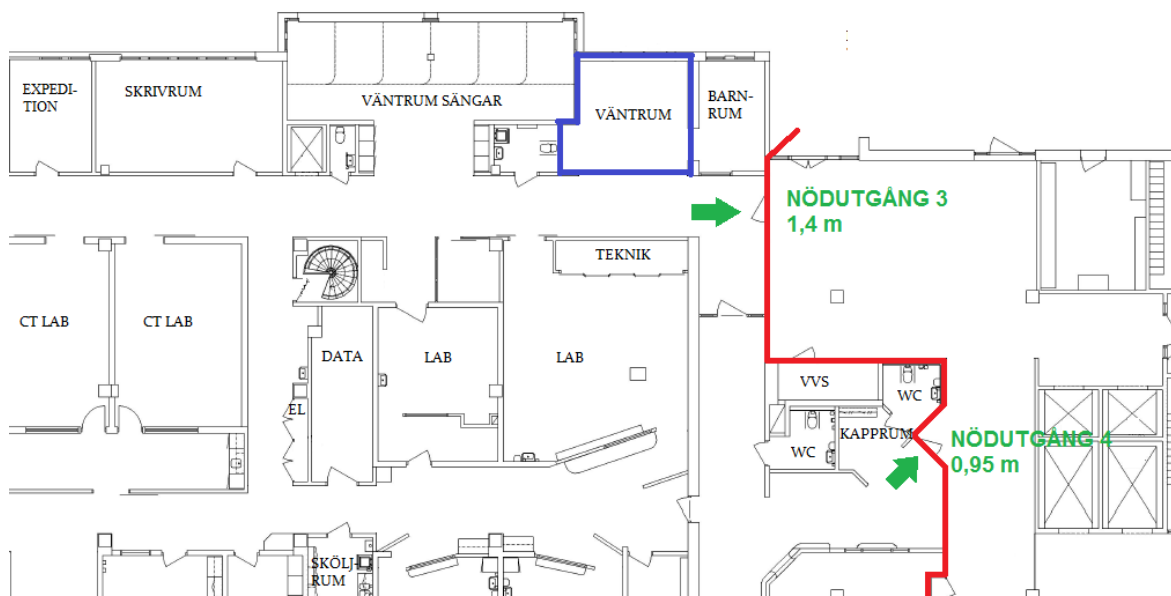
Elnischen är en sammankopplingspunkt för högspänningskablarna till röntgenavdelningen där brand antas kunna förorsakas av ett tekniskt fel. Elnischen har en central placering på röntgenavdelningen och är lokaliserad utanför magnetröntgen. Högspänningskablarna med tjocka plasthöljen kan sprida toxiska gaser vid brand på avdelningen. Vid platsbesöket framgick att personalen som arbetar med magnetröntgen hade dåliga förutsättningar för att påbörja en tidig utrymning, därför blir detta scenario intressant att undersöka närmare. I Figur 19 visas en bild av elnischen från platsbesöket på sjukhuset.



Figur 19. Bild på elnischen från platsbesöket.

## 6. Scenario 2, brand i väntrum

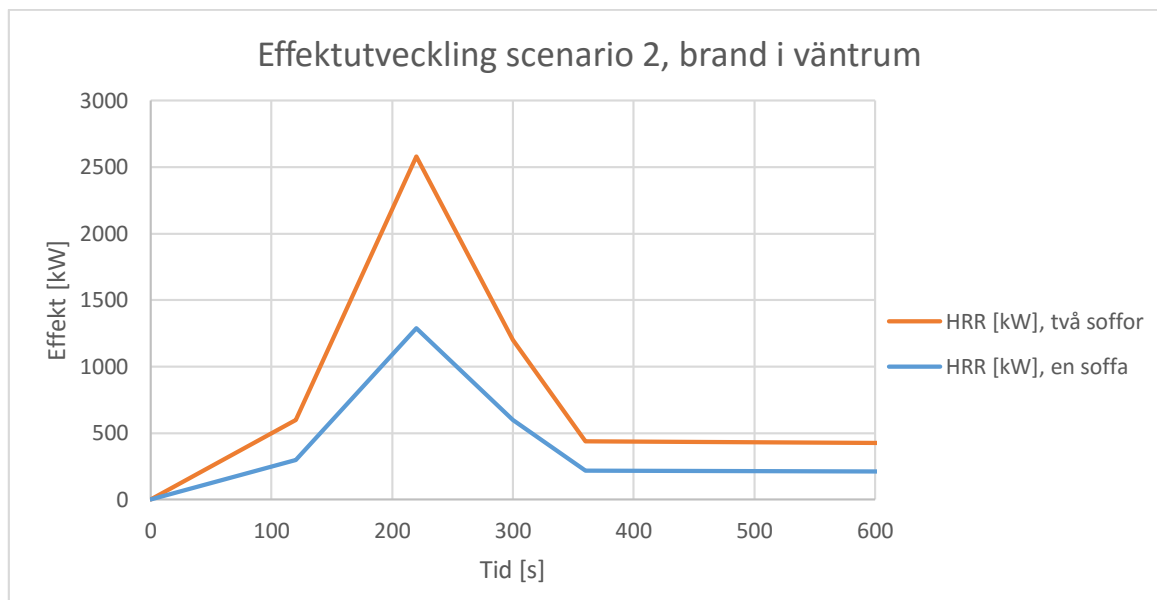
I detta scenario antas en brand starta i en av sofforna i väntrummet. Eftersom rummet ligger i närhet till ingången till avdelningen antas det att branden är anlagd. Då det är svårt att avgöra hurvida branden kommer att sprida sig kommer detta scenario delas in i två delscenarier där effekten från branden kommer att bestämmas efter hur många soffor som brinner. I det ena scenariot antas branden begränsas till endast en soffa, och i det andra delscenariot antas två soffor brinna. Det framtagna förloppet är att branden utvecklas och att ingen kommer och släcker den, den utvecklas alltså utan yttre påverkan. Se Figur 20 där rummet för brandstart är markerat med blått.



Figur 20. Bild över var väntrummet i scenario 2 är lokaliserat på röntgenavdelningen.

### 6.1 Effektkurva

För att beskriva effektutvecklingen har två möjliga bränder studerats med olika maxeffekter. De två olika bränderna representerar dels brand i en soffa och dels brand i två soffor. Soffan gav en effektutveckling enligt Figur 21, där en maxeffekt på cirka 1300 kW uppnås strax efter cirka 3,5 minuter (Mealy & Gottuk, 2013). Då flera soffor finns i väntrummet kommer även möjligheten att två soffor brinner samtidigt i väntrummet beaktas och maxeffekten kan gå upp till cirka 2600 kW.



Figur 21. Effektutvecklingen från en respektive två soffor, där den för två soffor är dubbelt så stor som för en soffa i varje tidssteg.

## 6.2 FDS

Nedan presenteras indata och resultat från simuleringarna i FDS för scenario 2 då brand antas uppstå i väntrummet.

### 6.2.1 Ingående data FDS scenario 2, brand i väntrum

I Tabell 4 nedan presenteras värden för de data som ingår i simulering i FDS för scenario 2, brand i väntrum. För att se hela FDS-koden se Följande bilaga beskriver data som legat till grund för resultaten för scenario 2.

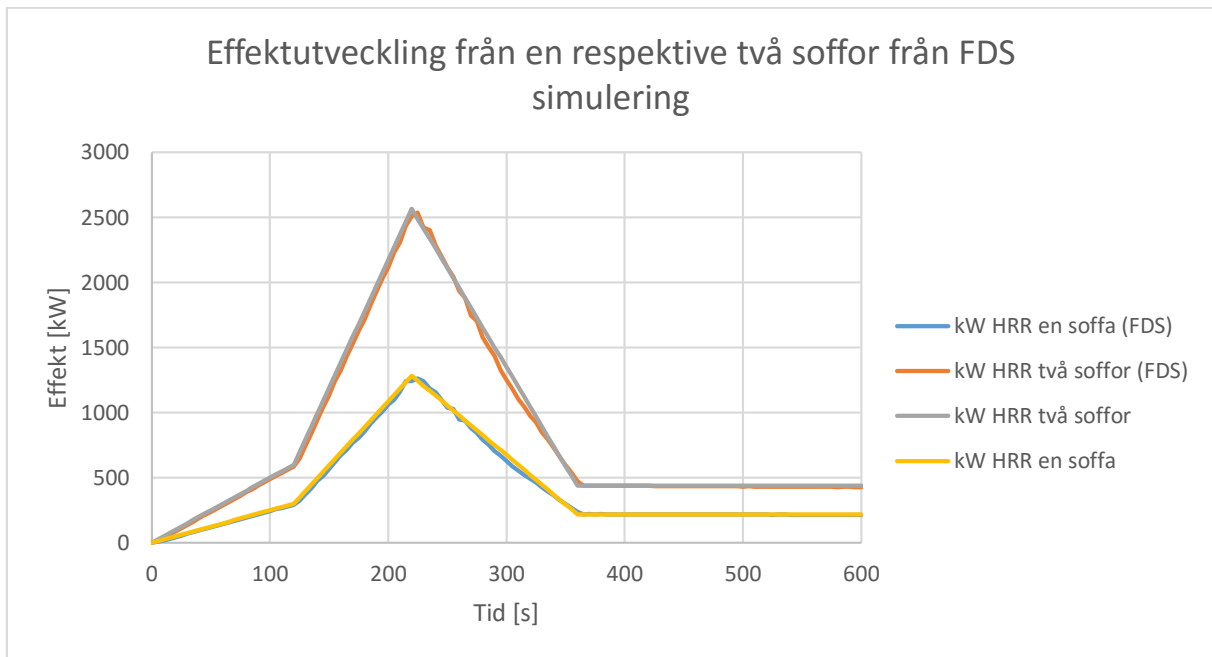
#### Bilaga D.2 FDS.

Tabell 4. Visar de ingående data för simuleringar i scenario 2, brand i väntrum.

Variabel	Värde	Kommentar/källa
<b>Simuleringstid [s]</b>	600	
<b>Förbränningsvärme [kJ/kg]</b>	-	Beräkningsmodell i FDS
<b>Soot-yield [g/g]</b>	0,198	(Mulholland, 2002)
<b>CO-yield [g/g]</b>	0,042	(Mulholland, 2002)
<b>Antal stålningsvinklar</b>	104	
<b>Cellstorlek [m]</b>	0,1-0,2	
<b>HRRPUA [kW/m<sup>2</sup>]</b>	806,0	
<b>Bränsle</b>	C=1 H=1,7 O=0,3 N=0,08	Polyuretan
<b>Yta på brännaren [m<sup>2</sup>]</b>		
– En soffa	1,6	
– Två soffor	3,2	
<b>Maxeffekt [kW]</b>		
– En soffa	1 290	
– Två soffor	2 580	

### 6.2.2 Effektkurva och tid till detektoraktivering i FDS

Nedan presenteras resultaten från effektutvecklingen då brand uppstår i väntrummet från simuleringen i FDS, se Figur 22.



Figur 22. Effektutvecklingen från simuleringen i FDS av scenario 2 då brand uppstår i väntrummet. Figuren visar effektutvecklingen från en respektive två soffor.

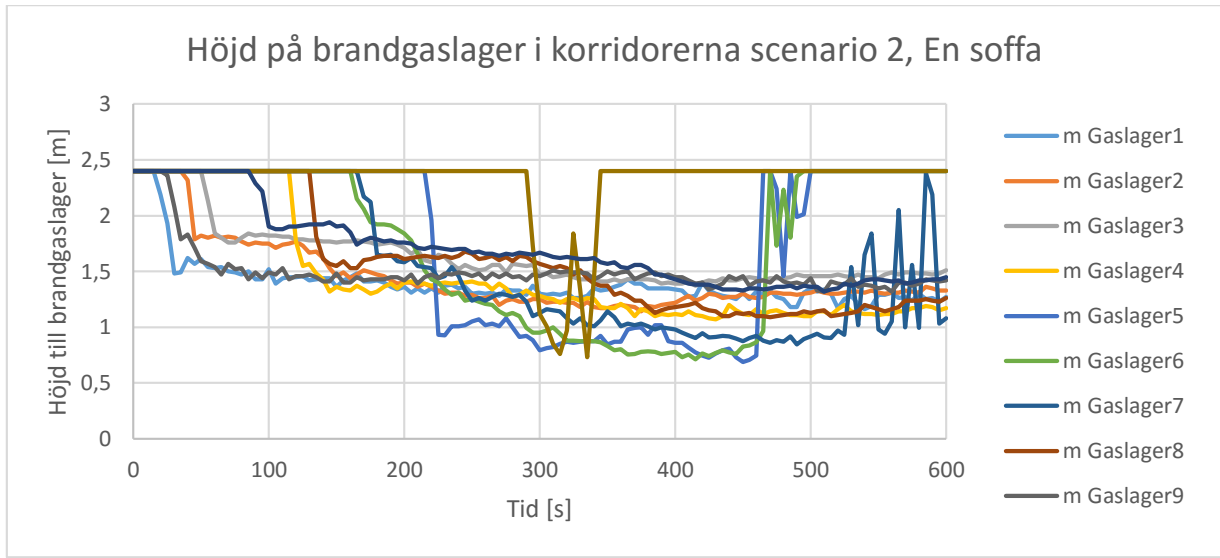
Resultaten i simuleringarna för scenario två visar att rökdetektorn som är placerad i väntrummet detekterar branden efter 75 respektive 55 sekunder för respektive delscenario, se Tabell 5.

Tabell 5. Tiden för detektoraktivering i scenario 2, brand i väntrum, då en respektive två soffor antas brinna.

	En soffa	Två soffor	Kommentar
<b>Tid till detektoraktivering [s]</b>	75	55	Rökdetektor

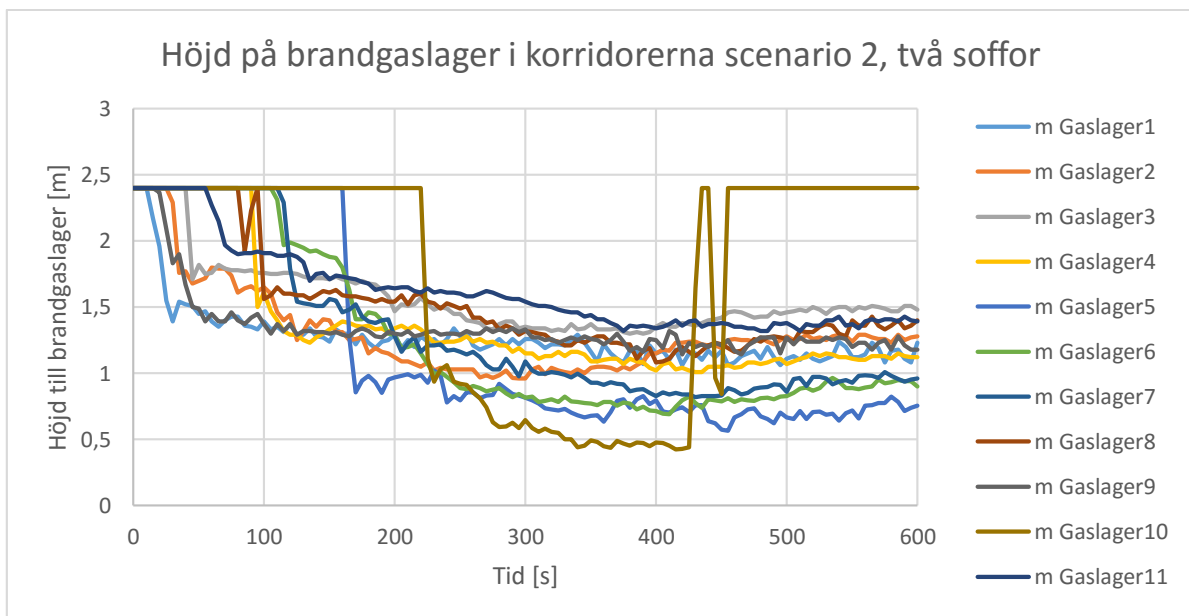
### 6.2.3 Sikt

För att undersöka hur sikten i lokalen påverkas av branden presenteras nedan höjden på brandgaslagret i korridorerna på avdelningen samt en slice file för sikten 1,8 meter ovanför golvet. I Figur 23 presenteras resultatet för höjden på brandgaslagret för elva olika punkter i korridorerna då en soffa antas brinna. Figuren visar hur brandgaslagrets höjd sjunker på röntgenavdelningen för att sedan stabilisera sig mellan 1-1,5 meter över golvet efter cirka 200 sekunder. När brandgaslagret når en tillräckligt låg höjd försvinner röken delvis ut genom de simulerade utgångarna och ett jämviktsläge uppstår. För att se var på avdelningen varje mätpunkt befinner sig, se Bilaga I.2.



Figur 23. Grafen visar hur höjden på brandgaslagret sjunker på röntgenavdelningen över tid.

I Figur 24 presenteras resultatet för höjden på brandgaslagret. Grafen representerar effektutvecklingen då två soffor brinner i väntrummet. Av figuren framgår det hur brandgaslagrets höjd sjunker och stabiliserar sig mellan 0,5-1,5 meter över golvet. Se Bilaga I.2 Placering av mätare för karta över placering av mätarna.



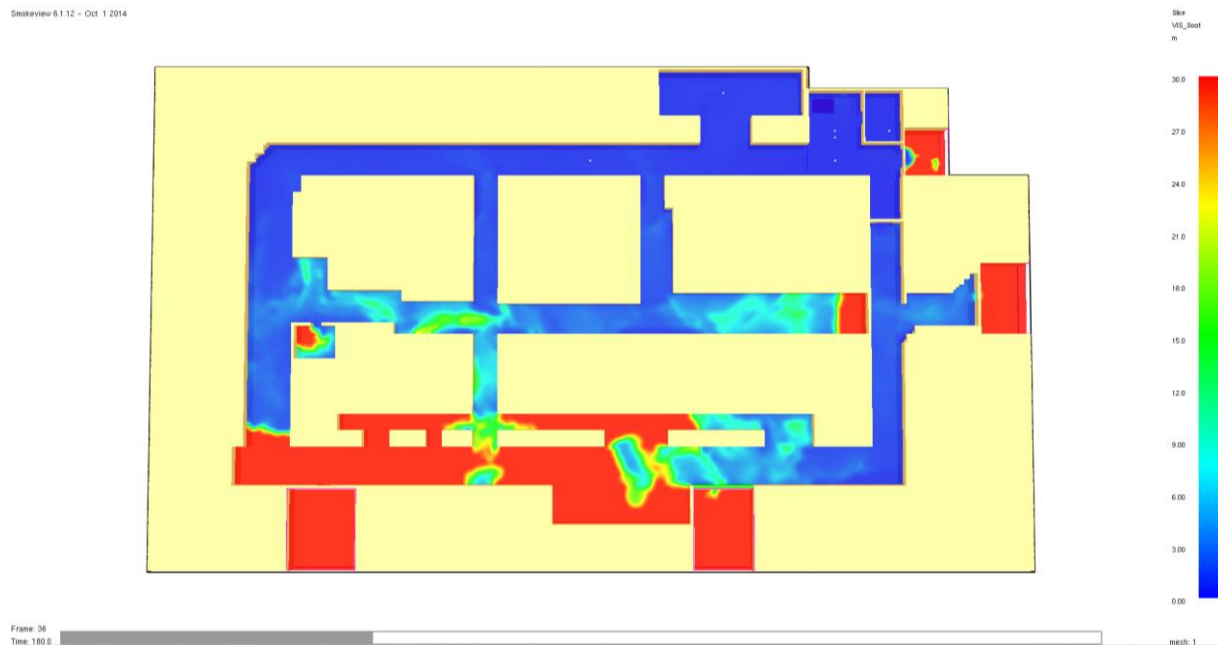
Figur 24. Grafen visar hur höjden på brandgaslagret sjunker på röntgenavdelningen över tid.



I Figur 25 och Figur 26 redovisas slice file Figur 28 på höjden 1,8 meter ovanför golvet då en soffa brinner i väntrummet. Figuren visar sikten i lokalen efter 60 respektive 180 sekunder. Det område som är blått i figuren representerar siktförhållanden  $\leq 5$  meter.

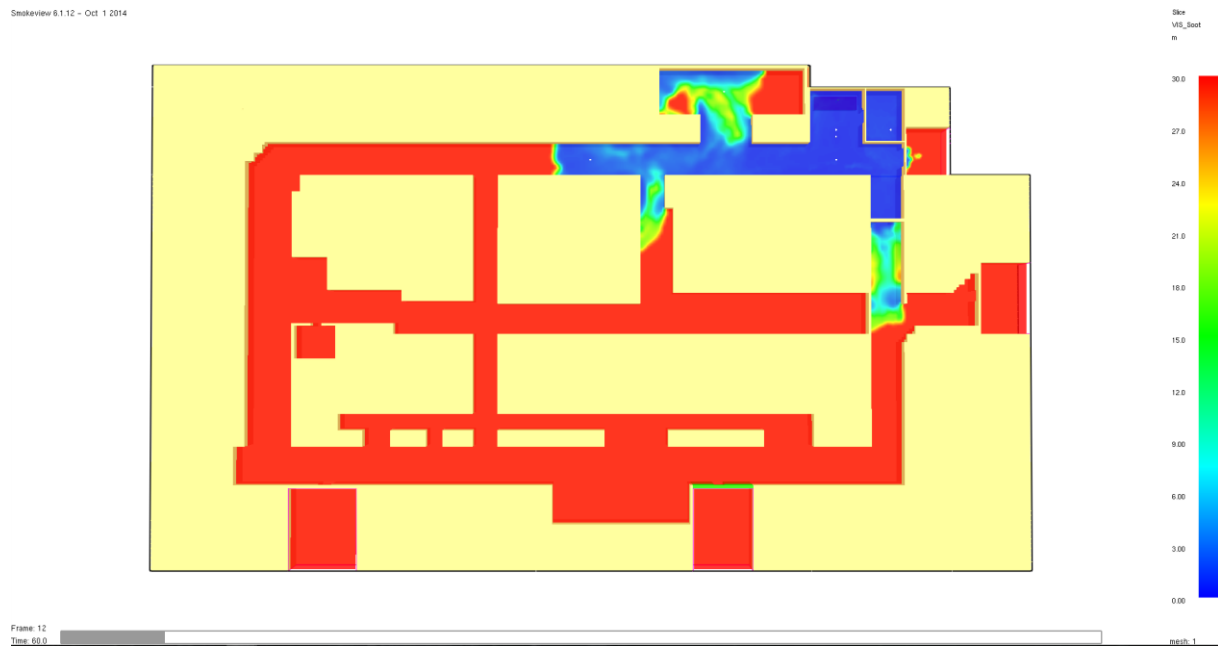


Figur 25. Slice file som visar sikten i fallet då brand uppstår i väntrummet och en soffa brinner efter 60 sekunders brandförlopp.



Figur 26. Slice file som visar sikten i fallet då brand uppstår i väntrummet och två soffor brinner efter 180 sekunder in i brandförloppet.

I Figur 27 och Figur 28 presenteras två slice files som visar sikten på höjden 1,8 meter ovanför golvet då två soffor brinner i väntrummet. Figurerna visar sikten i lokalen efter 60 respektive 180 sekunder. Det område som är blått i figuren representerar siktförhållanden  $\leq 5$  meter.



Figur 27. Slice file som visar sikten i fallet väntrum när två soffor brinner efter 60 sekunder in i brandförloppet.

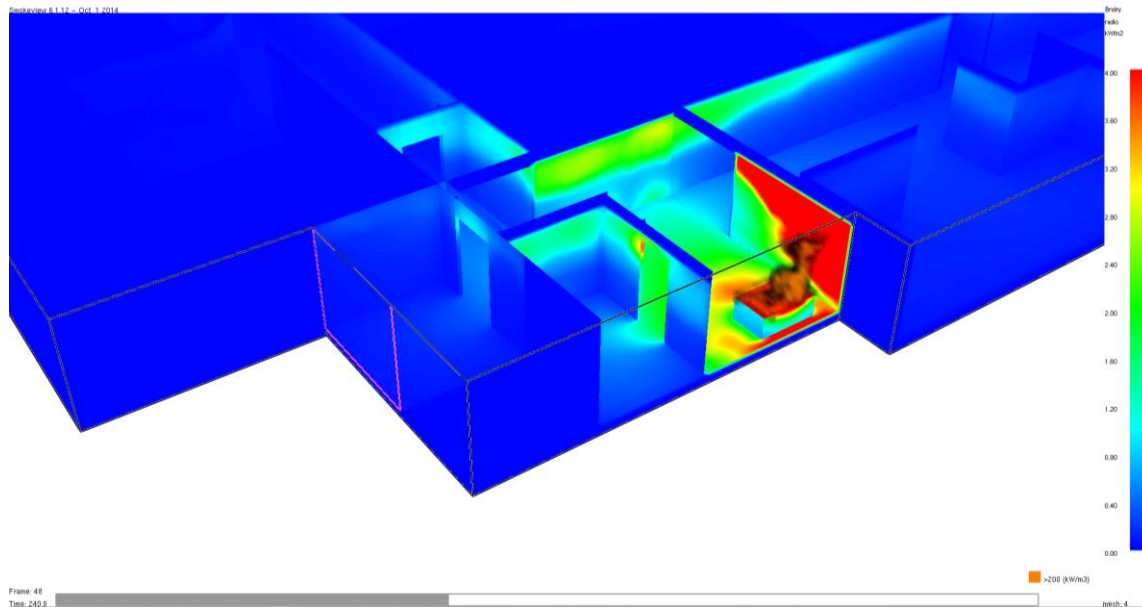


Figur 28. Slice file som visar sikten i fallet väntrum när två soffor brinner efter 180 sekunder in i brandförloppet.

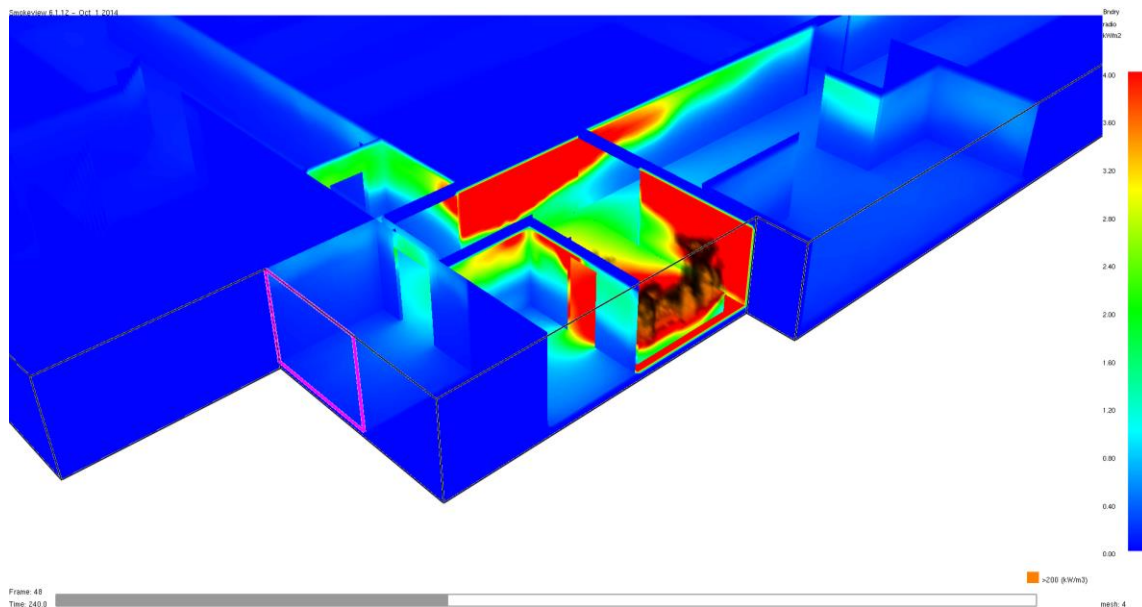
## 6.2.4 Strålning

Nedan presenteras strålningsresultaten från branden i väntrummet. I Figur 29 visas strålningspåverkan på omgivningen då en soffa brinner, och i Figur 30 visas strålningspåverkan på omgivningen då två soffor brinner. Båda bilderna visar förhållanden efter 240 sekunders brandförlopp. På de avstånd som är röda i figuren har skadekriteriet för strålning överstigits. Bilderna visar strålningen då maximal effektutveckling har nåtts, och då strålningen är som högst.

Figur 29



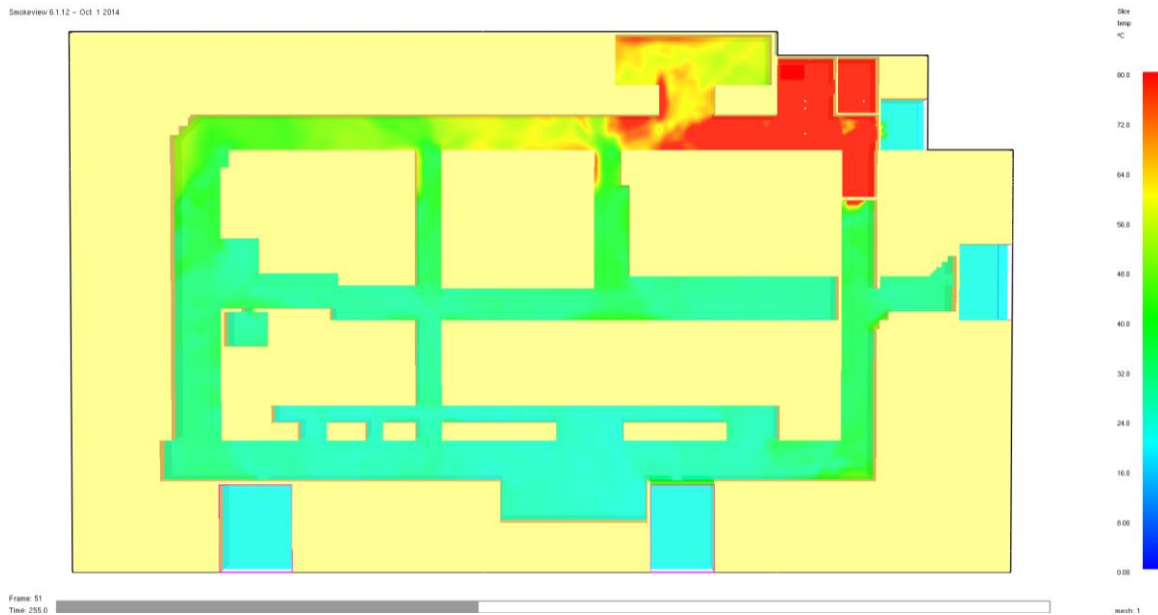
Figur 29. Boundary file synliggör strålningspåverkan från branden i väntrummet när en soffa brinner.



Figur 30. Boundary file synliggör strålningspåverkan från branden i väntrummet när två soffor brinner.

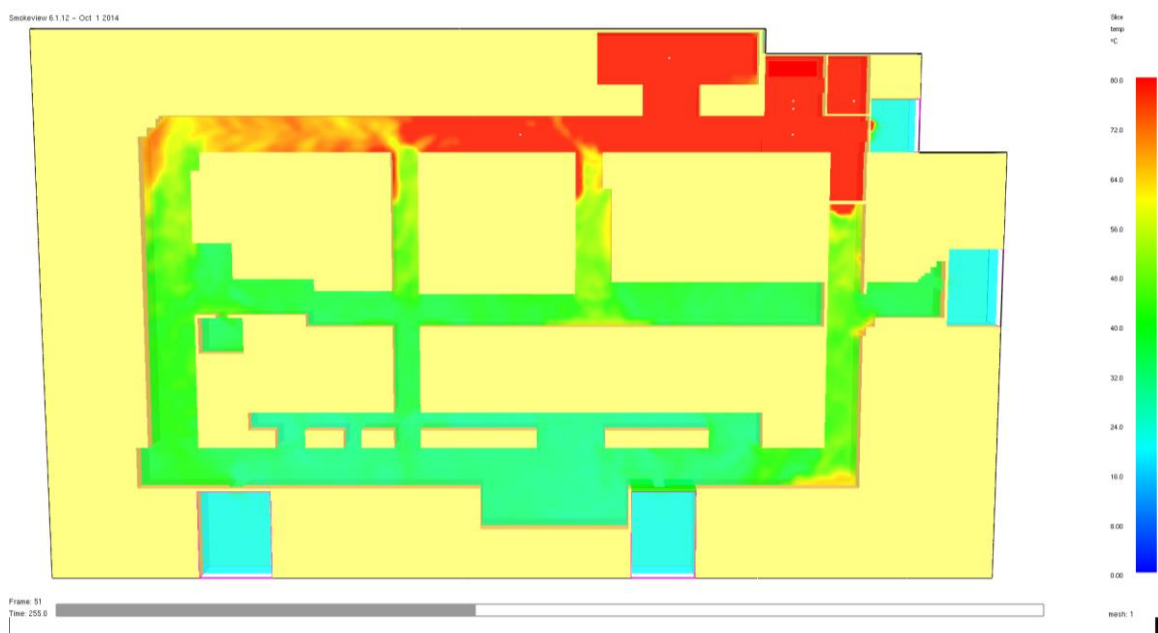
### 6.2.5 Temperatur

Nedan presenteras resultaten från simuleringarna för branden i väntrummet. I Figur 31 visas temperaturprofilen i omgivningen efter 255 sekunders brandförlopp då en soffa brinner. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst. Det område som är rött i figuren representerar områden där temperaturen överstiger 80 °C.



Figur 31. Slice file som visar hur stor del av byggnaden som utsätts för minst 80 °C vid maximal effektutveckling i en brinnande soffa.

Nedan presenteras resultaten från simuleringarna för branden i väntrummet. I Figur 32 visas temperaturprofilen i omgivningen efter 255 sekunders brandförlopp då två soffor brinner. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst. Det område som är rött i figuren representerar områden där temperaturen överstiger 80 °C.



Figur 32. Slice file som visar hur stor del av byggnaden som utsätts för minst 80 °C vid maximal effektutveckling i två brinnande soffor.

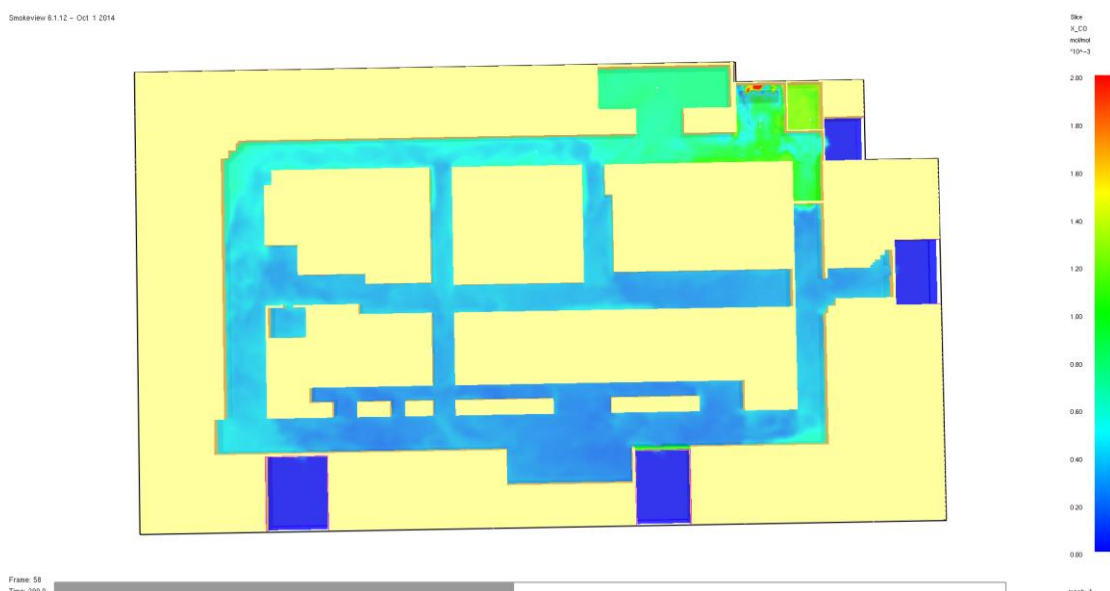
### 6.2.6 Kolmonoxid

Nedan presenteras resultaten från branden i väntrummet. I Figur 33 visas kolmonoxidprofilen i omgivningen efter 290 sekunders brandförlopp då en soffa brinner. Slice filen visar förhållandena vid den tid koncentrationen av kolmonoxid är som högst. Området där det är rött har skadekriteriet på en koncentration av 2000 ppm uppnåtts medan den gröna zonen är 1000 ppm och den blå zonen har koncentrationen 0 ppm kolmonoxid. Alla värden är framtagna för en höjd på 1,8 meter över golvet.



Figur 33. Slice file över kolmonoxidkoncentrationen i simuleringen för väntrummet när en soffa brinner.

Nedan presenteras resultaten från branden i väntrummet. I Figur 34 visas kolmonoxidprofilen i omgivningen efter 290 sekunders brandförlopp då två soffor brinner. Slice filen visar förhållandena vid den tid koncentrationen av kolmonoxid är som högst. Det område som är rött i figuren representerar områden där kolmonoxidkoncentrationen överstiger gränsvärdet på 2000 ppm. Alla värden är framtagna för en höjd på 1,8 meter över golvet.



Figur 34. Slice file över kolmonoxidkoncentrationen i simuleringen för väntrummet när två soffor brinner..

### 6.3 Utrymning

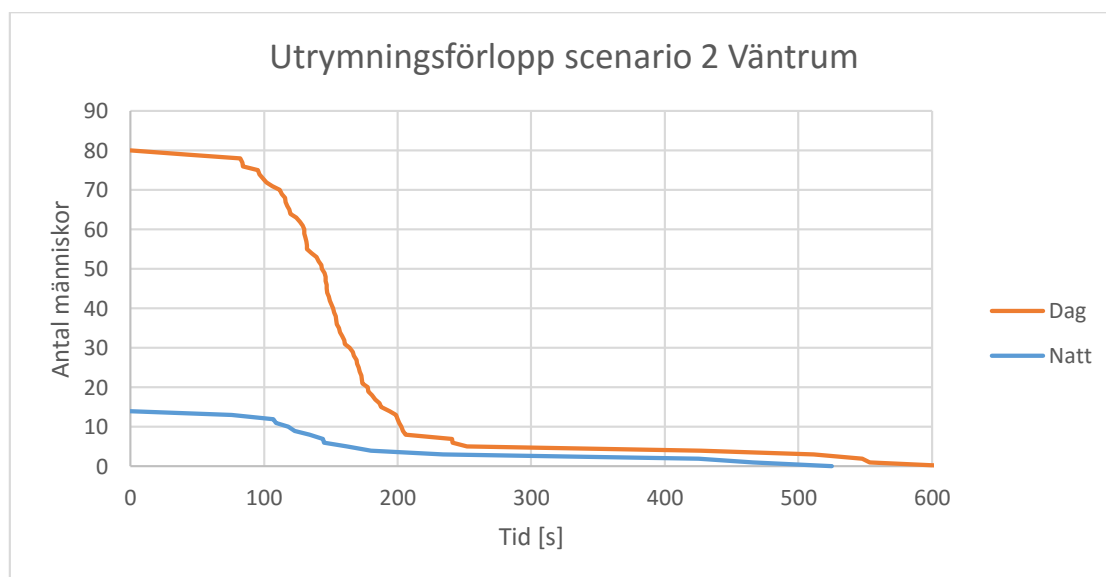
För beräkning av utrymningsförloppet i scenario 2, brand i väntrum, användes tid till detektoraktivering från simuleringar i FDS. Tiden till att detektorn aktiverade var 75 och 55 sekunder för en respektive två soffor. Tiden till detektoraktivering ligger till grund för varseblivningstiden. Förberedelsetid och förflyttningshastighet är tagna från utrymningsförsök vid sjukhus. (Alonso, 2014).

I Tabell 6 presenteras indata till Pathfinder för vårdpersonal, anhöriga och olika patienter. Fördelningen för varseblivningstiden antogs vara uniformfördelad och förberedelsetiden normalfördelad. Då Pathfinder inte gör skillnad på varseblivningstid och förberedelsetid adderades dessa i programmet @RISK för att bli kompatibelt med datorprogrammet Pathfinder.

Tabell 6. Förflyttningshastigheter, varseblivningstid och förberedelsetid för scenario 2 då branden startar i väntrummet.

	Förflyttningshastighet [m/s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s] Uniform fördelning	$t_{\text{förberedelse}}$ [s] ( $\mu, \sigma$ ) Normalfördelning	$t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{förberedelse}}$ (initial delay) [s] ( $\mu, \sigma$ ) KI:90 %
Vårdpersonal	1,35	55-75	(70;60)	135;60 (36-234)
Anhöriga	1,35	55-75	(60;20)	125;21 (91-159)
Patient, typ 1	1,12	55-75	(60;20)	125;21 (91-159)
Patient, typ 2	0,63	55-75	(110;36)	175;36 (115-235)
Patient, typ 3	0,40	55-75	(360;40)	425;41 (358-492)

I Figur 35 presenteras utrymningsförloppet för scenario 2, brand i väntrum. De två graferna visar utrymningsförloppet för dag respektive natt. För mer detaljer om indata till utrymnings-simuleringar se Bilaga H – Pathfinder.



Figur 35. Utrymningsförloppet för scenario 2, brand i väntrum.

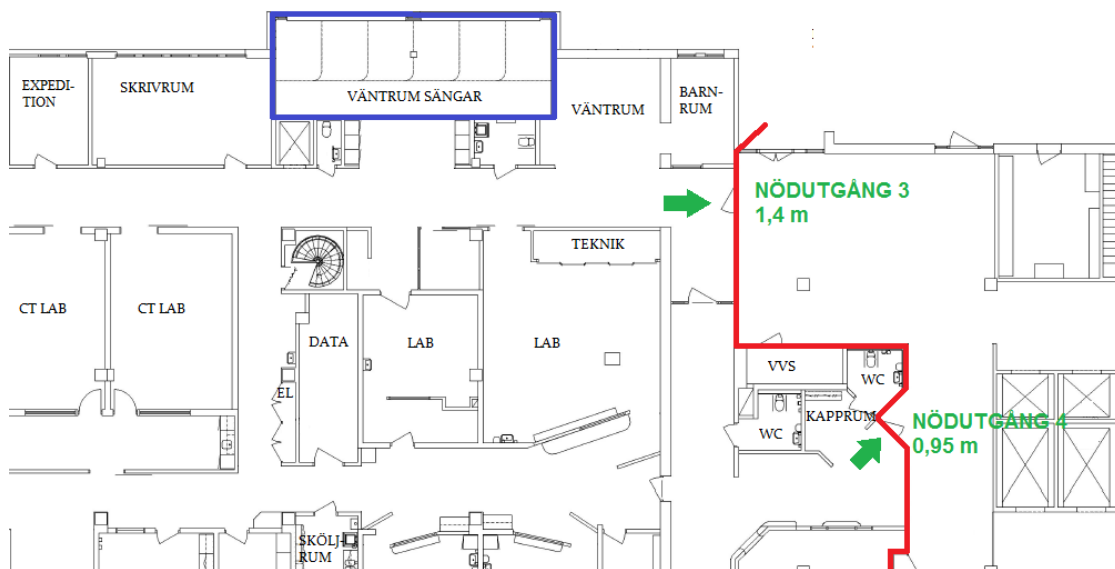
#### 6.4 Sammanfattning scenario 2, brand i väntrum

Nedan sammanfattas bedömningen av resultaten i scenario 2, brand i väntrum.

- Då brand uppstår i väntrummet på avdelningen visar resultaten att sikten 1,8 meter ovanför golvet samt höjden på brandgaslagret kommer bli kritiskt innan alla hunnit sätta sig i säkerhet för både brand i en respektive två soffor.
- Temperaturen kommer bli kritisk, framförallt då två soffor brinner samtidigt.
- Strålningen från branden i väntrummet till omgivningen då endast en soffa brinner anses acceptabel. Resultaten visar dock att strålningen från branden kan bli skadlig om människor passerar branden via korridoren då två soffor brinner.
- Koncentrationen kolmonoxid överstiger inte gränsvärdet 2000 ppm i något fall.

## 7. Scenario 7, brand i sjukhussäng

Scenario 7 utgår från att en brand startar i en sjukhussäng i väntrummet för sängliggande patienter, se Figur 36. I scenariot har avgränsningar valts så att endast strålningspåverkan på närliggande patienter beaktas. De andra skadekriterierna undersöktes alltså ej, då strålningen antas bli kritisk först på grund av det korta avståndet mellan sängarna. Rökspridningen på avdelningen antas vara samma som i scenario 2, brand i väntrum, eftersom rummen ligger nära varandra. I sängväntrummet finns plats för fem sängar och i beräkningarna antas att det är patienter i alla sängar. Rummet har en bredd på cirka 11 meter och avståndet mellan respektive säng 1,0 meter.



Figur 36. Bild över var sängväntrummet i scenario 7 är lokaliserat på röntgenavdelningen.

### 7.1 Effektkurva

Effektkurvan i Figur 37 är framtagen från experiment på vårbäddar och anses representativ för sjukhussängarna på röntgenavdelningen. I experimentet blev det två effekttoppar där en effekt på cirka 700 kW uppnåddes efter 270 sekunder och maxeffekten på cirka 730 kW efter 360 sekunder. (Holmstedt & Kaiser, 1983)



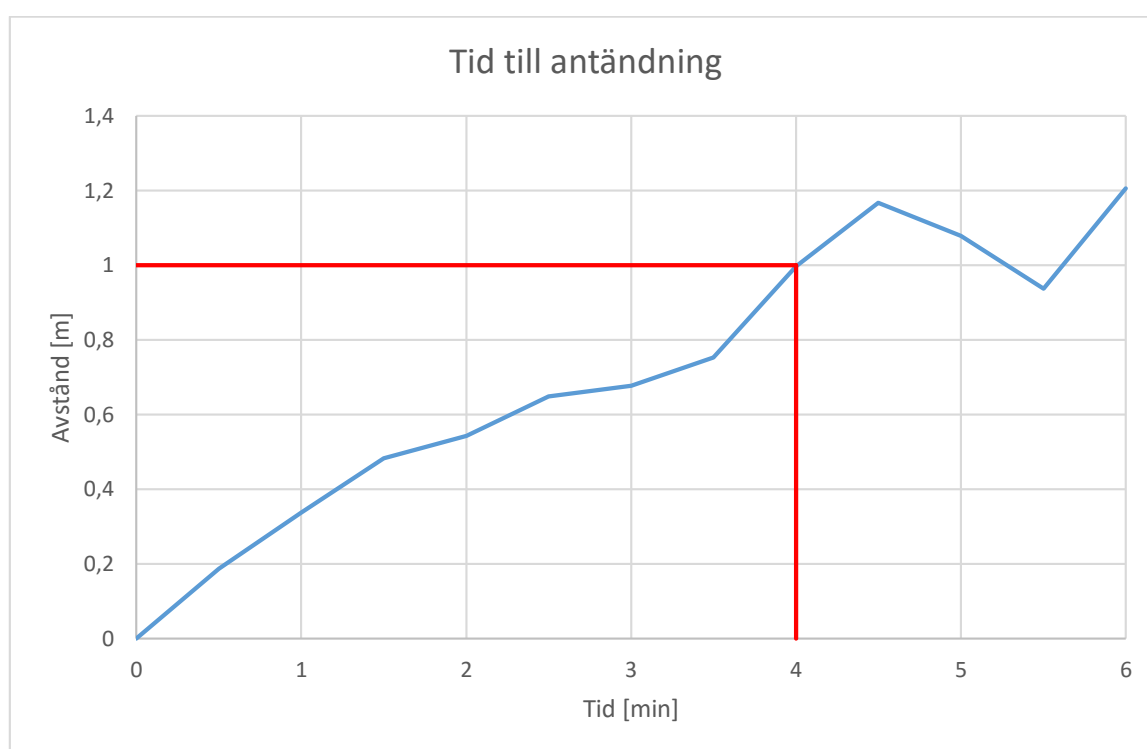
Figur 37. Effektutveckling för en sjukhussäng.



## 7.2 Strålning

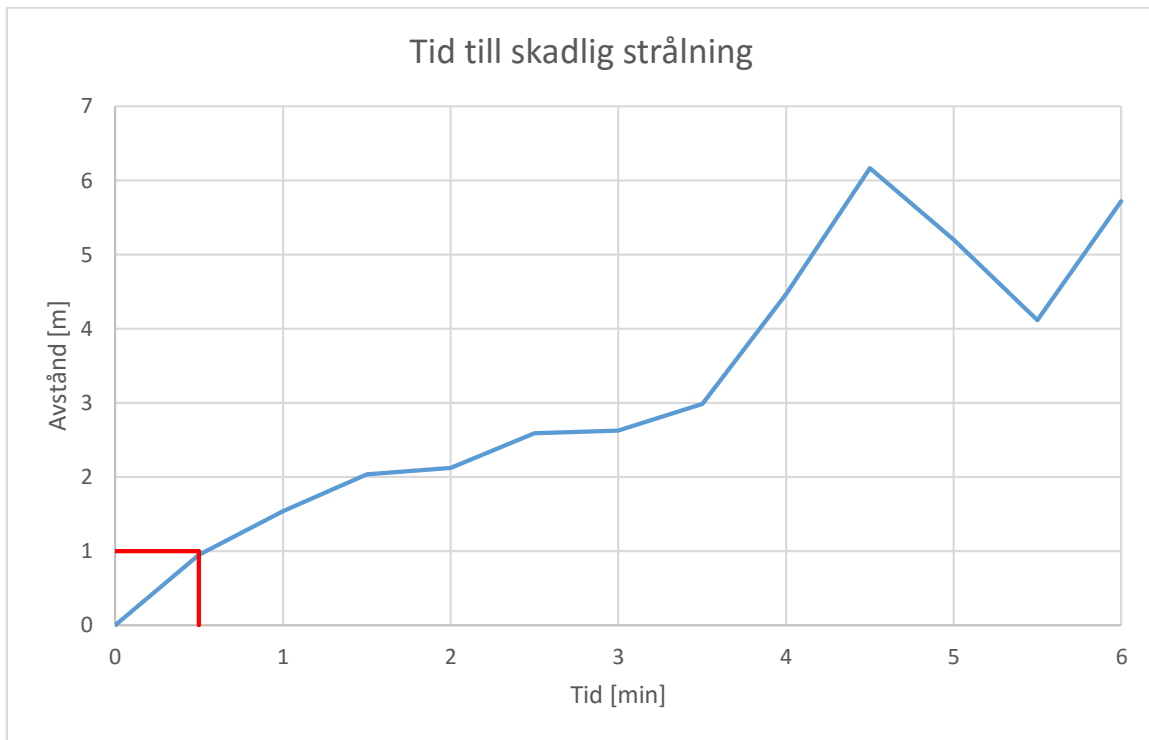
Det har genomförts två olika sorters beräkningar för strålning där det kontrolleras på vilket avstånd strålningen kan antända intilliggande säng samt avståndet till när en person utsätts för skadekriteriet  $3 \text{ kW/m}^2$ . Efter sex minuter kommer branden att avta och strålningsavstånden att minska varför beräkningar ej har gjorts efter denna punkt.

Beräkningar har gjorts för att se om, och i så fall när, antändning av närliggande säng kan ske. För att ett objekt ska antända krävs en infallande strålning av  $20 \text{ kW/m}^2$  (Staffansson, 2010). Vid beräkningar har strålning både från flamman och från brandgaslagret beaktats. Simulering har gjorts i Argos vilket har gett strålningen till golvet från brandgaslagret se Bilaga F.3 Argos. Vidare har handberäkningar gjorts för att få strålningen från flamman i sängen. Strålningen från dessa två källor tillsammans har använts för att beräkna avståndet till strålningsintensiteten som skapar antändning, se Bilaga F. Figur 38 beskriver resultaten av beräkningarna.



Figur 38. Avståndet med avseende på tid där strålningen från flamman och brandgaserna uppnår  $20 \text{ kW/m}^2$ . Den röda markeringen visar tiden till då nästa säng förväntas antända.

För att ta reda på hur nära den brinnande sängen man kan vara innan skadekriteriet uppnås har beräkningar gjorts för att se på vilket avstånd en skadlig strålning av  $3 \text{ kW/m}^2$  finns, se Figur 39. Samma beräkningsunderlag som ovan har använts, se Bilaga F.



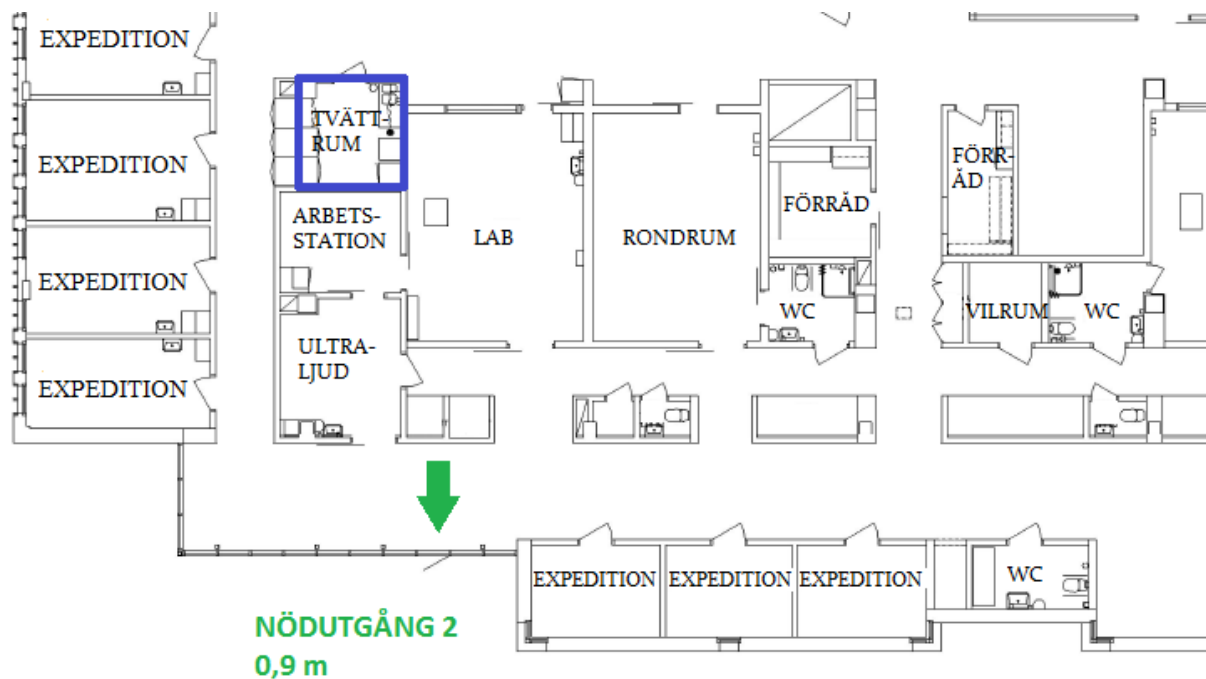
Figur 39. Avståndet med avseende på tid där strålningen från flammans och brandgaserna uppnår  $3 \text{ kW/m}^2$ . Den röda markeringen visar då skadekriteriet uppnås vid nästa säng.

### 7.3 Sammanfattning Scenario 7, brand i sjukhussäng

Beräkningarna visar att då en säng börjar brinna kommer antändning av närliggande säng, då avståndet är 1,0 meter, att ske efter fyra minuter. En skadlig strålning kommer att nå patienten i nästa säng redan efter en halv minut.

## 8. Scenario 12, brand i tvättrum

Scenario 12 utgår från att en brand startar i tvättrummet. I tvättrummet finns mycket elektrisk utrustning och vitvaror som tvättmaskin, torktumlare och torkskåp. I rummet förvaras även stora mängder kläder och handdukar som används av personalen som arbetar på sjukhuset. Den höga brandbelastningen från kläder och handdukar kombinerat med att utrymmet är utrustat med en värmedetektor gör tvättrummet till ett intressant utrymme ur ett brandtekniskt perspektiv. Precis som i scenario 2, brand i väntrum, delas detta brandscenario upp i två delscenarier där brandens tillväxthastighet varieras. I det ena delscenariot antas brandens tillväxthastighet vara Medium, och i det andra antas tillväxthastigheten vara Fast se Figur 7. I Figur 40 visas vart tvättrummet är placerat på avdelningen.

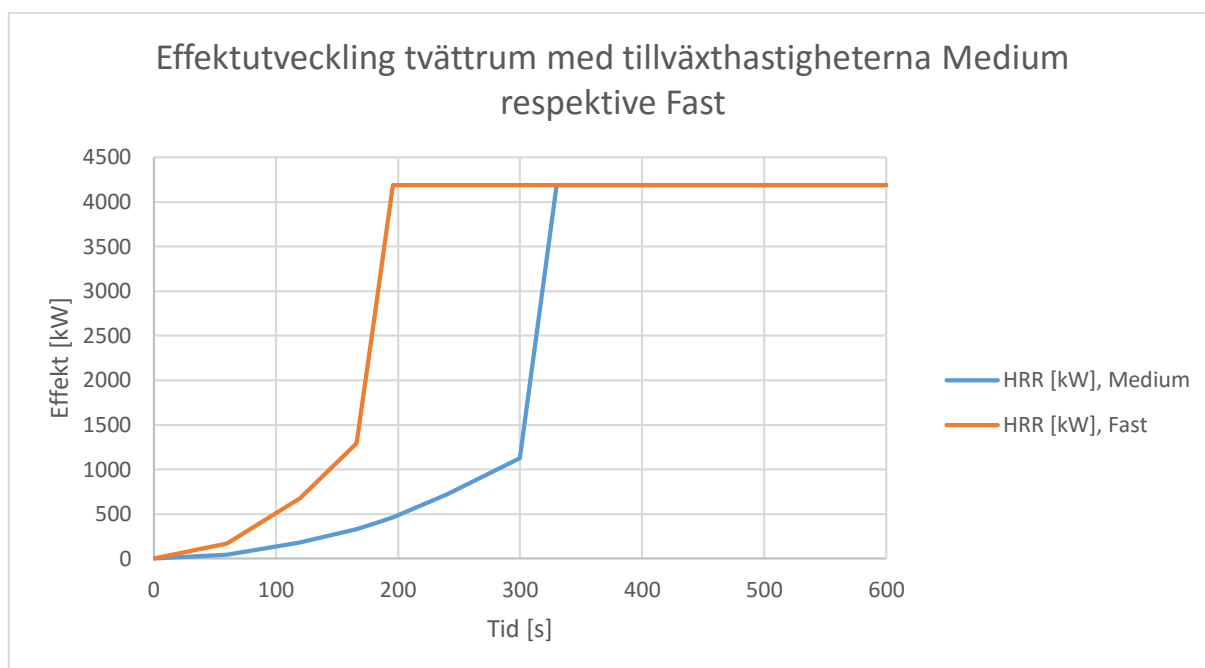


Figur 40. Visar var tvättrummet i scenario 12 är lokaliserat på röntgenavdelningen.

### 8.1 Effektkurva

I detta scenario antas värmeöverföring eller tekniskt fel orsaka en brand. Detta leder till att kläd- och handduksförvaring i garderoberna antänds. För att approximera den effektutveckling som kommer att ske i garderoben används värden från en tidigare studie där författarna undersökte en brand från kläder i hyllor (Zalok, Bwalya, & Hadjisopocleous, 2005). Tiden till maxeffekten 720 kW var då 4 minuter, vilket motsvarar ett värde på tillväxthastigheten av cirka 0,012 kW/s<sup>2</sup>, vilket klassas som en Medium tillväxthastighet.

I analysen av detta brandscenario beaktas dels ett brandförlopp då brandens tillväxthastighet motsvarar Medium och ett brandförlopp då tillväxthastigheten motsvarar Fast. Tillväxthastigheten Fast är 0,047 kW/s<sup>2</sup>. Branden antas sedan växa till dess att övertändning uppstår då effektutvecklingen ökar kraftigt tills dess att branden blir ventilationskontrollerad. För närmare beräkningar av effektkurvor i scenario 12 se Bilaga E - Scenario 12, brand i tvättrum. Se Figur 41 för grafer över de båda effektutvecklingarna.



Figur 41. Grafen visar den beräknade effektutvecklingen för brand i tvättrum.

## 8.2 FDS

Nedan presenteras indata och resultat från simuleringarna i FDS.

### 8.2.1 Ingående data scenario 12

Nedan presenteras värden för de viktigaste data som ingår i simulering i FDS. För hela FDS-koden se Bilaga E.3.

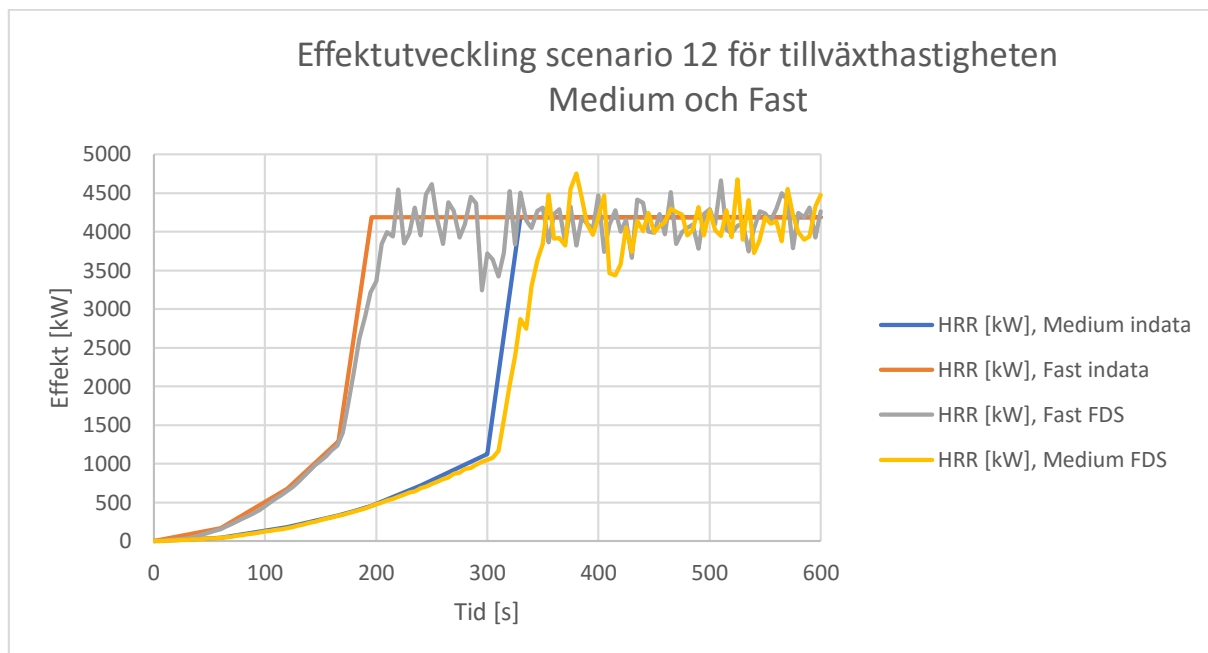
Tabell 7. Visar de ingående värde för simuleringen av scenario 12, brand i tvättrum.

Variabel	Värde	Kommentar/källa
Simuleringstid [s]	600	
Förbränningsvärme [kJ/kg]	20 000	
Soot-yield [g/g]	0,1	<sup>1</sup>
CO-yield [g/g]	0.005	(Karlsson & Quintiere, 2000)
Antal strålningsvinklar	104	
Cellstorlek [m]	0,1-0,2	
HRRPUA [kW/m <sup>2</sup> ]	2793	
Bränsle	C=6 H=10 O=5	Cellulosa
Yta på brännare [m <sup>2</sup> ]	1.5	
Tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]		
-Medium	0,012	
-Fast	0,047	
Maxeffekt [kW]	4190	

<sup>1</sup> Värdet är interpolerat mellan det som finns i Enclosure fire dynamics (Karlsson & Quintiere, 2000) och Numerical modeling of full scale limited ventilated fire tests (Boehmer, 2008) För diskussion kring valet, se 11.1 FDS, spalt 3.

### 8.2.2 Effektkurva och tid till detektoraktivering i FDS

Nedan presenteras resultaten från effektutvecklingen då brand uppstår i tvättrummet från simuleringarna i FDS, se Figur 42.



Figur 42. Grafen visar dels den angivna effektutveckling som indata i FDS och den effektutvecklingen som erhöles i simuleringen.

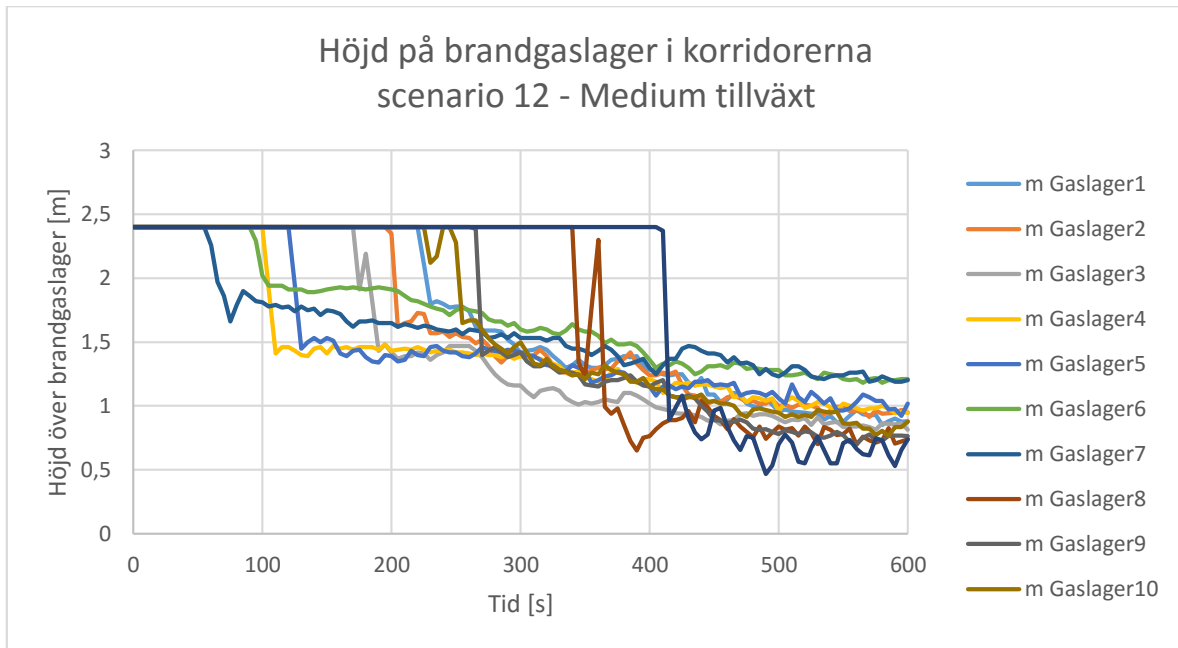
Resultaten i simuleringarna för scenario 12, brand i tvättrum, visar att värmedetektorn som är placerad i tvättrummet detekterar branden efter 70 sekunder för Medium tillväxt och efter 45 sekunder för Fast tillväxt, se Tabell 8.

Tabell 8. Tabellen visar tiden till detektoraktivering för scenario 12 då brand uppstår i tvättrummet.

	<b>Medium</b>	<b>Fast</b>	<b>Kommentar</b>
<b>Tid till detektoraktivering [s]</b>	70	45	Värmedetektor

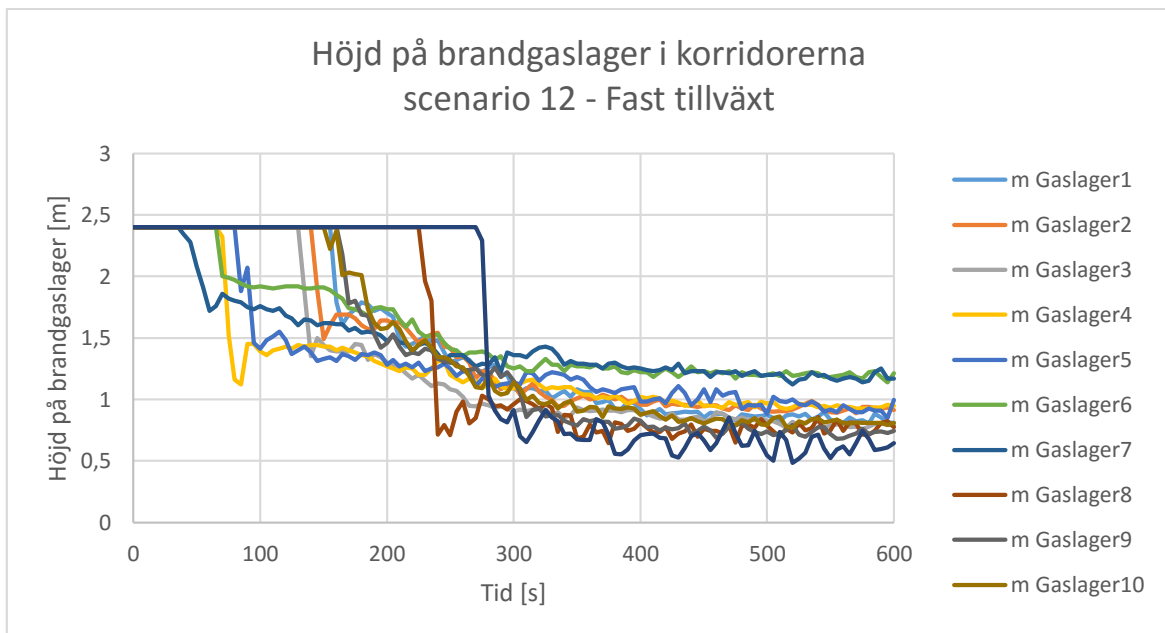
### 8.2.3 Sikt

För att undersöka hur sikten i lokalen påverkas av branden placerades elva höjdmätare för brandgaslagret ut i FDS-simuleringen. I Figur 43 presenteras resultatet för dessa mätningar, i fallet då branden brinner med Medium tillväxthastighet. Figuren visar hur brandgaslagrets höjd sjunker och stabiliserar sig mellan 0,5-1,5 meter över golvet efter cirka 400 sekunder. Se Bilaga I.2 Placering av mätare för karta över placering av mätarna.



Figur 43. Grafen visar hur höjden på brandgaslagret sjunker på röntgenavdelningen över tid.

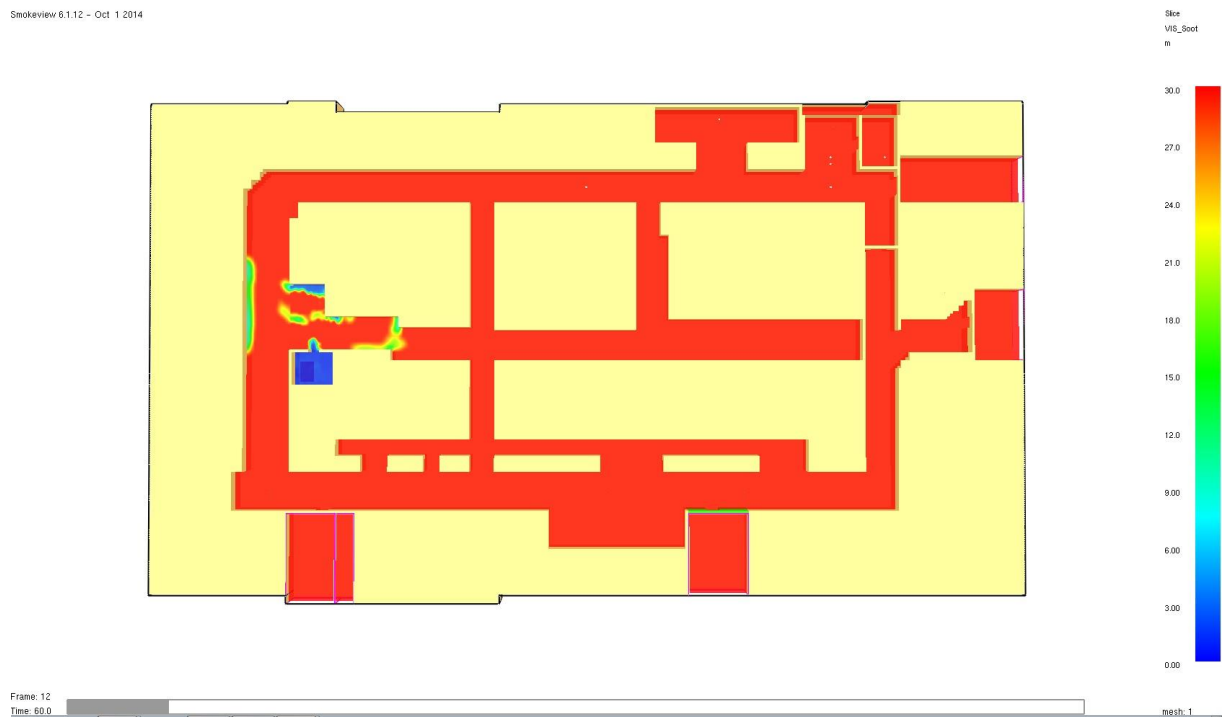
Figur 44 presenteras resultatet för höjden på brandgaslagret för tillväxthastigheten Fast. I figuren framgår det hur brandgaslagrets höjd sjunker och stabiliserar sig mellan 0,5-1,5 meter över golvet efter cirka 300 sekunder. Se Bilaga I.2 Placering av mätare för karta över placering av mätarna.



Figur 44. Grafen visar hur höjden på brandgaslagret sjunker på röntgenavdelningen över tid.

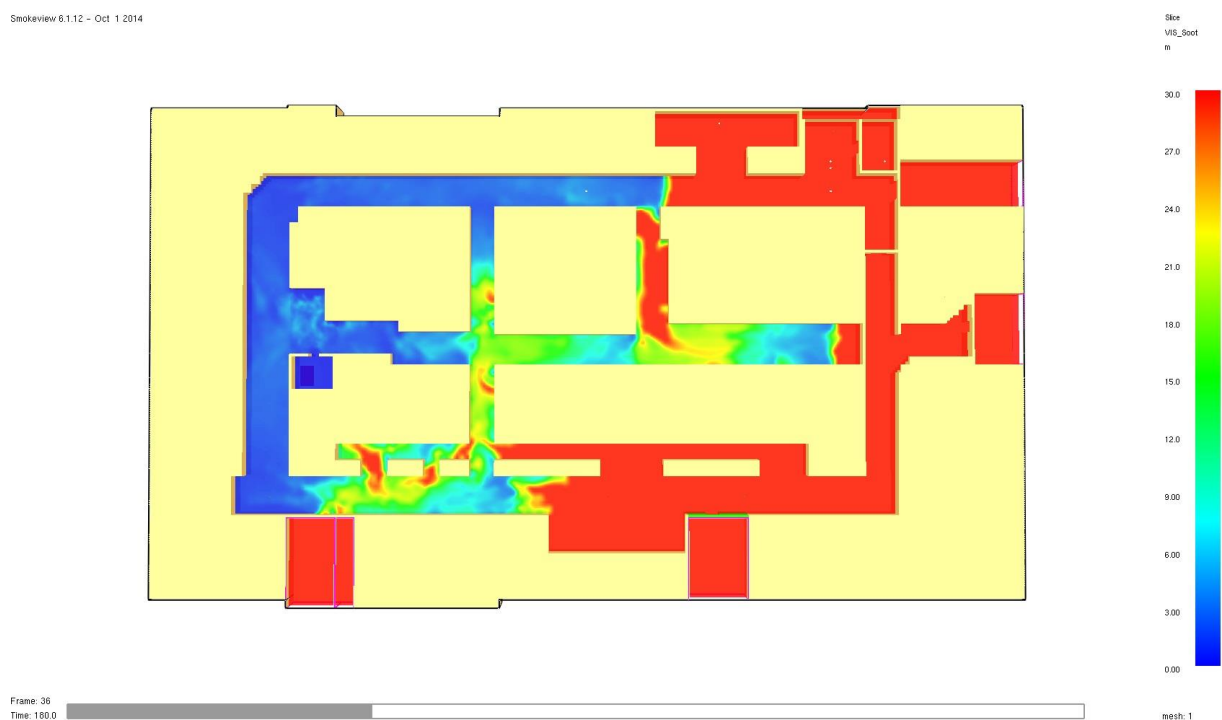
För att illustrera hur sikten påverkas av brandgaslagret presenteras nedan fyra figurer då brand uppstår i tvättrummet. Figur 45 och Figur 46 representerar sikten 1,8 meter ovanför golvet med tillväxthastigheten Medium, efter 60 respektive 180 sekunder. Det området som är blått i figuren representerar siktförhållanden  $\leq 5$  meter.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Figur 45. Slice file som visar sikten i fallet tvättrum med Medium tillväxt efter 60 sekunders brandförlopp.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014

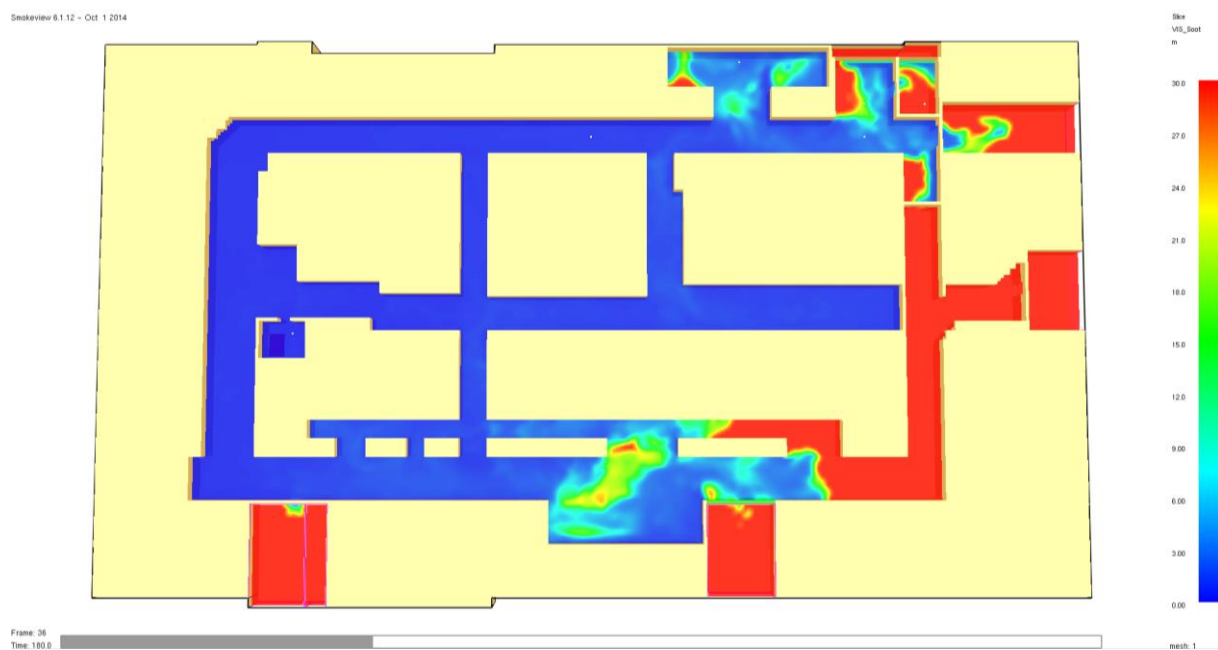


Figur 46. Slice file som visar sikten i fallet tvättrum med Medium tillväxt efter 180 sekunders brandförlopp.

Figur 47 och Figur 48 representerar sikten 1,8 meter ovanför golvet med tillväxthastigheten Fast, efter 60 respektive 180 sekunder. Det området som är blått i figuren representerar siktförhållanden  $\leq 5$  meter.



Figur 47. Slice file som visar sikten i fallet tvättrum med Fast tillväxt efter 60 sekunders brandförlopp.

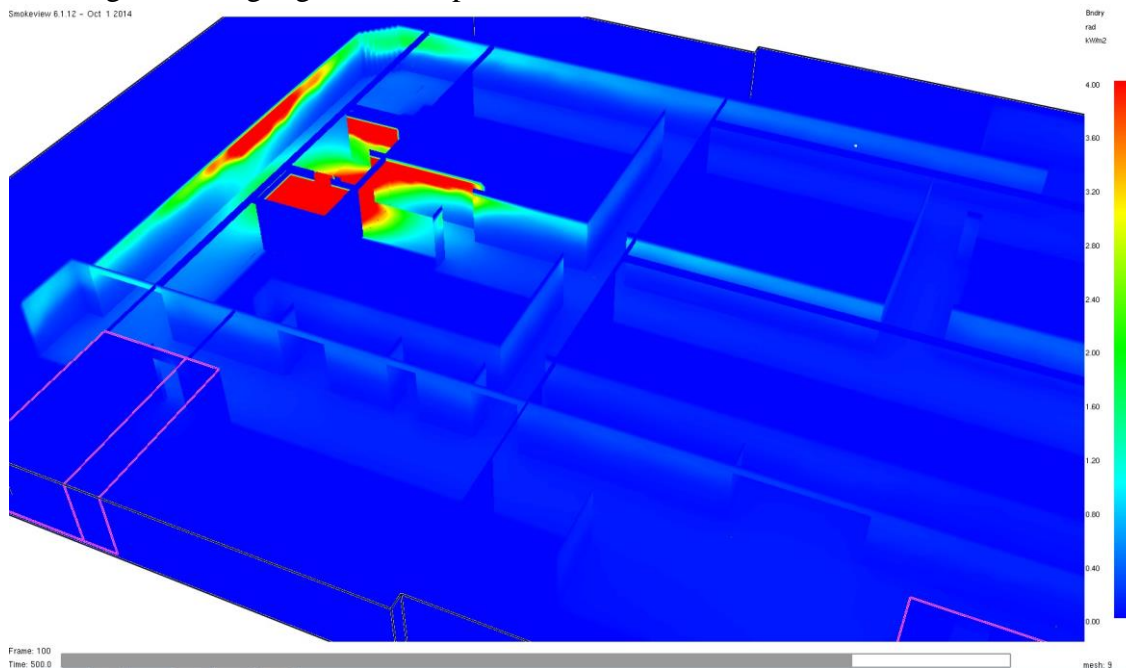


Figur 48. Slice file som visar sikten i fallet tvättrum med Fast tillväxt efter 180 sekunders brandförlopp.



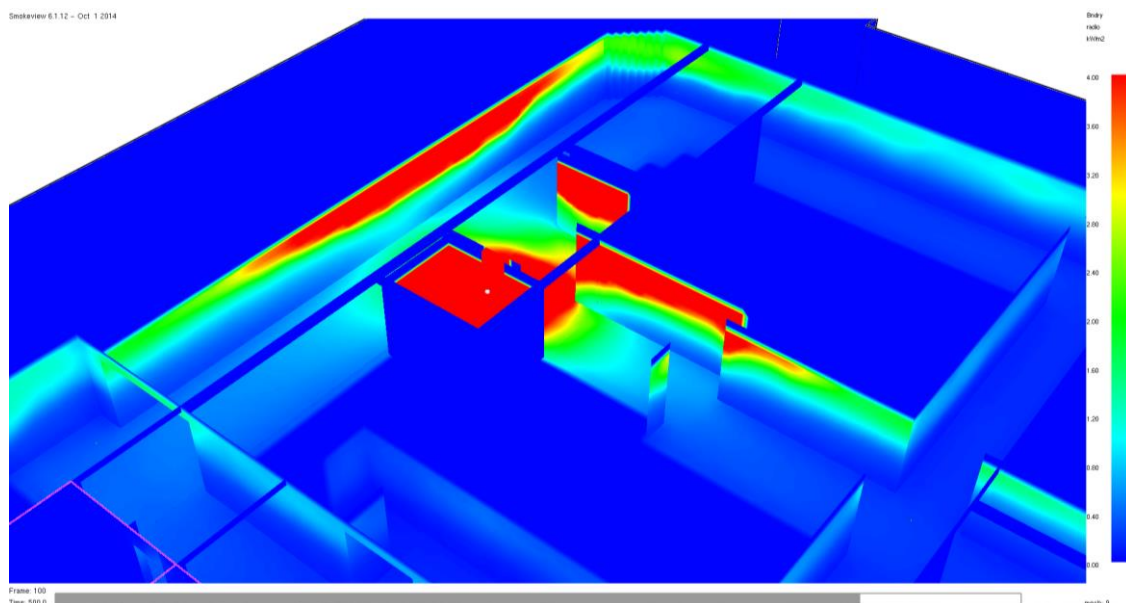
## 8.2.4 Strålning

Figur 49 visar hur strålningen från tvättrummet med Medium tillväxt påverkar den närliggande omgivningen efter 500 sekunders brandförlopp. Boundary filen visar förhållandena vid den tid strålningen är som högst. De röda områdena i figuren visar var strålningen överstiger gränsvärdet på  $3 \text{ kW/m}^2$ .



Figur 49. Boundary file som synliggör strålningspåverkan i utrymmet i ett senare skede av branden i vitvaruutrymmet som växer med hastigheten Medium.

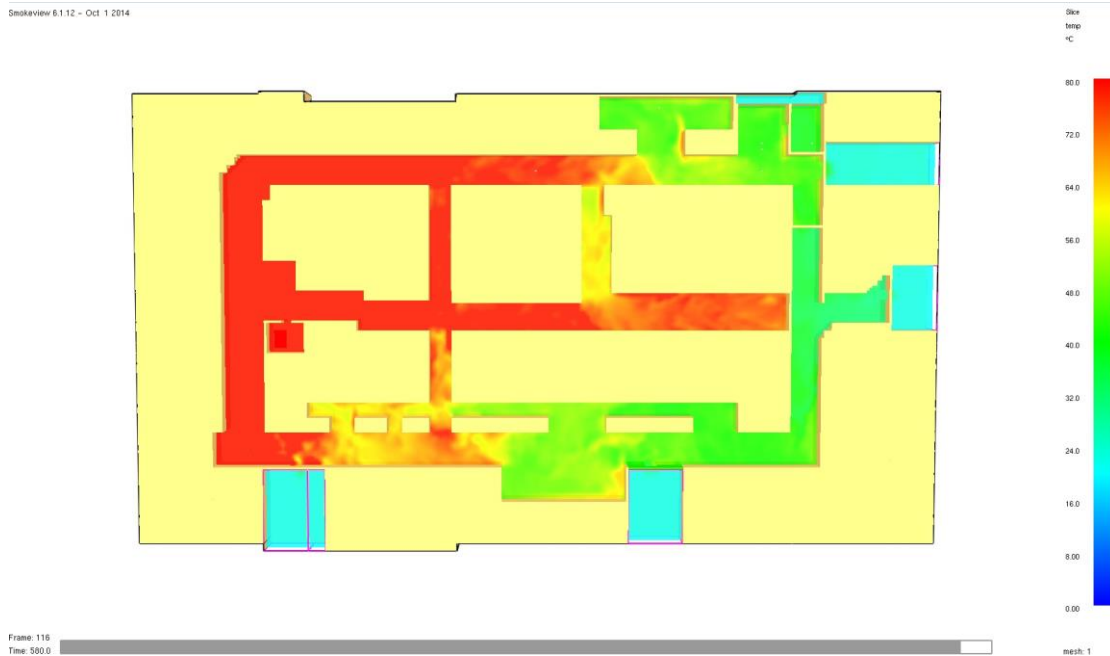
Figur 50 visar hur strålningen från tvättrummet med Fast tillväxt påverkar den närliggande omgivningen efter 500 sekunders brandförlopp. Boundary-filen visar förhållandena vid den tid strålningen är som högst. De röda områdena i figuren visar var strålningen överstiger gränsvärdet på  $3 \text{ kW/m}^2$ .



Figur 50. Boundary file som synliggör strålningspåverkan i utrymmet i ett senare skede av branden i vitvaruutrymmet som växer med hastigheten Fast.

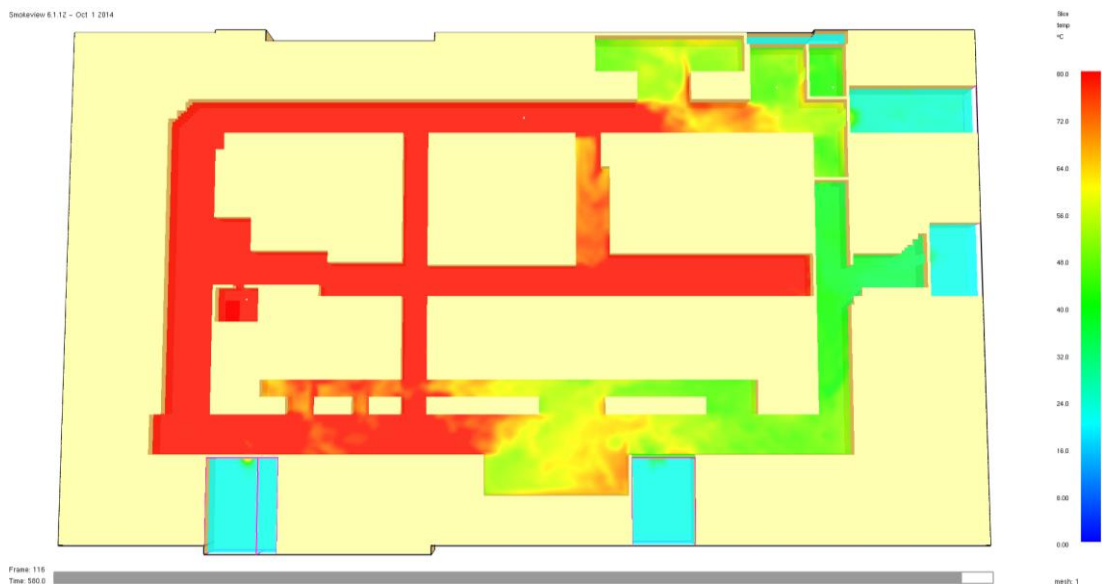
## 8.2.5 Temperatur

Nedan presenteras resultaten från branden i tvättrummet. I Figur 51 visas temperaturprofilen i omgivningen efter 580 sekunders brandförlopp då tvättrummet brinner med hastigheten Medium. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst. Det området som är rött i figuren representerar områden där temperaturen överstiger 80 °C. Slice filen beräknar temperaturen på höjden 1,8 meter ovanför golvet.



Figur 51. Slice file som visar temperaturen vid maximal effektutveckling då tvättrummet brinner med hastigheten Medium.

Nedan presenteras resultaten från branden i tvättrummet. I Figur 52 visas temperaturprofilen i omgivningen efter 580 sekunders brandförlopp då tvättrummet brinner med hastigheten Fast. Slice filen visar förhållandena vid den tid strålningen är som högst. Det området som är rött i figuren representerar områden där temperaturen överstiger 80 °C. Slicefilen beräknar temperaturen på höjden 1,8 meter ovanför golvet.



Figur 52. Slice file som visar temperaturen vid maximal effektutveckling då tvättrummet brinner med hastigheten Fast.

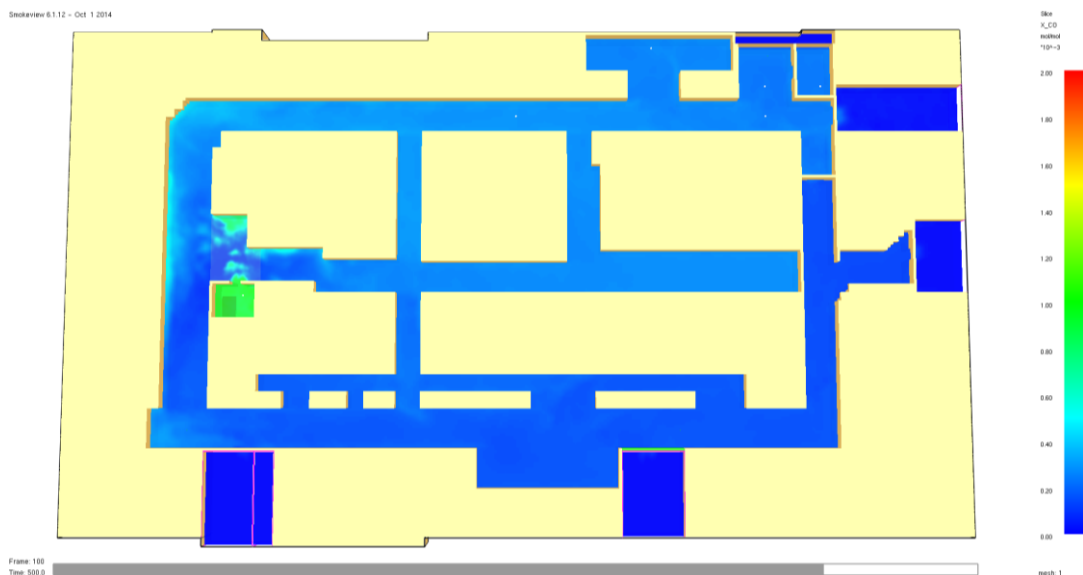
### 8.2.6 Kolmonoxid

Nedan presenteras resultaten från branden i tvättrummet. I Figur 53 visas kolmonoxidprofilen i omgivningen efter 500 sekunders brandförlopp då tvättrummet brinner med hastigheten Medium. Slice filen visar förhållandena vid den tid koncentrationen av kolmonoxid är som högst. Området där det är rött har skadekriteriet på en koncentration av 2000 ppm uppnåtts medan den gröna zonen är 1000 ppm och den blå zonen har koncentrationen 0 ppm kolmonoxid. Alla värden är framtagna för en höjd på 1,8 meter över golvet.



Figur 53. Slice file över kolmonoxidkoncentrationen i fallet då tvättrummet brinner med tillväxthastigheten Medium.

Nedan presenteras resultaten från branden i tvättrummet. I Figur 54 visas kolmonoxidprofilen i omgivningen efter 500 sekunders brandförlopp då tvättrummet brinner med hastigheten Fast. Slice filen visar förhållandena vid den tid koncentrationen av kolmonoxid är som högst. Det område som är rött i figuren representerar områden där kolmonoxidkoncentrationen överstiger gränsvärdet på 2000 ppm.



Figur 54. Slice file över kolmonoxidkoncentrationen i fallet då tvättrummet brinner med tillväxthastigheten Fast.

### 8.3 Utrymning

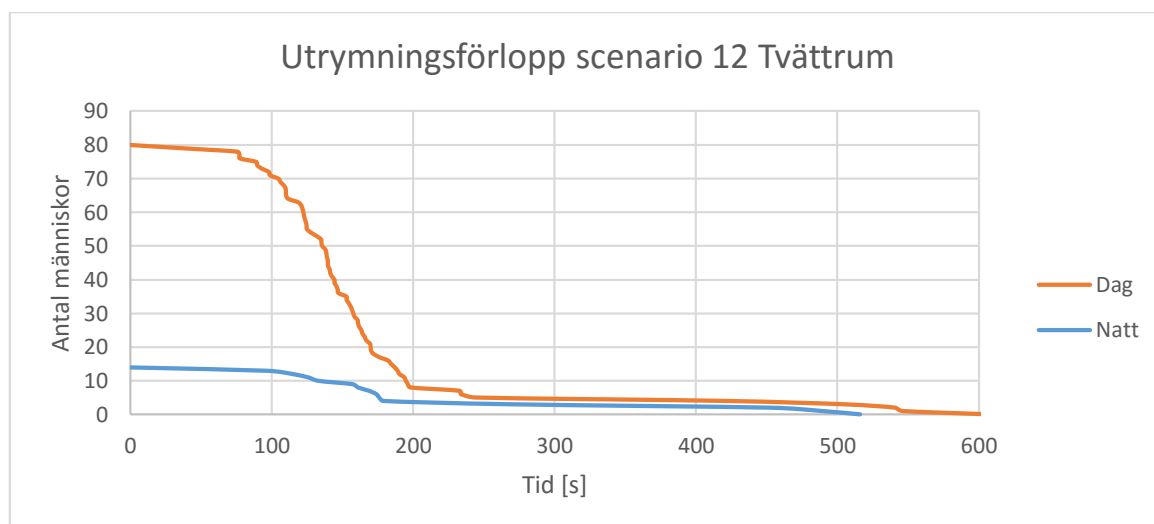
För beräkning av utrymningsförloppet i scenario 12, brand i tvättrum, användes tid till detektoraktivering från simuleringar i FDS för att uppskatta varseblivningstiden. Tiden till att detektorn aktiverades visade sig vara 70 respektive 45 sekunder för de två tillväxthastigheterna Medium och Fast. Tiden till detektoraktivering baserades på antagandet att värmedetektorn hade aktiveringstemperaturen 68 °C. Förberedelsetiden och förflyttningshastigheter för vårdpersonal, civila och anhöriga är hämtade från ett tidigare försök av utrymning från sjukhusmiljöer. (Alonso, 2014)

I Tabell 9 presenteras indata till Pathfinder för vårdpersonal, anhöriga och olika patienter. Fördelningen för varseblivningstiden antogs vara uniformfördelad och förberedelsetiden normalfördelad. Då Pathfinder inte gör skillnad på varseblivningstid och förberedelsetid adderades dessa i programmet @RISK för att bli kompatibelt med datorprogrammet Pathfinder.

Tabell 9. Förflyttningshastigheter, varseblivningstid och förberedelsetid för scenario 12, brand i tvättrum.

	Förflyttningshastighet [m/s]	$t_{\text{varseblivning}}$ [s] Uniformfördelning	$t_{\text{förberedelse}}$ [s] ( $\mu, \sigma$ ) Normalfördelning	$t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{förberedelse}}$ (initial delay) [s] ( $\mu, \sigma$ ) KI:90 %
<b>Vårdpersonal</b>	1,35	45-70	(70;60)	127,5;60 (29-227)
<b>Civila/anhöriga</b>	1,35	45-70	(60;20)	117,5;21 (82-153)
<b>Patient, typ 1</b>	1,12	45-70	(60;20)	117,5;21 (82-153)
<b>Patient, typ 2</b>	0,63	45-70	(110;36)	167;37 (107-228)
<b>Patient, typ 3</b>	0,40	45-70	(360;40)	417,5;41 (351-484)

I Figur 55 presenteras utrymningsförloppet för scenario 12, brand i tvättrum. De två graferna visar utrymningsförloppet för dag respektive natt.



Figur 55. Utrymningsförloppet för scenario 12 då en brand uppstår i tvättrummet. De två graferna representerar utrymning vid dag respektive natt.

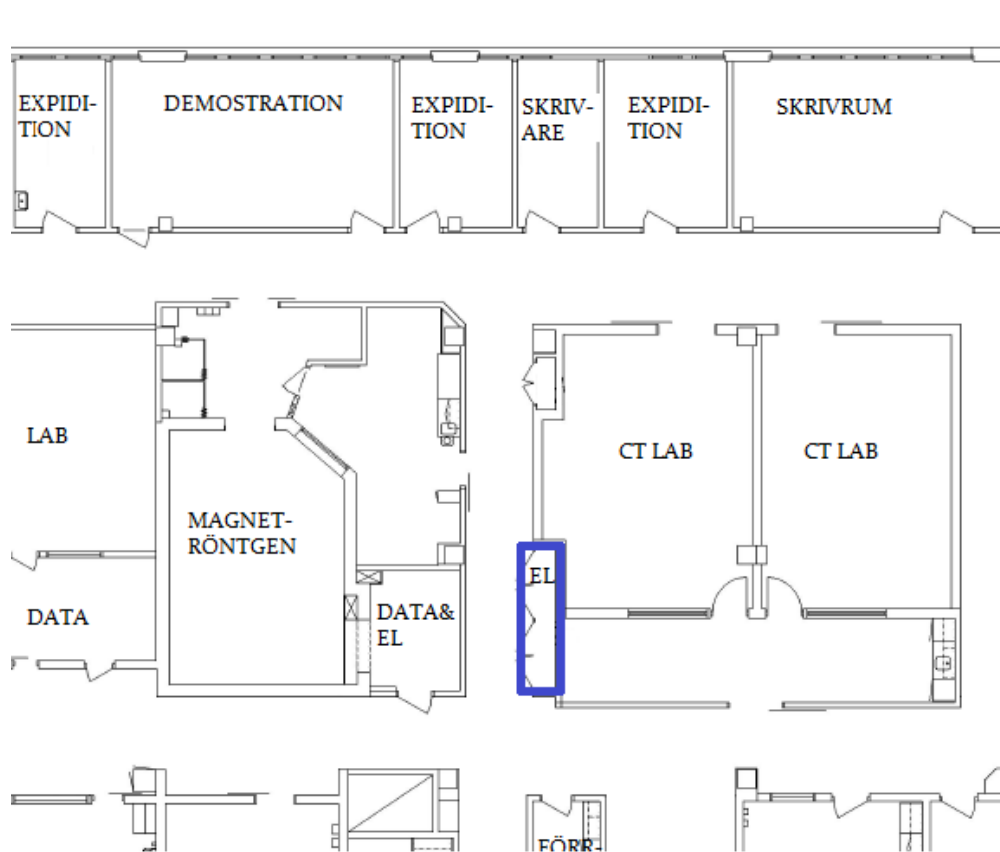
#### 8.4 Sammanfattning scenario 12, brand i tvättrum

Nedan sammanfattas bedömningen av resultaten i scenario 12, brand i tvättrum.

- Då brand uppstår i tvättrummet på avdelningen visar resultaten att sikten 1,8 meter ovanför golvet samt höjden på brandgaslagret kommer bli kritiskt innan alla hunnit sätta sig i säkerhet för både Medium och Fast branden.
- Strålningen från branden i tvättrummet till omgivningen kommer att bli skadlig om människor passerar branden via korridoren.
- Temperaturen kommer bli kritisk för både Medium och Fast tillväxthastighet.
- Koncentrationen kolmonoxid överstiger inte gränsvärdet 2000 ppm i något fall.

## 9. Scenario 16, Brand i elnisch

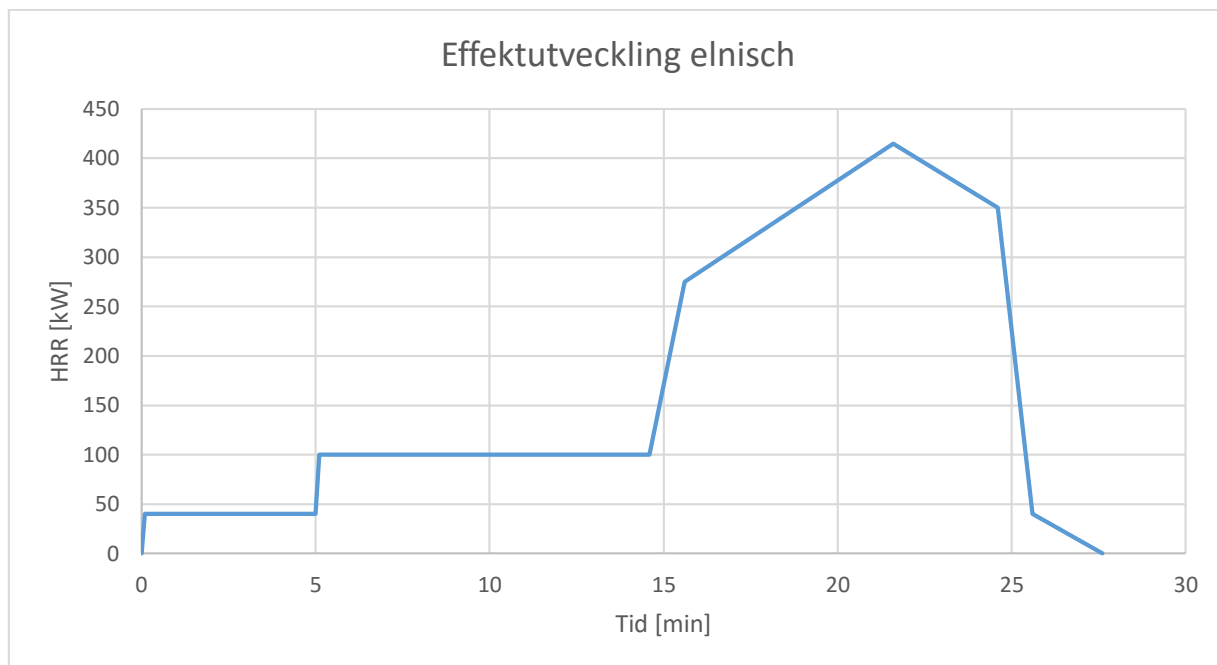
I scenario 16 antas en brand starta i elnischen som är placerad centralt på röntgenavdelningen, se Figur 56. Branden antas starta på grund av ett tekniskt fel, som antas inträffa då skåpet är öppet under pågående arbete. I skåpet finns kablar som möjliggör en omfattande rökutveckling vilket kan leda till kritiska förhållanden vid utrymning.



Figur 56. Bild över var elskåpet för brandscenario 16 är lokaliserat på röntgenavdelningen

### 9.1 Effektkurva

Den effektkurva som använts för att efterlikna förloppet i elskåpet togs från en studie där vertikalt placerade kablar hade satts i brand med liknande ventilationsförhållanden som i detta scenario (Hertzberg, Sundström, & van Hees, 2003). Figur 57 nedan beskriver effektutvecklingen för denna brand som använts i FDS. Kurvan är en grov uppskattning av den effektutveckling som stod att finna i studien.



Figur 57. Effektutveckling för vertikalt placerade kablar.

## 9.2 FDS

Nedan presenteras indata och resultat från simuleringarna i FDS för scenario 16 då brand antas uppstå i elnischen.

### 9.2.1 Ingående data scenario 16, brand i elnisch

Nedan presenteras värden för de viktigaste data som ingår i simulering i FDS för scenario 16, brand i elnisch i Tabell 10. För att se hela FDS-koden se Bilaga G.

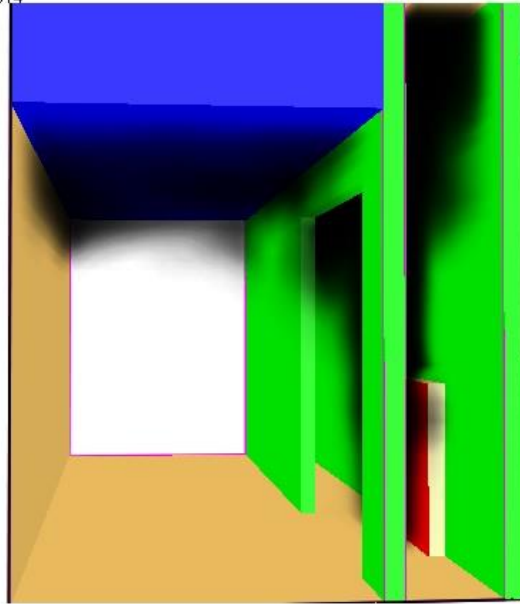
Tabell 10. Ingående värden för FDS-simulering av brand i elnisch.

Variabel	Värde	Kommentar/källa
Simuleringstid [s]	1300	
Förbränningsvärme [kJ/kg]	-	Beräkningsmodell i FDS
Soot-yield [g/g]	0,172	(Karlsson & Quintiere, 2000)
CO-yield [g/g]	0,063	(Karlsson & Quintiere, 2000)
Antal strålningsvinklar	104	
Cellstorlek [m]	0,1	
HRRPUA [kW/m <sup>2</sup> ]	415,0	
Bränsle	C=2 H=3 O=0 N=0	PVC
Yta på brännaren [m <sup>2</sup> ]	1,0	
Maxeffekt [kW]	415,0	

### 9.2.2 Sikt

På grund av öppningarna mot utrymmet ovanför undertaket kommer röken från elnischen försvinna upp den vägen. Brandgaslagret kommer enligt simuleringarna som mest att lägga sig i ett tunt lager i taket ute i korridoren. Sikten kommer inte att påverkas, se Figur 58.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Frame: 736

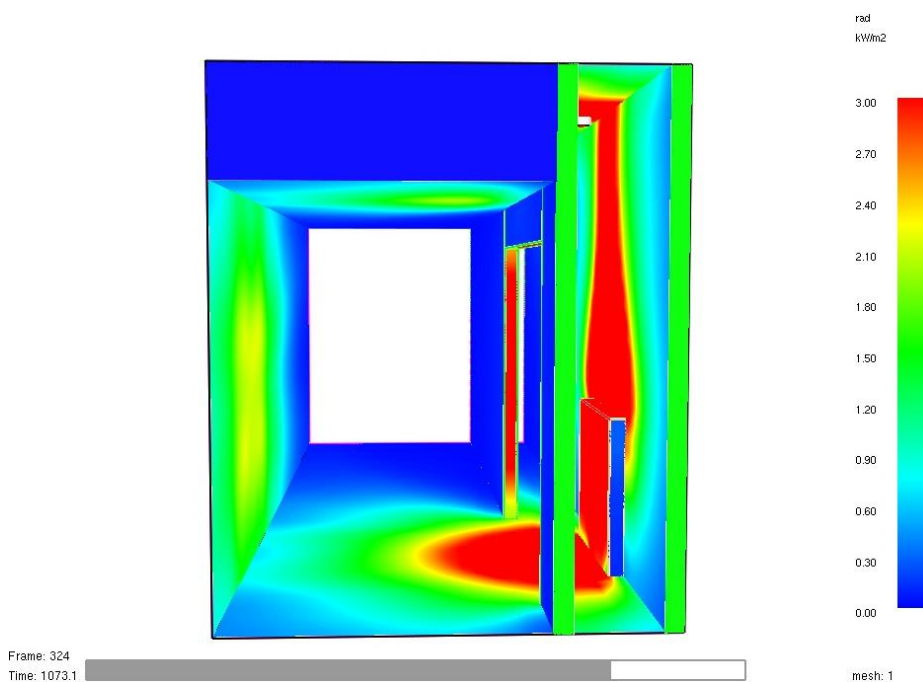
Time: 1218.8

mesh: 1

Figur 58. Bild från FDS-simuleringen för fallet brand i elnisch.

### 9.2.3 Strålning

Enligt simuleringen i FDS kommer strålningen i korridoren att uppnå skadekriteriet någonstans runt 1000-1100 sekunder, se Figur 59 där skadlig strålning är färgat rött.

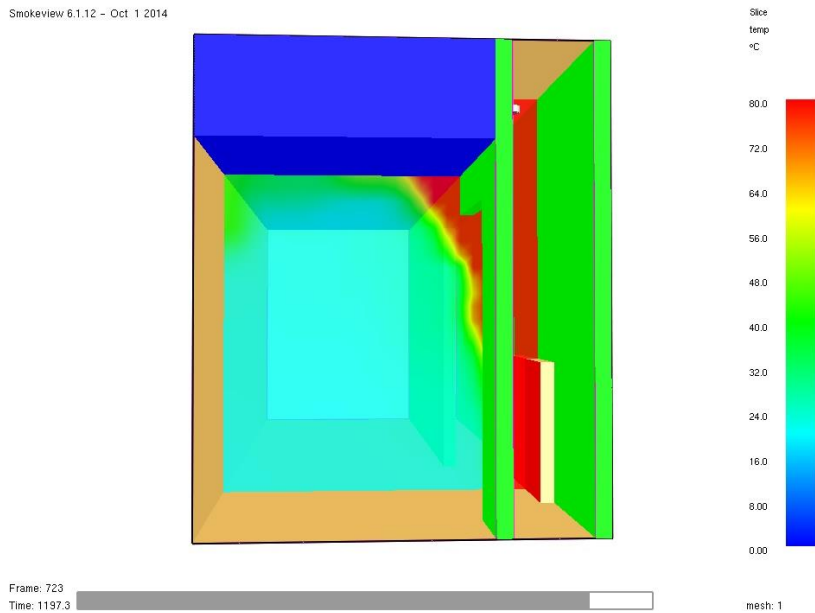


Figur 59. Boundary file över strålningen för scenario 16.



### 9.2.4 Temperatur

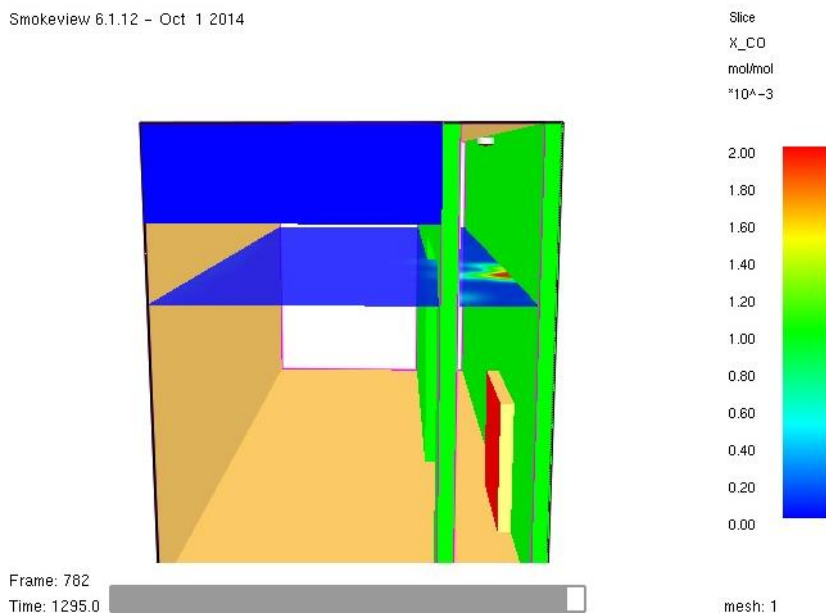
Temperaturen kommer aldrig upp i 80 °C ute i korridoren, se Figur 60 där temperaturer på 80 °C är färgat rött. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst, det vill säga vid 1200 sekunder.



Figur 60. Slice file över temperaturen i scenario 16.

### 9.2.5 Kolmonoxid

Koncentrationen kolmonoxid kommer aldrig upp i de nivåer som krävs för att nå skadekriteriet, se Figur 61. Slice filen visar förhållandena vid den tid koncentrationen kolmonoxid är som högst. Området där det är rött har skadekriteriet på en koncentration av 2000 ppm uppnåtts medan den gröna zonen är 1000 ppm och den blå zonen har koncentrationen 0 ppm kolmonoxid. Alla värden är framtagna för en höjd på 1,8 meter över golvet.



Figur 61. Slice file över koncentrationen kolmonoxid i scenario 16.

### 9.3 Sammanfattning scenario 16, brand i elnisch

Resultaten visar att konsekvenserna av en brand i elnischen inte kommer påverka möjligheterna till en säker utrymning. Detta beror framförallt på att effektutvecklingen från branden i elnischen inte blir så hög, samt att röken kommer att ledas bort via utrymmet ovanför undertaket. För att visa på att ingen fara för utrymning kommer uppstå har slice files tagits från mellan 1000-1200 sekunder in i brandförloppet. Det är dock så sent in i förloppet att ingen kommer vara kvar på avdelningen.

## 10. Åtgärdsförslag

Resultaten visar att röntgenavdelningen enligt gruppens bedömning är i behov av vissa åtgärder. Nedan följer de identifierade problemen som åtgärdsförslagen bör fokusera på att motverka:

- Den kraftigt försämrade sikten i väntrums- och tvättrumsbränderna.
- Den höga temperaturen i väntrums- och tvättrumsbränderna.
- Förekomst av skadlig strålning i sängsväntrumsbranden.
- De sängliggande patienternas oförmåga att sätta sig själva i säkerhet.

### 10.1 Sprinkler

Installation av sprinklersystem i lokalen skulle vara ett bra åtgärdsförslag för att reducera effektutvecklingen i ett brandförlopp. Då sprinklersystemet utlöses automatiskt vid termisk påverkan finns goda möjligheter för att reducera effekten från branden i ett tidigt skede. Ett sprinklersystem skulle även täcka alla ytor i byggnaden och således vara en generell lösning till alla tänkbara bränder som kan uppstå.

Hur stor effektutvecklingen är påverkar alla andra faktorer som orsakar skada i ett brandförlopp. Faktorer som strålning, rökgasproduktion, siktnedsättning och temperaturökning grundar sig alla i hur mycket massa och energi som frigörs under ett brandförlopp.

För att få en uppfattning om hur ett sprinklersystem skulle påverka brandförlopp i väntrummet och i tvättrummet gjordes ytterligare simuleringar i FDS där effektutvecklingen reducerades då sprinklern aktiverade. Luftomblandningen från sprinkeln tas ej i beaktande i de simulerade resultaten och ska därför endast tolkas som vad som händer ifall brandens effektutveckling reduceras.

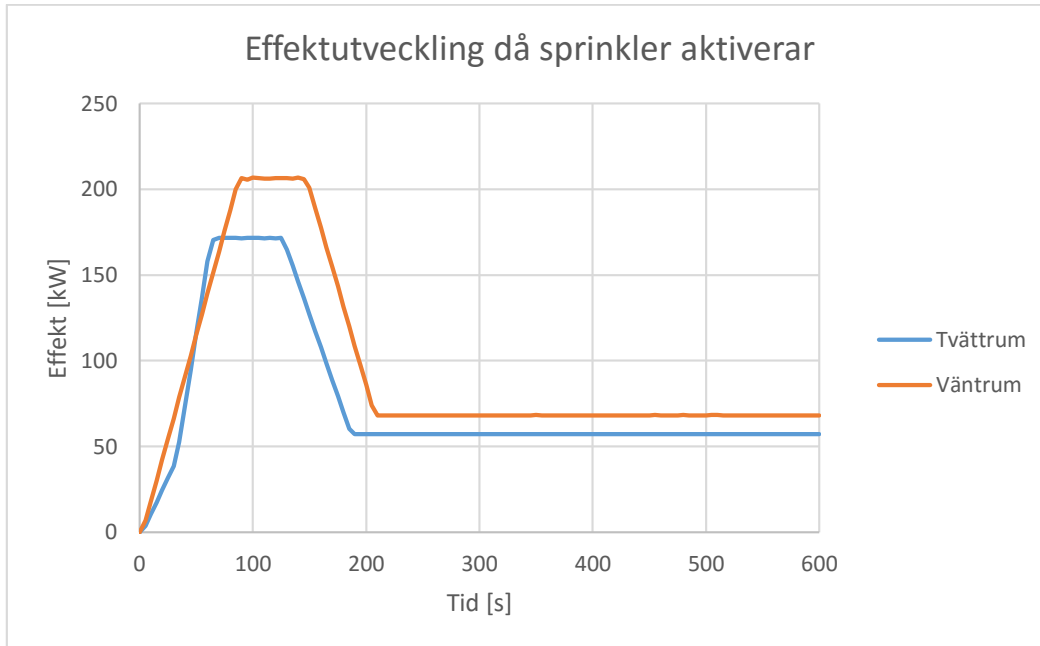
Reduceringen av effektutvecklingen baserades på riktlinjerna från Boverkets byggregler för analytisk dimensionering. Dessa riktlinjer anger att effektutvecklingen ska hållas konstant då sprinkler aktiveras under en minut. Därefter minskas effektutvecklingen till en tredjedel av effektutveckling då sprinklern aktiverade. Effektutvecklingen antas sedan förbli konstant (Boverket, 2013). Det finns möjlighet att simulera omblandning från sprinkler i FDS, men enligt rekommendation från BIVs CFD-guide (SFPE-BIV, 2013), simuleras sprinklerpåverkan endast med sänkt effektutveckling. Nedan presenteras ingående data till simuleringarna i FDS med sprinkleraktivering, se Tabell 11.

Tabell 11. Ingående data för sprinkleraktivering i FDS.

	Väntrum	Tvättrum
<b>Tid till sprinkleraktivering</b>	95 [s]	64 [s]
<b>RTI-värde</b>	36 [(ms) <sup>1/2</sup> ]	36 [(ms) <sup>1/2</sup> ]
<b>Aktiveringstemperatur</b>	68 [°C]	68 [°C]

### 10.1.1 Effektutveckling

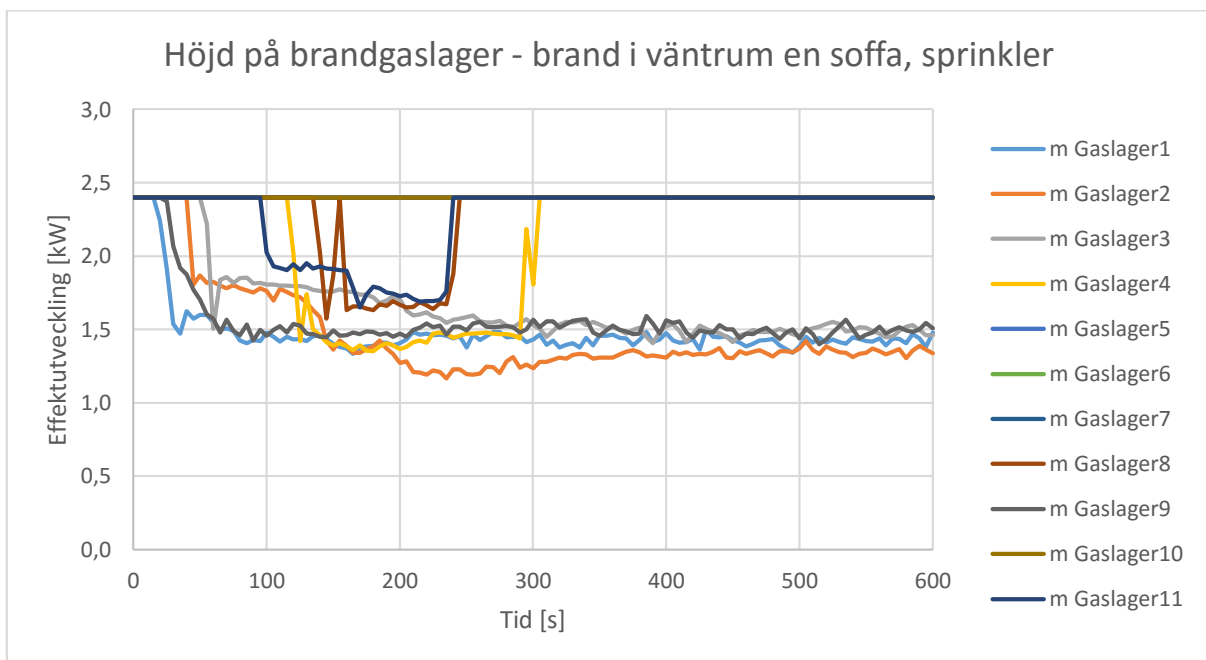
Nedan presenteras en jämförelse mellan effektutvecklingen för scenario 2, brand i väntrum, och scenario 12, brand i tvättrum, då sprinkler aktiveras och effekten från branden dämpas, se Figur 62.



Figur 62. Effektutvecklingen från branden i väntrummet då en soffa brinner samt tillväxthastigheten Fast för brand i tvättrummet då sprinkler aktiverar och reducerar effektutvecklingen.

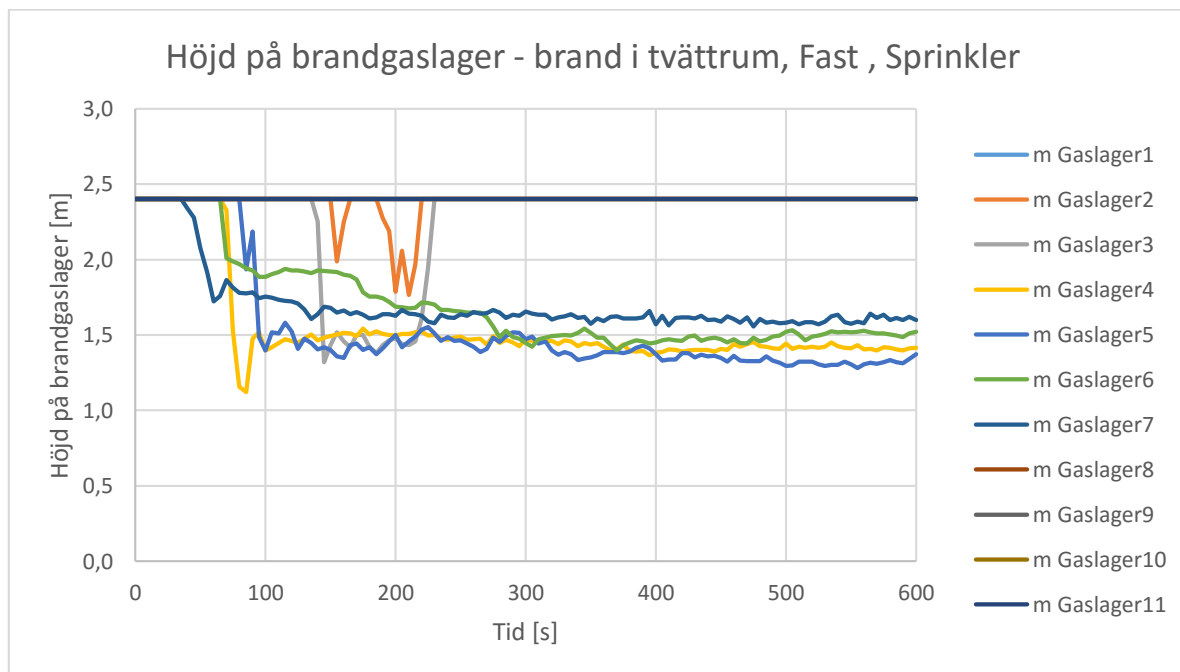
### 10.1.2 Sikt

Figur 63 visar höjden på brandgaslagret för scenario 2, brand i väntrum, då sprinkler har använts för att begränsa effektutvecklingen. Se Bilaga I.2 Placering av mätare för karta över placering av mätarna.



Figur 63. Grafen visar höjden på brandgaslagret för brand i väntrummet när en soffa brinner och sprinkler aktiveras som reducerar effektutvecklingen.

I figuren ovan kan höjden på brandgaslagret i hela lokalen utläsas när sprinkler har reducerat effektutvecklingen. I simuleringen brand i väntrum med en respektive två soffor utan sprinkler stabiliserades gaslagret mellan 0,5-1,5 meter höjd (se Figur 23 och Figur 24). När effektutvecklingen reduceras understiger gaslagerhöjden 1,5 meter endast på ett fåtal ställen allra närmst branden, se Figur 63. Rökgasproduktionen har alltså märkbart minskat. Figur 64 visar höjden på brandgaslagret för scenario 12, brand i tvättrum, då sprinkler har använts för att begränsa effektutvecklingen.



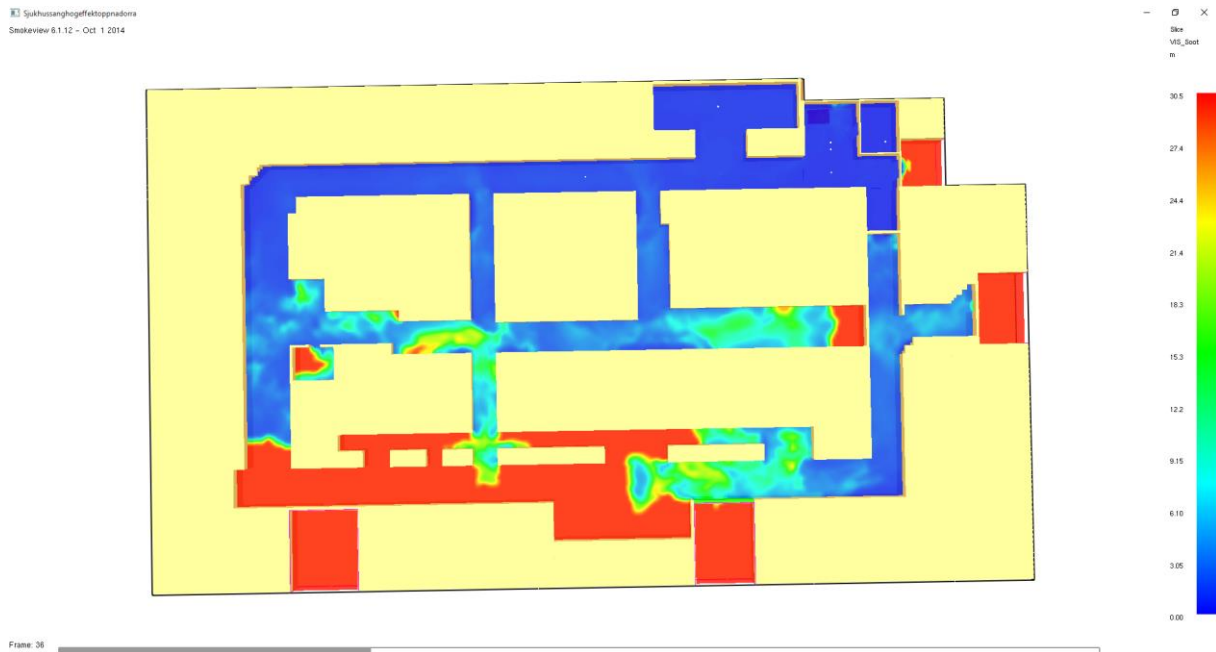
Figur 64. Grafen visar höjden på brandgaslagret då sprinkler reducerar effektutvecklingen för brand i tvättrum med effektutvecklingen Fast.

Resultaten ovan visar hur brandgaslagret skulle sett ut om sprinkleraktivering inte omblandat luften. Det är viktigt att påpeka att brandgaslagret skulle kunna bli lägre i verkligheten. Resultatet från simuleringen är endast användbart för att påvisa att den totala mängden rök minskat genom den reducerade effektutvecklingen. Detta gäller för både tvättrummet och väntrummet.

Figur 65 och Figur 66 representerar sikten 1,8 meter ovanför golvet då en soffa brinner och sprinklers har reducerat effektutvecklingen. Figurerna är från 60 respektive 180 sekunder in i brandförloppet. Det området som är blått i figuren representerar siktförhållanden  $\leq 5$  meter.

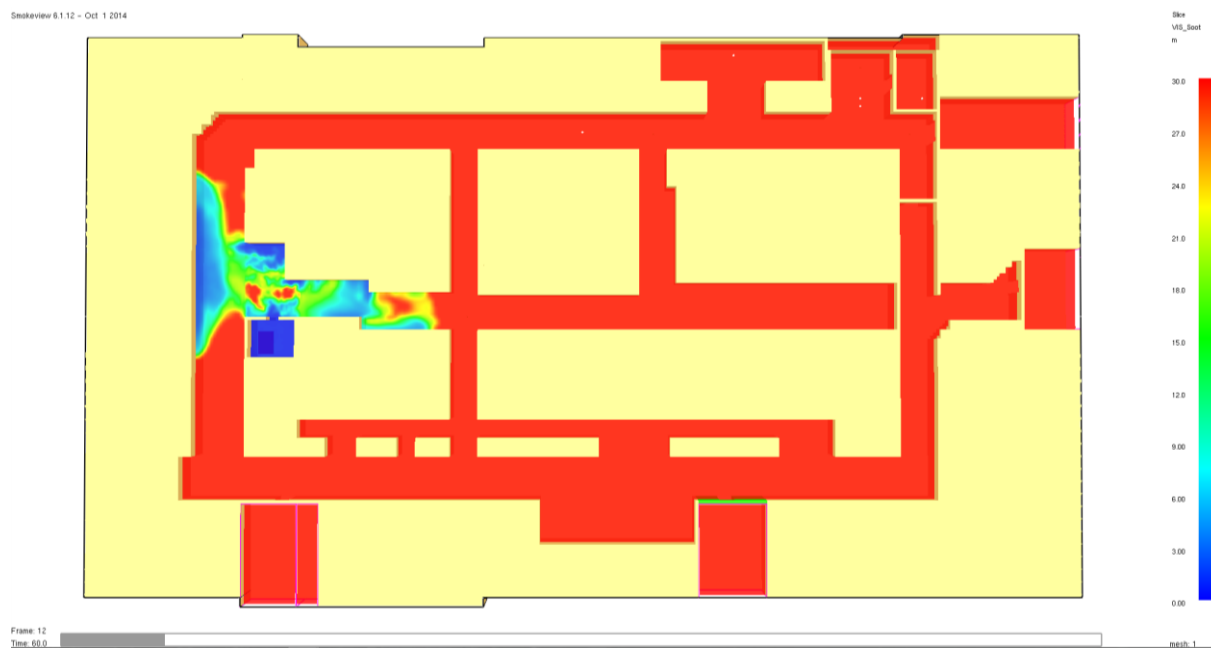


Figur 65. Slice file som visar sikten i scenario 2, brand i väntrum, efter 60 sekunders brandförlopp när sprinkler reducerar effektutvecklingen.

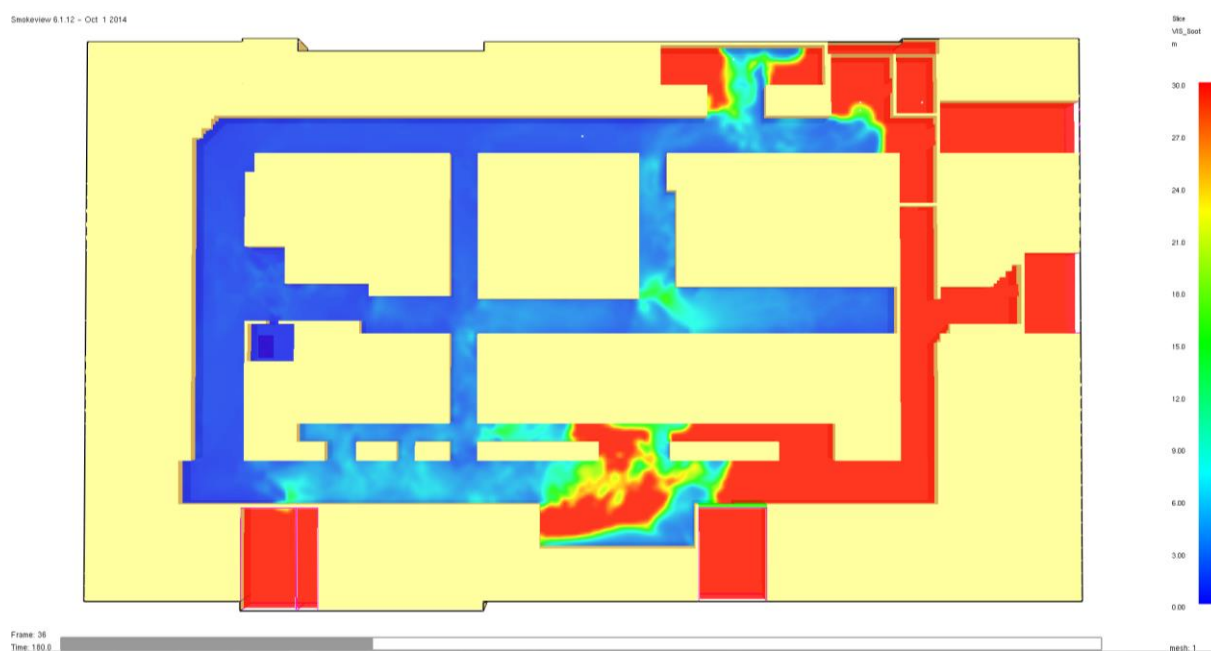


Figur 66. Slice file som visar sikten i scenario 2, brand i väntrum, efter 180 sekunder brandförlopp när sprinkler reducerar effektutvecklingen.

Figur 67 och Figur 68 representerar sikten 1,8 meter ovanför golvet för scenario 12, brand i tvätttrum, med tillväxthastighet Fast då sprinklers har reducerat effektutvecklingen. Figurerna är från 60 respektive 180 sekunder in i brandförloppet. Det området som är blått i figuren representerar siktförhållanden  $\leq 5$  meter.



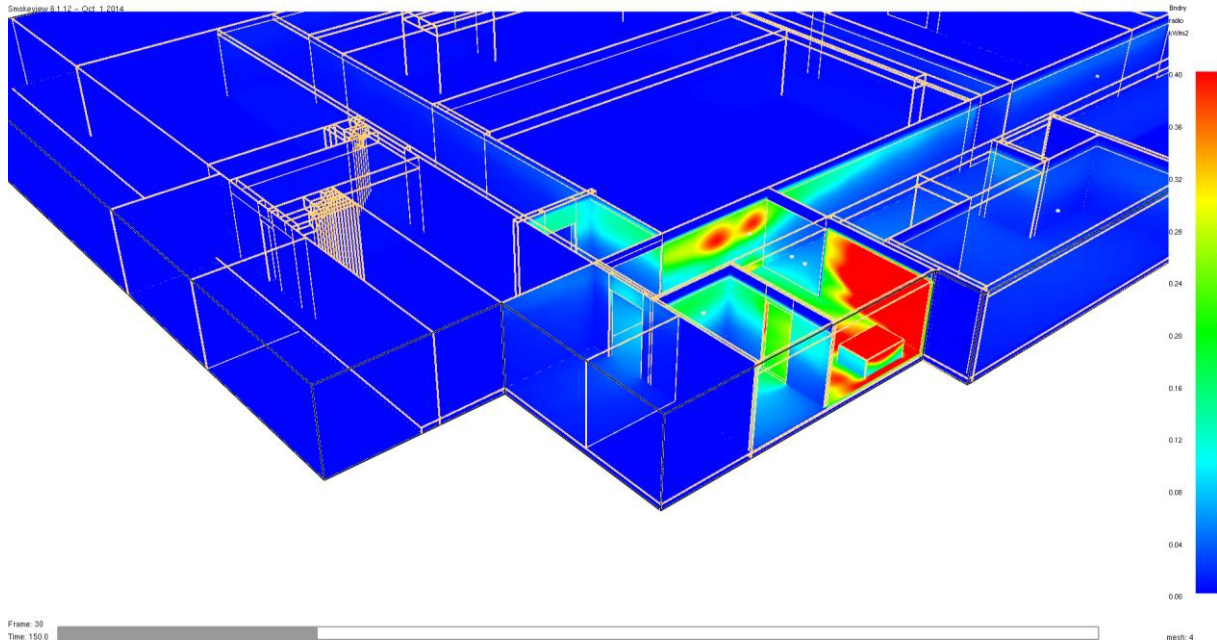
Figur 67. Slice file som visar sikten i brand i tvätttrum, reducerad effekt, efter 60 sekunders brandförlopp.



Figur 68. Slice file som visar sikten i brand i tvätttrum, reducerad effekt, efter 180 sekunders brandförlopp.

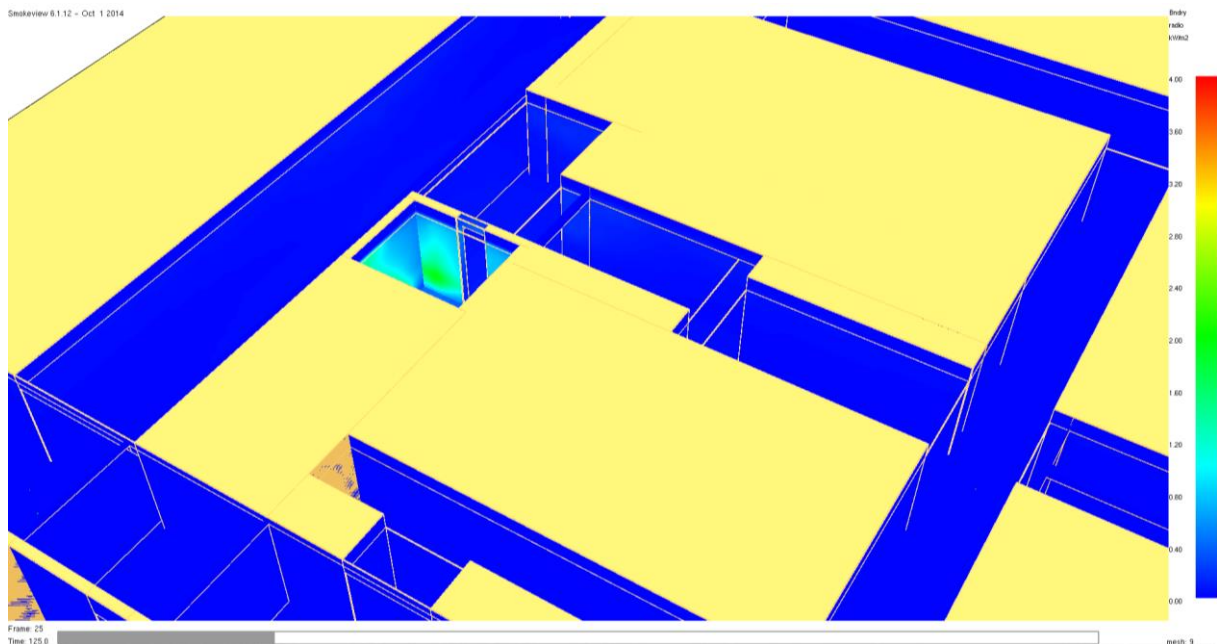
### 10.1.3 Strålning

I Figur 69 visas strålningspåverkan på omgivningen efter 150 sekunders brandförlopp då en soffa brinner och sprinkler har reducerat effektutvecklingen. Boundary filen visar förhållandena vid den tid strålningen är som högst. På de avstånd som är röda i figuren har gränsvärdet för strålning överstigits.



Figur 69. Boundary file som synliggör strålningspåverkan i väntrummet då en soffa brinner och sprinkler reducerar effektutvecklingen 240 sekunder in i brandförloppet.

Figur 70 visar strålningen när den är som högst i det fall då sprinklerutlösning reducerat effektutvecklingen i tvättrummet. Gränsvärdet för skadlig strålning överskrids inte under hela förloppet.

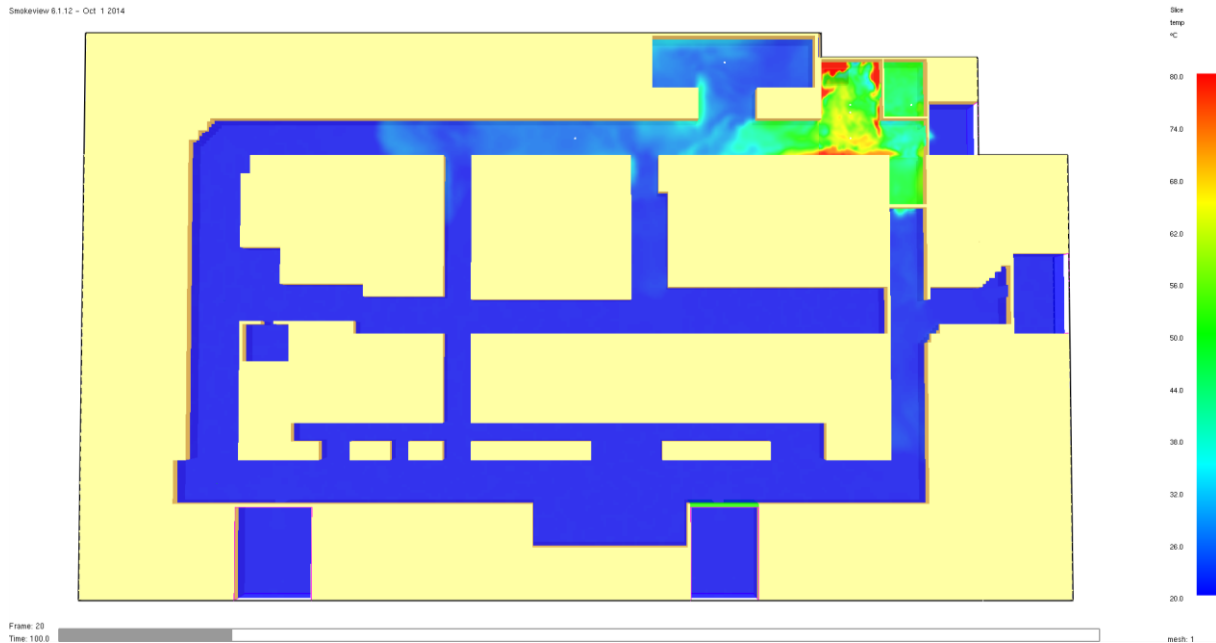


Figur 70 Boundary file som synliggör strålningspåverkan i tvättrummet då effektutvecklingen reducerats av sprinkler. 125 sekunder in i förloppet.



### 10.1.4 Temperatur

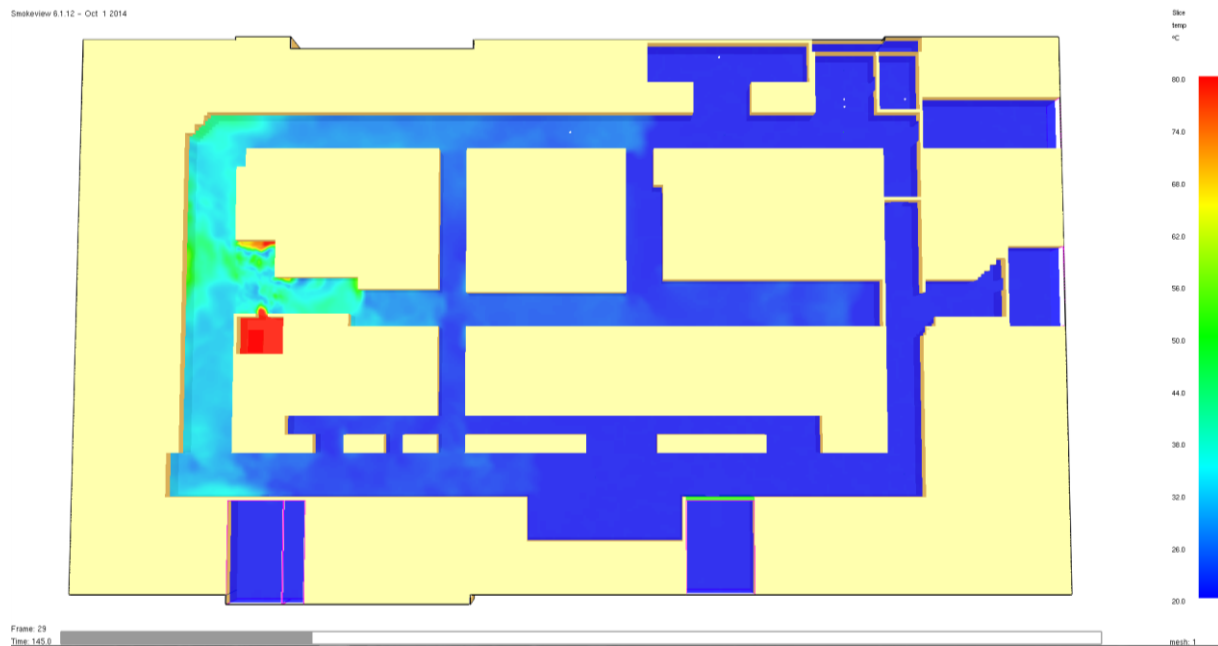
Figur 71 visar temperaturen i avdelningen då sprinklers har begränsat effektutvecklingen för scenario 2, brand i väntrum, när en soffa brinner. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst. Det område som är rött i figuren representerar temperaturförhållanden  $\geq 80$  °C.



Figur 71. Slice file över temperaturprofilen i byggnaden efter att effekten begränsats av sprinkleraktivering för brand i en soffa i väntrummet. Slice filen beräknar temperaturen på höjden 1,8 meter ovanför golvet.

I figuren ovan har fallet med brand i väntrum simulerats med reducerad effekt. Resultatet visar att ingen hög temperatur uppstår någonstans i byggnaden, med undantag för precis ovanför branden. Slice filen är jämförbar med de andra slice filerna eftersom samtliga är tagna då värmen är som högst i simuleringarna och på 1,8 meters höjd över golvet. Det framgår tydligt att sprinklerinstallering skulle medföra en förbättring med avseende på temperaturökning i fallet brand i väntrum.

Figur 72 visar temperaturen i avdelningen då sprinklers har begränsat effekten för scenario 12, brand i tvättrum. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst. Det området som är rött i figuren representerar temperaturförhållanden  $\geq 80$  °C.



Figur 72. Slice file över temperaturen på avdelningen efter att effekten begränsats av sprinkleraktivering i tvättrummet och tillväxtkurva Medium. Slice filen beräknar temperaturen på höjden 1,8 meter ovanför golvet.

I figuren ovan har branden i tvättrum begränsats av sprinkleraktivering. Även i detta fall framgår det tydligt att temperaturen inte kommer öka nämnvärt någonstans i lokalen. Sprinklerinstallering kommer därför bidra till att temperaturförhållanden i lokalen förbättras vid en brand.

## 10.2 Galler till undertak

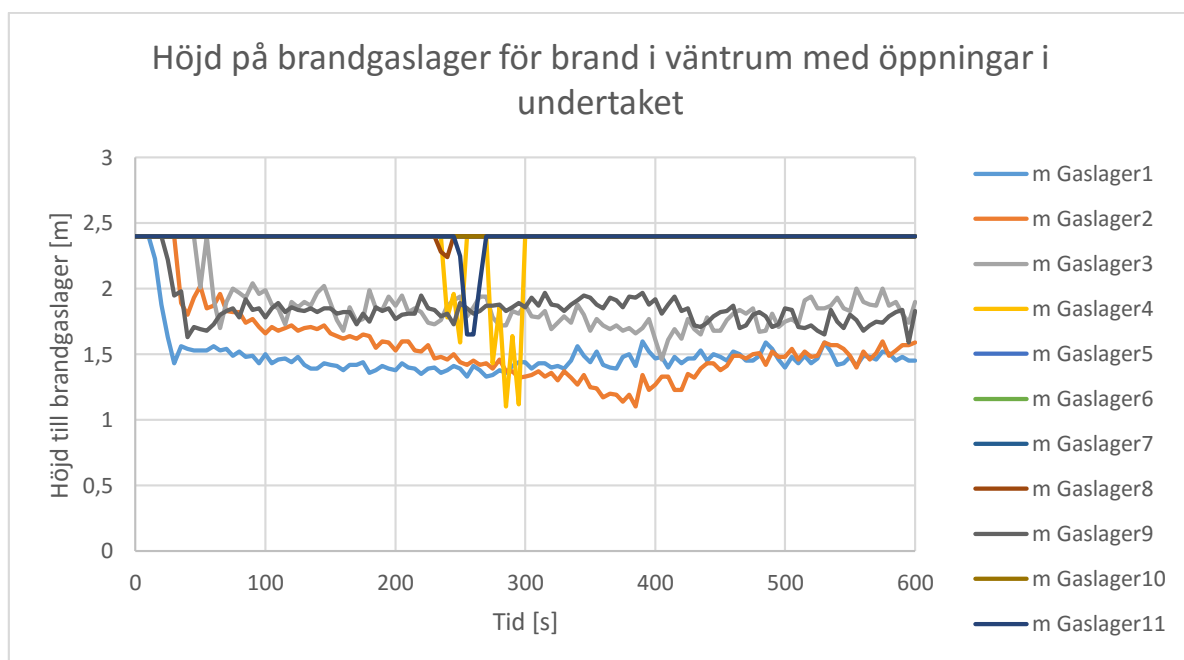
För att minska spridningen av brandgaser inom avdelningen genom korridorerna finns olika möjliga åtgärdsförslag. På grund av den låga takhöjden på röntgenavdelning undersöks ett åtgärdsförslag där plattor i undertaket byts ut till galler för att leda brandgaserna upp ovan undertaket. Detta för att erhålla bättre sikt i korridorerna och på så vis skapa en bättre miljö vid utrymning. I Figur 73 visas exempel på installation av galler i undertak.



Figur 73. Exempel av ett undertak där plattor byts ut till galler.

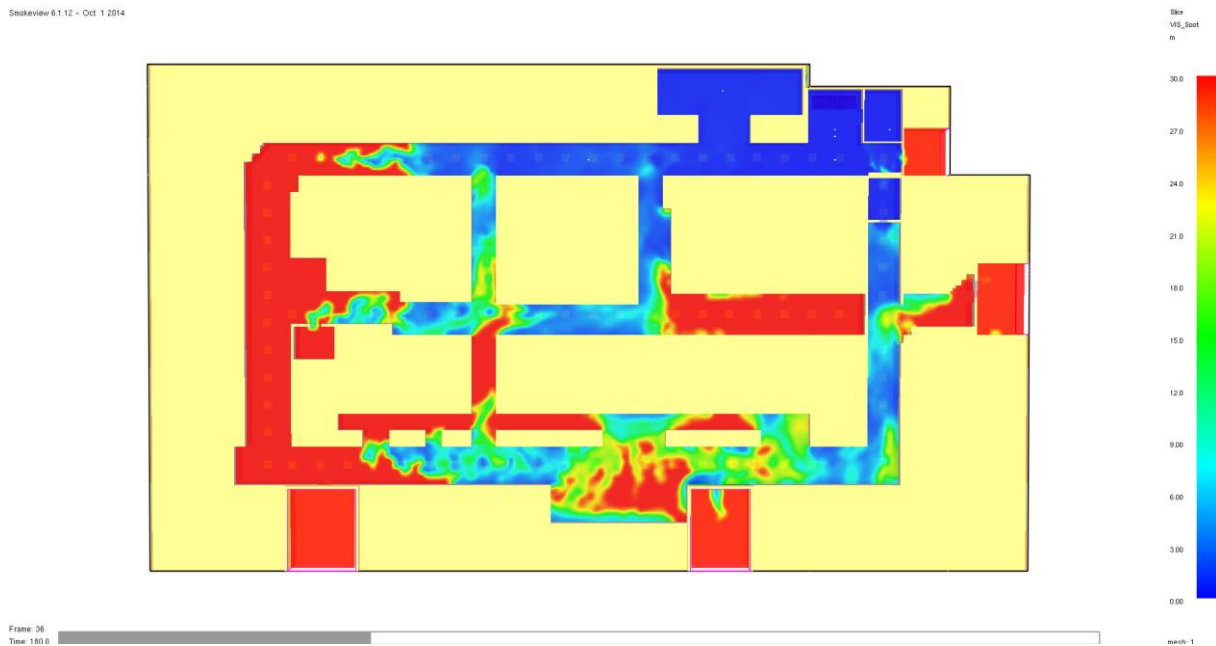
### 10.2.1 Sikt

I Figur 74 presenteras resultaten från FDS med åtgärdsförslaget där cirka tio procent av takytan öppnats upp när två soffor brinner för att kunna skapa bättre förhållanden vid utrymning. Brandgaserna ligger nu på 1,5-2 meters höjd på en viss del av röntgenavdelningen istället för 0,5-1,5 meter som innan i Figur 24.



Figur 74. Grafen visar höjden på brandgaslagret på olika platser i korridorerna på avdelningen då tio procent av undertaket ersatts med galler för en brand när två soffor brinner.

Figur 75 visar hur siktpprofilen ser ut 1,8 meter över golvet efter 180 sekunder då galler har satts in i undertaket. Sikten understiger fem meter i de områden som är mörkblå. Sikten kommer understiga fem meter i hela byggnaden efter ungefär fem minuter.



Figur 75. Slice file över sikten i det fall då undertaket öppnats upp av galler och två soffor brinner.

### 10.2.2 Temperatur

Figur 76 beskriver temperaturen på avdelningen för scenario 2, brand i väntrum, galler installerats i taket. Slice filen visar förhållandena vid den tid temperaturen är som högst. Det röda området visar temperaturer på 80 °C och uppåt medan det gröna området har 40 °C enligt FDS simuleringarna.



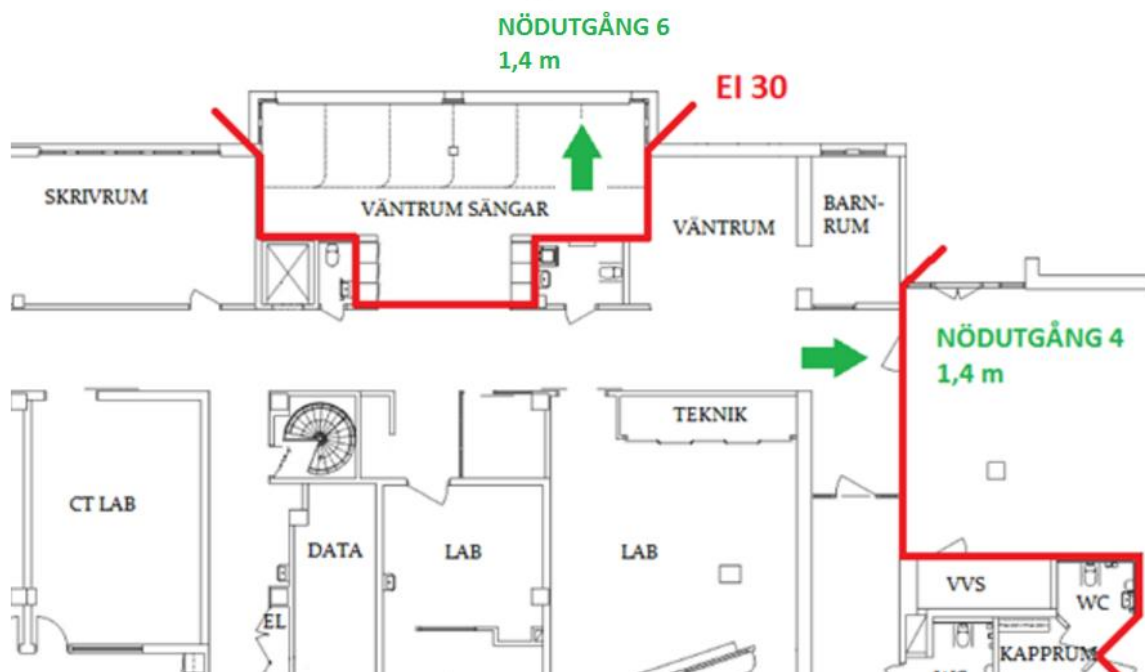
Figur 76. Slice file över temperaturprofilen på avdelningen i fallet då två soffor brinner i väntrummet.

Vid en jämförelse mellan Figur 32 och Figur 76 syns det att området som har temperaturer över 80 °C på 1,8 meters höjd har minskat.

### 10.3 Brandcellsindelning

Resultaten för utrymning visar att den totala utrymningstiden på röntgenavdelningen kan uppgå till 600 sekunder. Detta beror framförallt på den långa förberedelse tiden för de sängliggande patienterna som kräver assistans vid utrymning. De sängliggande patienterna kommer därför vara avgörande för den totala utrymningstiden på röntgenavdelningen, och dessa patienter löper av den anledningen störst risk att utsättas för kritiska förhållanden som uppstår vid brand.

För att skydda de sängliggande patienterna om en brand uppstår skulle ett rimligt åtgärdsförslag vara att utforma väntrummet för sängliggande patienter till en egen brandcell. En brandcellsgräns med klass EI30 kan anses ge ett tillräckligt skydd då räddningstjänsten förutses påbörja en insats inom 6-10 minuter efter det automatiska brandlarmet har aktiverat. Åtgärdsförslaget bygger på att man inför rutiner som innebär att de sängliggande patienterna *alltid* placeras i väntrummet för sängar om de inte är under uppsikt av vårdpersonalen. Detta ökar säkerheten avsevärt för de sängliggande patienterna, förutsatt att branden startar utanför rummet. En dörr i brandcellens fasad som leder direkt ut ur avdelningen bör installeras för att räddningstjänst ska kunna undsätta patienterna vid brand. I Figur 77 visas en bild över väntrummet för sängar med förslag på brandcellsindelning.



Figur 77. Visar en bild på väntrummet för sängar med brandcellsindelning som åtgärdsförslag.

### 10.4 Strålningsskydd mellan sjukhussängarna

De sängliggande patienterna kommer inom cirka 1 minut utsättas för den kritiska strålningen på 3 kW enligt Figur 39 vilket kan lösas genom att sätta in ett strålningsskydd mellan sängarna. Ett strålningsskydd som obrännbara draperier eller skiljeväggar som kan hantera den yttre påverkan från resultaten kommer skydda brandens strålning från de sängliggande patienterna.

En annan lösning är också en alternativ placering av sjukhussängarna i rummet så att avståndet mellan sängarna ökar och på så sett ge längre tid till dess att kritiska förhållanden för strålning uppnås.

### 10.5 Sammanfattning åtgärdsförslag

- Reducerad effektutveckling till följd av sprinkler kommer förbättra förhållandena med avseende på strålning, sikt och temperatur avsevärt.
- Öppna upp undertaket kommer inte lösa problemen med sikt och temperatur helt men kommer ge en längre tid till kritiska förhållanden och även begränsa området där kritiska förhållanden råder.
- Sängväntrummet som egen brandcell på avdelningen kommer öka säkerheten för de mest utsatta vid brand.
- Strålningsskydd mellan sängar kommer säkerställa de sängliggande patienterna ifall de inte kan utrymma själva.

## 11. Diskussion

Nedan följer en diskussion om tillförlitligheten av resultaten från simuleringarna i de olika scenerierna samt synpunkter om de möjliga åtgärdsförslag som föreslagits i riskvärderingen.

### 11.1 FDS

Simuleringarna i FDS ger konservativa resultat vad gäller sikten, då programmet inte tar hänsyn till sotdeponering (NIST, 2016) och att valt värde för sotproduktionen kan anses vara högt, framförallt för scenario 2, brand i väntrum. Att använda en konstant fraktion av sotproduktionen är i sig en grov förenkling av verkligheten, då flammans turbulens och syretillgång gör att fraktionen varierar under brandförloppet. Genom att välja ett konstant, högt sotfraktionsvärde säkerställer vi att sotproduktionen inte understiger verkligheten, vilket är konservativt.

Sikten undersöks på höjden 1,8 meter ovanför golvet vilket innebär att nödutrymningsskyltarna som sitter nära taket på cirka 2,2 meters höjd kommer vara i brandgaslagret. FDS tar heller inte hänsyn till illumination av röken på grund av takbelysningen. Detta är en avgörande faktor för hur långt en person faktiskt kan se inne i ett rökfyllt utrymme. Simuleringen kan då visa att en person kan se utrymningsvägen men de i verkligheten bara kommer se den upplysta röken.

Valet av sotfraktionen i scenario 12, brand i tvättrum, grundar sig i ett medelvärde mellan två olika källor. Värdet för trä ur Enclosure fire dynamics ansågs vara säkrast att använda på grund av dess höga anseende. Dock ansågs inte värdet vara applicerbart för scenario 12 då sotfraktionsvärdet är för välventilerade bränder. Ett annat värde som ansågs ligga närmre sanningen visade på ett exceptionellt högt värde, som även detta inte stämde tillräckligt bra för scenariot på grund av att man brände även plastglas osv där. Genom att kvalitativt bedöma faktorer som det specifika scenariots volym, geometri, tillgång till syre och kemiska uppbyggnad, i kombination med att utrymmet även innehåller en mängd vitvaror samt mycket plast, kom gruppen fram till att ett medelvärde mellan källorna ligger närmast sanningen.

I simuleringarna gjordes förenklingar av geometrin som kan ha påverkat sikten i lokalen. Detta beror framför allt på att endast korridorerna togs med i simuleringarna, och övriga utrymmen antogs vara förslutna. I verkligheten hade vissa utrymmen varit öppna, vilket hade ökat utspädningen av brandgaserna på avdelningen och således förbättrat sikten på avdelningen. Med samma resonemang hade även läckage i byggnaden påverkat sikten, vilket inte togs hänsyn till i FDS utöver de öppnade dörrarna.

FDS beskriver strålningen dåligt i närheten av flammen eftersom strålningen diskretiserats till 104 vinklar. Detta innebär att resultaten är osäkra, men att de ändå ger en bild av hur de olika effektutvecklingarna påverkar förloppet.

De valda scenarierna grundar sig i antaganden om väntrummetts inredning samt mängd bränsle i tvättrummet. Osäkerheten är speciellt stor i fallet med brand i väntrummet eftersom det är svårt att uppskatta hur inredningen kommer se ut i framtiden, vilket skulle kunna påverka konsekvensen av branden. Om man skulle välja att ställa in större eller fler soffor förändrar detta brandscenariot avsevärt. Resultaten från brand i väntrum skulle då på flera plan förändras. Som ett försök att kringgå detta problem simulerades två fall i varje scenario, ett fall som kan anses vara rimligt antaget och ett fall som kan anses vara mer konservativt. I fallet med väntrummet antogs kurvan för effektutveckling dubbleras i varje tidssteg från det

första fallet till det andra. Detta är inte något som överensstämmer helt med verkligheten då det är osannolikt att båda bränderna kommer uppnå sin maxeffekt vid samma tidpunkt. I båda fallen kommer branden att starta i ena soffan och i det fall då två soffor brinner kommer den andra soffan i verkligheten att antända först då tillräcklig strålningsintensitet uppnåtts. Tillväxten kommer i det andra fallet alltså att likna det första till en början för att sedan snabbt växa till den dubbla effekten på grund av värmen och återstrålningen från den redan brinnande soffan. Det betyder alltså att branden överskattas i det tidiga skedet. På grund av osäkerheter vad gäller placering av annan soffa vilket påverkar tiden till antändning valdes denna förenkling för effektutvecklingen, vilket en bit in i förloppet bör stämma bra överens.

En av fördelarna med att simulera så pass olika effekter är att det underlättar om man i framtiden vill extrapolera resultaten. Om tre soffor skulle brinna kommer sotproduktionen öka med ungefär 50 %. Denna form av känslighetsanalys gör att man får en tydligare bild av hur effektutvecklingen påverkar brandförloppet. Effektutvecklingen är dessutom direkt påverkande för variabler som sotproduktion, strålning, temperatur och kolmonoxidproduktion, vilket gör att alla resultat förändras när effektutvecklingen förändras. Det är dock viktigt att notera att variabler som sikt och strålning inte ökar linjärt med effektutvecklingen.

I scenario 12 då brand uppstår i tvättrummet antas branden bli ventilationskontrollerad. Beräkningarna för maximal effektutveckling baseras på att allt syre som tillförs rummet kommer bidra till förbränningen. Detta är ett konservativt antagande då det innebär är att effektutvecklingen överskattas.

Värdet för HRRPUA i scenario 12, brand i tvättrum, kan anses vara högt då övertändning uppstått. I verkligheten hade effekten varit utspridd mellan allt brännbart material i rummet. Eftersom simuleringen använder en brännare gör detta att inte lika mycket luft hinner tränga in i flammen. Brandgaslagret blir då varmare och hastigheten på brandgaserna blir högre.

Tvättrummet är en liten sluten volym där syretillförseln vid brand förväntas bli begränsad. Detta medför att sotproduktionen i verkligheten skulle ökat när effekten ökade och mängden syre inte längre räckt till. Det högt valda värdet på sotproduktionen är konservativt fram till dess att syretillförseln inte längre är tillräcklig. När branden i tvättrummet utvecklas till det stadiet att den är ventilationskontrollerad kommer den valda sotproduktionen alltså inte vara konservativ längre.

Samma problem uppstår för kolmonoxidproduktion som för sotproduktion, eftersom båda beräknas som fraktioner av förbränd massa. Skillnaden är att kolmonoxidproduktionen varierar avsevärt mycket mer när förbränningen går från bränslekontrollerad till ventilationskontrollerad. Detta blir endast ett problem i fallet då det brinner i tvättrummet eftersom öppningen till utrymmet är mindre. Efter det att branden blir ventilationskontrollerad är kolmonoxidfraktionen inte längre giltig. Däremot är det möjligt att linjärt extrapolera för varje cell i slice filen. Därifrån framgår det att kolmonoxiden endast blir giftig i de områden där temperatur och sikt redan blivit kritiska. Att koncentrationen kolmonoxid inte kommer upp till de valda skadekriterier i resultaten är inte särskilt troligt, koncentrationen kommer alltså bli högre i verkligheten trots att simuleringarna i FDS visar värden under skadekriterierna.

Sotfraktionerna för fallet brand i tvättrum har valts till att representera bränslekontrollerade förhållanden. Det ventilationskontrollerade tillståndet för brand i tvättrum sker efter cirka 340 respektive 190 sekunder i Medium- och Fastbränderna i FDS simuleringarna. Tiden till dess



att alla, förutom de sängliggande patienterna, har utrymt är cirka 250 sekunder. Det hade alltså varit en väldigt stor överskattning av vilka produkter som bildas under den tiden som det finns människor i lokalen ifall värdena för sot- och kolmonoxidproduktion hade valts för underventilerade förhållanden från brandens initiala skede.

I simuleringarna har ingen spridningsfunktion av branden använts, vilket i vissa fall har gjort att  $D^*/dx$  och  $Q^*$  inte ligger inom rekommenderade intervall se Bilaga I.3 . Framförallt i det tidiga skedet har brandens effekt i förhållande till brandens area och storleken på meshen varit för liten. Detta har gjort att de rekommenderade värdena har underskridits för både  $D^*/dx$  och  $Q^*$ , framförallt i början av simuleringarna. För  $D^*/dx$  innebär detta att turbulensen i flammen inte blir tillräckligt väl upplöst, vilket gör att luftinblandningen i flammen överskattas. Detta gör att temperatur och hastigheten i plymen underskattas, vilket påverkar rökspridningen i lokalen. Då  $Q^*$  ligger under de rekommenderade värdena så kommer inblandningen av luft öka, då brandens yta är för stor i förhållande till brandens effekt. Även detta gör att temperatur och plymhastighet underskattas i det tidiga skedet av branden, vilket fortplantar sig i hela simuleringen.

Dörrarna som används vid utrymning antas vara öppna under hela brandförloppet, vilket de inte skulle varit i verkligheten. Dörrarna på avdelningen är självstängande och öppnas endast när utrymmande människor öppnar dem. Detta antagande leder till att en viss del av röken i simuleringen leds ut, vilket den inte hade gjort i verkligheten när utrymningen är färdig. Detta är även en bidragande faktor till varför brandgaslagret stabiliserar sig och inte sjunker närmare golvet i simuleringarna. Tryckökningen som skapas av branden ger även upphov till ett ökat flöde åt riktningar som leder till läckor och öppningar, då olika dörrar öppnas vid olika tidpunkter under utrymning. Detta kommer leda till att rökspridning ändrar riktning varje gång en ny öppning öppnas. Begränsningen är medvetet gjord och gäller för samtliga simuleringar. Eftersom den gäller för samtliga simuleringar blir resultat och åtgärdsresultat jämförbara med varandra.

## 11.2 Utrymning

I en brandteknisk riskvärdering där människors säkerhet står i fokus är tiden för utrymning av byggnaden en avgörande parameter. Analys av utrymningsförloppet och tiden tills att människor befinner sig på en säker plats är helt avgörande för om byggnaden kan anses vara säker eller inte. Arbetet med denna rapport har därför ägnats mycket tid till litteraturstudier, diskussioner samt simuleringar för att erhålla ett så realistiskt och troligt utrymningsförlopp som möjligt.

Forskning och tidigare studier visar att tiden för utrymning av en byggnad kan ha mycket stor variation. Detta beror framförallt på osäkerheten i förberedelsetiden, då tiden till påbörjad utrymning påverkas av en rad olika faktorer. Sociala faktorer, möjlighet att utrymma själv samt vilken aktivitet personen ägnar sig åt när larmet aktiveras bidrar till stora osäkerheter i utrymningsförloppet.

I denna rapport har en studie av University of Cantabria där en utrymningsövning vid ett sjukhus dokumenterats legat till grund för simuleringarna. I studien delades patienter upp i olika kategorier för att skilja på olika patienters förmåga att utrymma. Detta ansågs vara kompatibelt med vårt objekt och därför valde gruppen att använda tiderna för förberedelse samt gånghastigheter från denna studie.

I rapport från University of Cantabria påpekas dock att förhållandena vid dokumenterade utrymningsövningen anses vara värsta tänkbara eftersom inga anhöriga personer fanns tillgängliga, då man kan tänka sig att anhöriga personer till patienterna kan tänkas hjälpa till vid utrymningen. I studien varierades även antalet vårdpersonal från 12 till 24 stycken vilket anses vara representativt för vårt objekt. (Alonso, 2014)

Varseblivningstiden i simuleringarna är helt baserat på tiden för detektoraktivering i samtliga scenarier. Detta kan anses vara orealistiskt då man kan förvänta sig att personer nära branden väljer att utrymma innan detektorn aktiverar, förutsatt att de upptäcker branden. Det finns även en sannolikhet att detektionssystemet felfungerar vid brand. Risken med ett felfungerande detektorsystem kan ur avseende upptäckt bli värre på natten då det inte är lika stor omsättning av människor på röntgenavdelningen som kan upptäcka branden. Detta kan leda till att branden kan växa sig större innan en första insats från personalen kan påbörjas och då bli så pass stor att den inte går att släcka med den tillgängliga släckutrustningen på röntgenavdelningen.

Osäkerheterna vad gäller tiden för utrymning har främst sitt ursprung i förberedelsetiden (Frantzich, 2001), och att även denna är den mest avgörande parametern för den totala utrymningstiden för röntgenavdelningen. Eftersom det förväntade värdet för förberedelsetiden för de sängliggande patienterna är hela 360 sekunder kommer varseblivningstiden och förflyttningstiden i sammanhanget bli näst intill försumbara. Åtgärder för att minska utrymningstiden bör därför fokusera på att reducera förberedelsetiden för sängliggande patienter. Dock anser gruppen att en åtgärd för att minska förberedelsetiden för patienterna skulle bli svår och kostsam i praktiken, då kostnaden för ökad personalstyrka samt avsatt tid till kontinuerlig utrymningsövning skulle bli kostsamt.

Utrymningssimuleringarna har inte tagit hänsyn till att personalen och patienten i magnetröntgen kan välja att inte utrymma avdelningen. I utrymningssimuleringarna antogs även att nödutgång nummer ett var stängd under hela utrymningsförloppet. Vid platsbesöket konstaterades att dörrens beslag var mycket olämpligt samt att dörren var mycket svår att öppna.

Det ska beaktas att de valda brandscenarierna och utrymningstiderna har en realistisk men konservativ grund då de ska representera en stor variation av möjliga bränder och patienter på röntgenavdelningen. Tiden till dess att kritiska förhållanden råder på avdelningen samt den tid patienter behöver för att sätta sig i säkerhet kan därför variera åt mer gynnsamma förhållanden än de valda brandscenariernas och utrymningssimuleringarnas resultat.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att för att minska riskerna på avdelningen vid utrymning bör fokus ligga på de patienter som saknar förmåga att utrymma själva, då dessa personer med största sannolikhet kommer att komma sist ut från lokalen.

### 11.3 Åtgärdsförslag

Åtgärdsförslagen som togs fram inriktade sig mest på att lösa de direkta problemen kring brandgaserna för att ge en robusthet till de presenterade lösningarna. Det hade istället varit möjligt att försöka lösa den mänskliga aspekten kring utrymningen för att minska tiden för att alla ska kunna sätta sig i säkerhet. Den mänskliga aspekten hade dock varit en åtgärd som hade varierat för varje enskilt fall då möjligheten till utrymning är högst beroende på den enskilde individen. Därför ansåg gruppen att det kommer ge en bättre säkerhet på avdelningen

genom att försöka reducera den direkta orsaken till faran, som i det här fallet är branden och dess rökspridning.

I scenario brand i väntrum hade ett möjligt åtgärdsförslag varit att reducera brandbelastningen genom att sätta in flamsäkra möbler. Detta hade förhindrat branden från att starta från första början. Detta ansågs dock som en lösning som varit känslig för den mänskliga faktorn, då det är svårt att säga om sofforna får stå kvar i framtiden. Genom att förlita sig på att arbetarna och inredarna inte byter tillbaka till brännbara soffor uppstår en osäkerhet i förslaget. Det anses inte vara en robust lösning, varför man fokuserade på lösningar som inte enkelt kan påverkas av människor.

För att minska rökproduktionen och sänka temperaturen i brandgaserna rekommenderades sprinkler som en åtgärd där förslaget även undersöktes i FDS-simuleringar. En installation av sprinkler kommer begränsa brandens effektutveckling. Den reducerade effektutvecklingen leder till en reducerad massavbrinring som i sin tur minskar brandgasproduktionen. Sprinkler hindrar även brandspridning genom att kyla och väta närliggande ytor i rummet.

Effektkurvans utformning vid aktivering av sprinkler är utformad enligt riktlinjer från BBRAD. Detta är en generalisering av hur effekten från en brand begränsas då sprinkler aktiveras. Det är svårt att exakt modellera hur effekten från en brand påverkas av sprinkleraktivering eftersom den påverkas av bland annat vattentäthet, avstånd till branden, träffyta på branden och sprinklerhuvud. På grund av osäkerheten i alla dessa faktorer anses generaliseringen vara godtagbar och representativ för en mängd olika scenarier.

Tiden till sprinkleraktivering kommer påverka hur mycket branden hunnit växa och därav vilken effektutveckling branden har. Det finns en rad olika faktorer som kan påverka tiden till sprinkleraktivering till exempel avstånd från branden och brandens tillväxthastighet. Det kan därför inte uteslutas att effektkurvorna i Figur 62 kommer ha en annan utformning.

Eftersom man inte tog hänsyn till luftomblandning från sprinkleraktivering i FDS-simuleringarna blir spridningen av brandgaser felaktig. Luftomblandningen från sprinkler skulle leda till att brandgaslagret fördelas från golv till tak i större delen av byggnaden. Brandgaslagret skulle bli tätare närmre branden och tunnare längre från branden. Resultatet från simuleringen med sprinkler utan luftomblandning leder alltså till en högre brandgaslagerhöjd än med riktig sprinkler, och underskattar därmed höjden från golvet. Själva densiteten på brandgaserna späds däremot inte ut i simuleringen utan luftomblandning, och den rök som simulerades utan omblandning blir därför tätare än med luftomblandning. De simulerade resultaten överskattas därför med avseende på sikten.

I fallet då installering av galler till undertaket simulerades visade resultaten att både sikt- och temperaturförhållanden förbättrades. Detta på grund av att de varma brandgaserna leds upp ovan undertaket istället för att försämma förhållandena i själva korridorerna. Vid en närmare jämförelse av resultaten i scenario 2, brand i väntrum, när två soffor brinner där skillnaden är med eller utan galler i undertaket ges ett förbättrat resultat med galler. Höjden på brandgaslagret ligger i Figur 24 på 0.5-1.5 meters höjd medan med galler stabiliserar sig brandgaslagret på 1.5-2 meter över golvet. När det kommer till sikten så kommer röntgenavdelningen att rökfyllas med eller utan galler men det kommer ta längre tid med galler. En jämförelse mellan sikten i Figur 28 och Figur 75 då 180 sekunder av brandförloppet

fortlöp ses en tydlig skillnad hur stort område av röntgenavdelningen som har fått siktförhållanden under 5 meter. Det framgår även att området med temperaturer över 80 °C inte längre är lika utsträckt vid en observation av Figur 31 och Figur 76.

Installation av galler till undertaket är en enkel och kostnadseffektiv åtgärd eftersom den inte kräver några större ingrepp i den nuvarande konstruktionen.

När plattor i undertaket ersätts med galler kan det finnas behov av att installera fler detektorer ovanför undertaket, då det idag är konstruerat för att detektera brandgaser som rör sig längs undertaket.

Vid installation av sprinkler i kombination med galler i undertaket kan detta påverka tiden tills att sprinklern aktiveras. Då de varma brandgaserna stiger ovanför undertaket kan tiden till sprinkleraktivering påverkas. Kombinationen av både sprinkler och byte av undertak kan också ge försämrad effekt av öppningarna i taket, då den termiska stigkraften reduceras vid sprinkleraktivering.

Åtgärdsförslaget som syftar till att brandcellsindela väntrummet för sängar ökar säkerheten för de patienter som kräver längst tid vid utrymning. Åtgärdsförslaget anses praktiskt genomförbart för avdelningen, med en hög tillförlitlighet vid brand. Åtgärdsförslaget reducerar även det stora ansvar vid utrymning som idag åligger personalen. Nackdelen med åtgärden är att det inte hjälper om en brand uppstår inne i väntrummet för sängar. Åtgärdsförslaget ökar heller säkerheten för övriga människor som befinner sig på avdelningen, till skillnad från till exempel ett sprinklersystem.

Åtgärderna för att skydda patienterna från strålningen mellan sjukhussängarna vid brand går att lösa med till exempel en avskiljande vägg eller längre avstånd mellan sängarna. Det anses dock som en enkel åtgärd att byta till brandklassade draperier då dessa inte kommer begränsa den nuvarande verksamheten på avdelningen.

Eftersom ingen information om huruvida sängarna är flamskyddade erhöles vid platsbesöket. Därför antogs madrasserna inte vara det, eftersom detta är ett konservativt antagande. Även om madrasserna hade varit flamskyddade hade kanske inte lakan, täcken och kuddar varit det, vilket hade kunnat leda till ett häftigt brandförlopp. Det är dock säkert att anta att flamskyddade madrasser hade lindrat förloppet i sin helhet, men detta undersöktes inte närmre.


## Referenser

- Alonso, V. (2014). *Egress Modelling in Health Care Occupancies*. Quincy: The Fire Protection Research Foundation.
- Berggren, L. I. (2016, Februari 11).
- Björk, A. J. (2016, February 11).
- Boehmer, H. R. (2008). *Numerical modeling och full scale limited ventilated fire tests*. Washington D.C.: University of Maryland.
- Boverket. (2013). *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*.
- Brandskyddsföreningen. (2002). *Rekommendationer - Installation av sprinkler*.
- Cox, G., & Sumar, K. (2002). *Modeling enclosure Fires Using CFD*. Society of Fire Protection Engineers.
- Dovier, H. (2015, Augusti 28). *Om Värnamo sjukhus*. Retrieved from Region Jönköpings län: <http://www.rjl.se/Om-regionen/verksamheter/Varnamo-sjukhus/Om-Varnamo-sjukhus/>
- Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*. Wiley.
- Fire Dynamics*. (2013). Retrieved from NIST: [http://www.nist.gov/fire/fire\\_behavior.cfm](http://www.nist.gov/fire/fire_behavior.cfm)
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Lunds Tekniska Högskola.
- Gann, R. G., & Bryner, N. P. (2008). *Combustion Products and Their Effects on Life Safety*. National Institute of Standards and Technology.
- Gunnarsson, H. (2003). *Evakuering genom rök*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Hertzberg, T., Sundström, B., & van Hees, P. (2003). *Design fires for enclosures*. Borås: SP Sveriges provnings- och forskningsinstitut.
- Holmstedt, G. S., & Kaiser, I. (1983). *Brand i vårdbäddar*. Borås: Statens Provningsanstalt.
- Johansson, H. (1999). *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press LLC.
- Kauppinen, M. (2016, 03 21). *Värnamo Räddningstjänst*. Retrieved from <http://www.varnamo.se/Snabblankar/Raddningstjansten-Varnamo/Organisation/Operativa-avdelningen/Raddningsstation-Varnamo.html>
- Mealy, C. L., & Gottuk, D. T. (2013, Mars). *Ignitable Liquid Fuel Fires in Buildings – A Study of Fire Dynamics*. U.S. Department of Justice.
- Mulholland, G. W. (2002). *SFPE Handbook* (third ed.). (L. C. Beyler, Ed.) Bethesda, Maryland, USA: National Fire Protection Association. Retrieved 01 19, 2016

- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2016, Februari 25). *Statistikdatabasen*. Retrieved from IDA: <http://ida.msb.se/ida2#page=a0002>
- Niklasson, M. (2013). *Brandskydd i Förskolor - Anpassat till barns utrymningsbeteende?* Luleå: Luleå Tekniska Högskola.
- Nilsson, D. (2016).
- NIST. (2016). *FDS Validation guide*.
- SFPE-BIV. (2013). *Stöd för tillämpning-CFD*. Malmö: Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Lund University, Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety.
- Stroup, D., & Lindeman, A. (2013). *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications*. Washington, DC: United States Nuclear Regulatory Commission.
- Zalok, E., Bwalya, A., & Hadjisopocleous, G. (2005). *Medium-scale fire experiments of commercial premises*. Ottawa: National Research Council Canada.

## Bilaga A – SBA

Figur 78 visar den checklista som undertecknas vid nyanställning.

 **Landstinget**  
i Jönköpings län  
Värnamo sjukvårdsområde  
Amy Kara Lyckesand

**Checklista vid introduktion i brandkunskap  
på arbetsplatsen**  
(Gäller all personal, även sommarvikarier och elever)

Verksamhetsområde .....

Arbetsplats .....

Genomgång av:

- arbetsplatsens utrymningsstrategi
- vad vi gör om brandlarmet utlöses på vår arbetsplats
- hur vi larmar
- var larmtablån finns på vår arbetsplats
- arbetsplatsens brandcellsgränser och branddörrar som ska hållas stängda
- var utrymningsvägarna finns
- hur vi utrymmer
- var brandredskapen finns
- hur släckredskapen används

Jag har tagit del av ovanstående information.

..... Datum .....

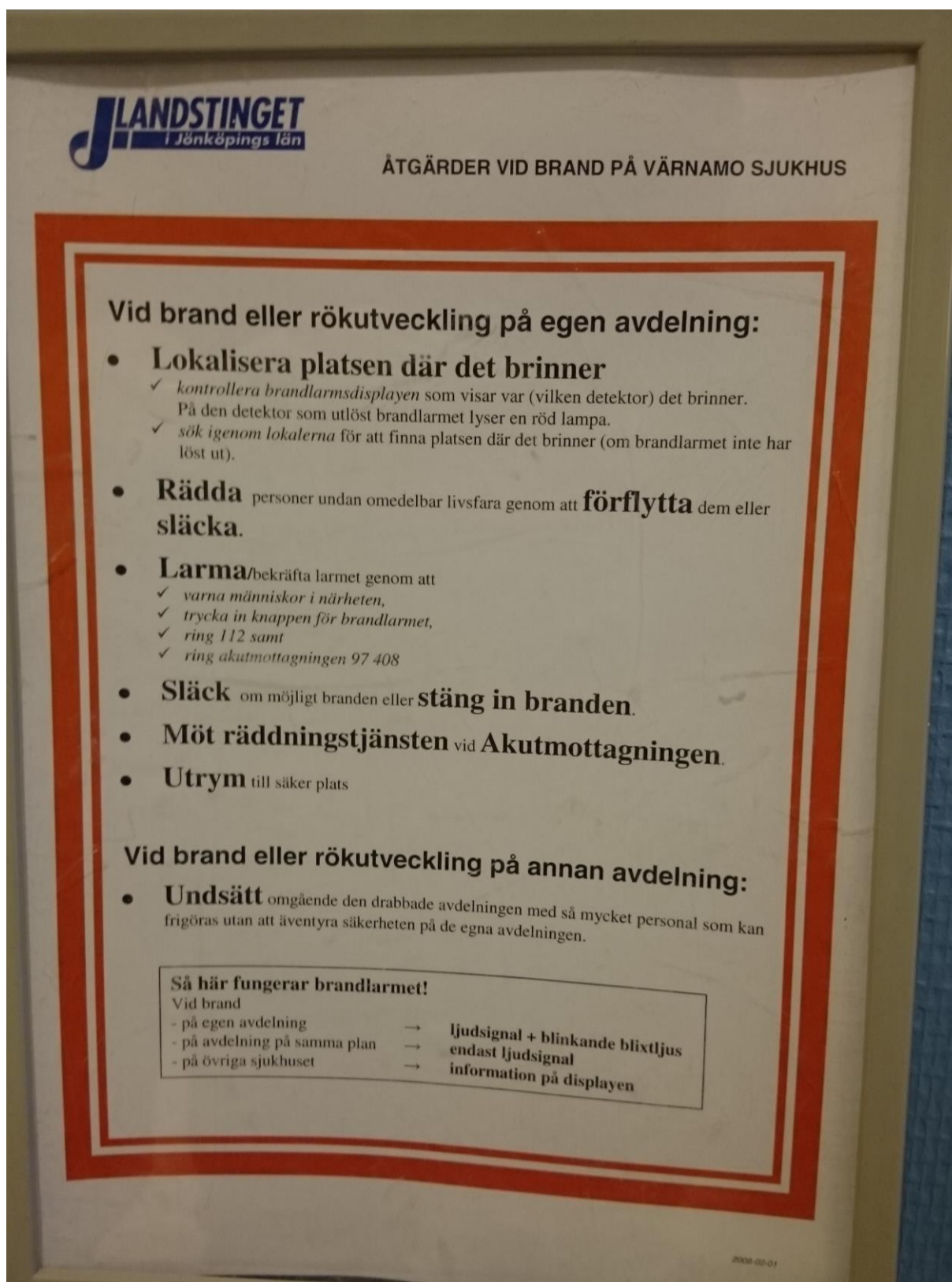
Namn Datum

Checklista brand 2012-01-01 /AKL

Datum: 2014-10-22  
Godkänd av: IMW

Figur 78. Checklista vid nyanställning.

Figur 79 visar en lista med åtgärder vid brand som finns utplacerad på ett antal ställen på röntgenavdelningen



Figur 79. Lista med åtgärder vid brand.



## Bilaga B - Sannolikhet för brandutveckling

Beräkning av sannolikheten att bränder uppstår på dag eller natt är satt ifrån hur många insatser mot bränder som har genomförts på sjukhus i Sverige från år 2000-2014 från MSB.

Dag beräknas som då det är fler än 8 personer i personal på röntgenavdelningen och detta sätts till mellan kl 7-18. Natt så är det endast 2 personer i personalen och det är mellan kl 18-7. Se Tabell 12 för statistik.

Tabell 12. Statistik över insatser vid sjukhus. (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2016)

	<b>Antal insatser</b>	<b>Antal insatser/total antal insatser</b>
<b>Dag</b>	806	0.58
<b>Natt</b>	592	0.42
<b>Total antal insatser</b>	1398	

### Sannolikheten för att brand utvecklas eller ej

En summering av sannolikheten för att branden utvecklas eller ej presenteras i tabellen nedanför. Värdena är från slutscenariona i Figur 13. Se Tabell 13 för ingående värden.

Tabell 13 visar värden på sannolikhet.

	Sannolikhet							Summering $\Sigma$	
Branden utvecklas		0.125		0.01	0.015		0.091	0.042	0.283
Branden utvecklas inte	0.397		0.033			0.287			0.717

## Bilaga C - Grovriskanalys – Inventering av brandscenarier

Här redogörs utifrån schablonmodellen konsekvens och sannolikhet för respektive scenario

### **Scenario 1 – brand i arkiv, plan 1**

Brand i arkiv anses vara ett mindre troligt scenario på grund av att tillgängligheten är låg samt att antalet tändkällor i lokalen är få. Statistiken tyder ej på att sjukhus skulle vara speciellt drabbade av arkivbränder. Däremot är brandbelastningen hög samt möjligheterna för en snabbt tillväxande brand god. Sannolikheten att branden upptäcks i ett tidigt skede är i princip helt avgörande på rökdetektorerna i rummet, då närvaron av personal är låg. Placeringen av utrymmet blir dock i detta fall helt avgörande för konsekvenserna vid brand. Då arkivet befinner sig på plan 1 på våningen under röntgenavdelningen och således är en egen brandcell, kommer en brand i arkivet inte påverka möjligheterna att utrymma röntgenavdelningen nämnvärt.

*Sannolikhet: 2*

*Konsekvens: 4*

### **Scenario 2 – brand i väntrum, rum 033/036**

Brand i väntrumet anses vara måttligt sannolikt på grund av hög tillgänglighet. Detta medför att sannolikheten för att en anlagdbrand i utrymmet ökar. Utrymmet befinner sig också nära den enda möjliga utrymningsvägen för sjukhussängar samt att möbleringen i utrymmet gör brandbelastningen hög. Det brännbara materialet så som soffor kan även ge en snabb brandtillväxt. Sannolikheten att en brand upptäcks tidigt anses dock stor på grund av att utrymmet är utrustat med en rökdetektor i ett förhållandevis litet rum. Dagtid rör sig mycket folk kring detta utrymme vilket också ökar sannolikheten för en tidig detektion av branden.

*Sannolikhet: 5*

*Konsekvens: 8*

### **Scenario 3 – brand under installationsgolv, manöverkorridor 077**

Under installationsgolvet finns högspänningskablar vilket skulle kunna vara en potentiell tändkälla i form av ett tekniskt fel. Tekniska fel är den näst vanligaste orsaken till brand på sjukhus men sannolikheten bedöms till måttlig då det är kablar utan kopplingspunkter. Tillgängligheten bedöms vara minimal då utrymmet inte är möjligt att vistas i.

Brandbelastningen under golvet anses vara låg samt att ett möjligt brandförlopp inte skulle tillväxa särskilt snabbt. Produkterna som bildas från förbränning av kablar kan ha en hög toxisk effekt vilket höjer konsekvensen. Under installationsgolvet finns heller inga detektorer vilket försämrar möjligheterna att upptäcka branden i ett tidigt skede. Installationsgolvet ligger i manöverkorridoren och kommer således ej att reducera antalet nödutgångar förens hela avdelningen är rökfylld.

***Sannolikhet: 3***

***Konsekvens: 7***

### **Scenario 4 – brand i data- och elrum, rum 095**

Brand i data- och elrum anses vara måttligt troligt. Tändkällor på grund av tekniska fel anses troligt på grund av mycket teknisk utrustning i utrymmet. Utrymmet anses otillgängligt för obehöriga då utrymmet vanligtvis är låst, vilket minskar risken för anlagd brand.

Brandbelastningen och tillväxthastigheten vid brand anses måttliga, och toxiska produkter från en brand är sannolika. En brand i utrymmet kan dock ge betydande konsekvenser på grund av dess placering då utrymmet befinner sig nära magnetröntgen med avseende på utrymning. Vid platsbesöket gav personalen som ansvarar för magnetröntgen en ingående beskrivning av sina begränsade möjligheter till snabb utrymning vid brand.

***Sannolikhet: 3***

***Konsekvens: 7***

### **Scenario 5 – brand i receptionen, rum 014**

De eventuella tändkällorna som finns i receptionen är få. Under dagen och kvällen finns personal i receptionen vilket även minskar sannolikheten för anlagd brand, även om utrymmet kan anses var tillgängligt. Utrymmet är också utrustat med rökdetektor vilket också ökar sannolikheten för att upptäcka branden även när receptionen är obemannad. Statistiken tyder ej på att bränder i receptioner skulle vara något erkänt fenomen i sjukhusmiljöer.

Brandbelastningen i receptionen kan anses var måttlig. Om en brand mot förmodan skulle uppstå i receptionen skulle dock konsekvenserna kunna bli svåra på grund av receptionens placering på avdelningen. Branden skulle i ett tidigt skede omöjliggöra evakuering genom huvudingången till röntgenavdelningen. Om branden tillåts växa tillräckligt stor finns risk att den reducerar ytterligare två utrymningsvägar.

***Sannolikhet: 3***

***Konsekvens: 8***

### **Scenario 6 – brand i kapprum, rum 022**

Kapprummet ligger i angränsning till receptionen men avskiljes med en vägg. Tillgängligheten är hög vilket ökar sannolikheten för anlagd brand, men i övrigt anses antalet tändkällor få. Kläderna i utrymmet skulle kunna ge ett brandförlopp med snabb tillväxthastighet, dock är inte mängden brännbart material speciellt stor, då kapprummet är litet med få klädhängare. Kapprummet är ej utrustat med något detektionssystem, vilket gör förutsättningarna för att upptäcka branden avsevärt sämre. Då kapprummet ligger i anslutning till receptionen gäller även här att en brand kan få svåra konsekvenser då den har en potential att reducera antalet attraktiva utrymningsvägar.

***Sannolikhet: 4***

***Konsekvens: 8***

### **Scenario 7 – brand i väntrum sängar, rum 038**

Sannolikheten bedöms vara hyfsat hög då rökning skulle kunna tänkas förekomma. Detta utrymme är ett avskilt väntrum för sängliggande patienter som kan tänkas ignorera rökförbud på grund av deras oförmåga att ta sig ut och röka själva. Tändkälla i form av anlagd brand kan också anses sannolikt på grund av tillgängligheten. Utrymmet är utrustat med rökdetektor vilket ökar förutsättningarna att upptäcka branden.

En brand i detta väntrum skulle kunna få stora konsekvenser då utrymmet är avsett för sängliggande patienter, som antas ha nedsatt förmåga att utrymma själva. Placeringen av detta utrymme gör att konsekvenserna av en brand kan bli svåra. Sannolikheten att reducera attraktiva utrymningsvägar vid brand anses stor. Brandbelastningen och tillväxthastigheten i detta utrymme anses måttliga.

***Sannolikhet: 6***

***Konsekvens: 8***

### **Scenario 8 – brand i personalrum, rum 101**

Inne i personalrummet är sannolikheten för brand stor då tändkällor så som glömd spis och levandeljus kan agera som tändkälla. Statistiken visar också att kök är ett vanligt startutrymme för brand på sjukhus. Tillgängligheten anses låg vilket minskar sannolikheten för anlagd brand i utrymmet. Då det finns möbler och annat brännbart material så anses brandbelastningen vara måttlig och kunna ge upphov till en relativt snabb tillväxt av branden. Sannolikheten för att branden upptäcks tidigt anses måttlig då utrymmet är relativt stor med endast en rökdetektor i utrymmet. Dock är personalrummet väldigt fördelaktigt placerat på avdelningen då en brand i utrymmet inte riskerar att reducera antalet nödutgångar i ett tidigt skede, vilket minskar konsekvensen.

***Sannolikhet: 9***

***Konsekvens: 3***

### **Scenario 9 – brand i data, rum 102**

I datarummet finns det servrar med hängande kablar som vid kortslutning kan ta eld. Utrymmet är inte tillgängligt för icke behörig personal då dörren är låst.

**Sannolikhet: 3**

**Konsekvens: 4**

### **Scenario 10 – brand i förråd, rum 089**

I detta förråd är tillgängligheten för obehöriga på sjukhuset obefintlig då dörren till detta utrymme är låst. Detta gör sannolikheten för anlagd brand minimal, samt att övriga tändkällor är obefintliga. Statistiken visar att förråd inte är representativt som startutrymme för bränder på sjukhus i Sverige. Brandbelastningen är dock mycket hög och en brand i detta utrymme skulle kunna få en mycket snabb tillväxthastighet. Detta på grund av det lagrade materialet i förrådet. Här förvaras stora mängder handsprit, pappershanddukar, plastredskap etc. fritt lagrat på hyllor från golv upp till tak. Den stora mängden plast kan även tänkas generera toxiska gaser vid förbränningen. Det relativt lilla utrymmet är utrustat med en rökdetektor, men är egentligen det enda sättet att upptäcka branden, då dörren alltid står låst. Placeringen av utrymmet i lokalen medför att en brand inte kommer att reducera antalet utrymningsvägar i ett tidigt skede av ett brandförlopp.

**Sannolikhet: 1**

**Konsekvens: 7**

### **Scenario 11 – brand i klädskap, korridor 100**

Sannolikheten att en brand skulle starta här anses låg. Den enda tändkällan som är aktuell är anlagd brand. I klädskapet finns mycket kläder som vid en eventuell brand skulle kunna ge en snabb tillväxt och hög effektutveckling. Eftersom klädskapet befinner sig ute i korridoren anses placeringen kunna påverka möjligheten till utrymning negativt vid ett tidigt skede. Branden skulle potentiellt även kunna reducera antalet nödutgångar. Dock anses denna nödutgång inte vara av samma dignitet som övriga nödutgångar, vilket gör att konsekvensen blir lägre.

**Sannolikhet: 2**

**Konsekvens: 6**

### **Scenario 12 – brand i tvättrum, rum 098**

Brand i tvättrummet anses sannolikt. Tändkällor i detta utrymme kan vara tekniska fel eller värmeöverföring. Statistik visar även att tvättstugor finns representerade bland startutrymmen för brand vid sjukhus. Mängden brännbart material i tvättrummet är hög, då stor förvaring av olika textilmaterial i garderober finns. Sannolikheten för att branden tillväxer fort anses också hög. Då tvättrummet är obemannat och är utrustat med en värmedetektor anses chanserna små att upptäcka en brand i ett tidigt skede. Rummets placering i byggnaden anses påverka möjligheten till utrymning vid brand i stor utsträckning.

*Sannolikhet: 7*

*Konsekvens: 8*

### **Scenario 13 – brand i sköljrum, rum 074**

Brand i sköljrummet anses vara måttligt sannolikt. Utrymmet är inte låst vilket gör utrymmet tillgängligt, saknar dock potentiella som skulle kunna uppstå på grund av värmeöverföring eller tekniska fel. Konsekvensen avses dock kunna bli hög om en brand skulle starta i sköljrummet. Brandbelastningen är hög med brännbart material som skulle kunna ge branden en snabb tillväxt. Att branden upptäcks vid ett tidigt skede anses vara osannolikt då utrymmet är utrustat med en värmedetektor. Placeringen av utrymmet gör också att en brand i sköljutrymmet med stor sannolikhet kommer påverka möjligheterna till en säker utrymning.

*Sannolikhet: 4*

*Konsekvens: 7*

### **Scenario 14 – brand i expedition, rum 109**

Expeditionerna på avdelningen är många och står oftast olåsta, vilket gör tillgängligheten för obehöriga möjlig. Potentiella tändkällor som värmeöverföring och tekniska fel anses vara få. Statistiken visar inte heller att kontorsutrymmena skulle vara särskilt representerade som startutrymme för brand på sjukhus. Brandbelastningen inne på kontoren anses var låg, då ingen större förvaring av kontorsmaterial fanns. Samtliga expeditioner är utrustade med rökdetektor vilket också gör sannolikheten att upptäcka branden i ett tidigt skede stor. Placeringen av expeditionerna kan komma att påverka utrymningen i viss utsträckning, men kommer med största sannolikhet inte reducera antalet utrymningsvägar.

*Sannolikhet: 3*

*Konsekvens: 4*

### **Scenario 15 – brand på toalett, rum 133**

Tillgängligheten för toaletterna på avdelningen är hög och lämpar sig väl för anlagd brand. Statistik visar också att toaletter i viss mån är ett utrymme som är representerat som startutrymme för brand på sjukhus. Förutom tändkällan anlagd brand saknas dock potentiella tändkällor. Brandbelastningen anses vara mycket liten, vilket gör konsekvensen av en brand på en toalett liten med avseende på utrymning.

***Sannolikhet: 5***

***Konsekvens: 3***

### **Scenario 16 – brand i elnisch, korridor 082**

Brand i elnisch anses vara sannolik då det är sammankopplingspunkt för högspänningskablar, vilket gör att en brand orsakat av ett tekniskt fel är sannolikt. Utrymmet är i vanliga fall låst men då eventuella fel anses vanligare vid arbete i skåpet kan en brand antas uppstå när det är öppet, vilket ökar sannolikheten för rökspridning. Förbränning av kablar och övrig elutrustning kan skapa toxiska förbränningsprodukter. Elskåpen är utrustade med rökdetektorer vilket ökar sannolikheten för att upptäcka branden i ett tidigt skede. En brand i elskåpet anses ge svåra konsekvenser med avseende på utrymning på grund av dess placering nära magnetrontgen. Vid platsbesöket gav personalen som ansvarar för magnetrontgen en ingående beskrivning av sina begränsade möjligheter till snabb utrymning vid brand.

***Sannolikhet: 5***

***Konsekvens: 9***

## Bilaga D - Scenario 2, brand i väntrum

Följande bilaga beskriver data som legat till grund för resultaten för scenario 2.

### Bilaga D.2 FDS

```
&HEAD CHID='Vantrum/'
```

```
&TIME T_END=600.0/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='Vantrum', DT_BNDF=5.0, DT_ISOFS=5.0, DT_SLCF=5.0,  
NFRAMES=120/
```

```
&MESH ID='MESH01', IJK=140,144,15, XB=0.0,28.0,0.0,28.8,0.0,3.0/
```

```
&MESH ID='MESH02', IJK=240,40,15, XB=0.0,48.0,28.8,36.8,0.0,3.0/
```

```
&MESH ID='MESH03', IJK=102,64,30, XB=48.0,58.2,28.8,35.2,0.0,3.0/
```

```
&MESH ID='MESH04', IJK=180,144,15, XB=28.0,64.0,0.0,28.8,0.0,3.0/
```

```
&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',
```

```
  FYI='SFPE Handbook, GM27',
```

```
  FUEL='REAC_FUEL',
```

```
  C=1.0,
```

```
  H=1.7,
```

```
  O=0.3,
```

```
  N=0.08,
```

```
  CO_YIELD=0.042,
```

```
  SOOT_YIELD=0.198/
```

```
&PROP ID='VÄRMEDECKARE',
```

```
  QUANTITY='LINK TEMPERATURE',
```

```
  ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,
```

```
  RTI=36.0/
```

”VÄRMEDECKARE” användes för  
att beräkna tid till sprinkleraktivering

```
&PROP ID='Rökdetektor', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', LENGTH=1.8/
```

```
&DEVC ID='SPRINKLERHUVUD 1', PROP_ID='VÄRMEDECKARE',  
XYZ=49.95,29.95,2.55/
```

```
&DEVC ID='TEMP SOFFA 0.7m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,0.9/
```

```
&DEVC ID='TEMP SOFFA 1.1m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,1.3/
```

```
&DEVC ID='TEMP SOFFA 1.5m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,1.7/
```



&DEVC ID='TEMP SOFFA 1.9m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,2.1/  
 &DEVC ID='TEMP SOFFA 2.3m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,2.5/  
 &DEVC ID='CO utanför väntrum', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
 SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=49.95,30.05,2.1/  
 &DEVC ID='CO utanför sängrum', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
 SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=41.95,30.05,2.1/  
 &DEVC ID='CO utanför bred utrymning', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
 SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=53.45,30.05,2.1/  
 &DEVC ID='CO utanför vänster utrymn.', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
 SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=8.6,7.45,2.1/  
 &DEVC ID='CO utanför höger utrymn.', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
 SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=43.6,7.45,2.1/  
 &DEVC ID='CO utanför vänster övre utrymn.', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
 SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=8.6,30.05,2.1/  
 &DEVC ID='RÖKDETEKTOR 1', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=49.95,32.15,2.55/  
 &DEVC ID='RÖKDETEKTOR 2', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=53.95,32.15,2.55/  
 &DEVC ID='RÖKDETEKTOR 3', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=41.75,34.95,2.55/  
 &DEVC ID='RÖKDETEKTOR 4', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=31.95,29.95,2.55/  
 &DEVC ID='Gaslager1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=50.0,50.0,30.4,30.4,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager2', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=42.2,42.2,30.0,30.0,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager3', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=36.6,36.6,30.0,30.0,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager4', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=9.6,9.6,30.0,30.0,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager5', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=8.6,8.6,7.4,7.4,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager6', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=24.4,24.4,18.0,18.0,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager7', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=8.8,8.8,19.4,19.4,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager8', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=53.8,53.8,7.6,7.6,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager9', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=53.4,53.4,30.0,30.0,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager10', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=33.6,33.6,7.4,7.4,0.2,2.6/  
 &DEVC ID='Gaslager11', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=53.8,53.8,18.2,18.2,0.2,2.6/  
  
 &MATL ID='BETONG',  
 FYI='DRYSDALE',  
 SPECIFIC\_HEAT=0.88,  
 CONDUCTIVITY=0.8,

```

DENSITY=2300.0/
&MATL ID='GIPS',
  FYI='DRYSDALE',
  SPECIFIC_HEAT=0.84,
  CONDUCTIVITY=0.48,
  DENSITY=1440.0/

&SURF ID='FIRE',
  COLOR='RED',
  HRRPUA=806.0,
  RAMP_Q='FIRE_RAMP_Q'/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=120.0, F=0.2326/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=220.0, F=1.0/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=300.0, F=0.4651/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=360.0, F=0.1705/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=1150.0, F=0.155/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=1200.0, F=0.0/
&SURF ID='TAK',
  MATL_ID(1,1)='BETONG',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.15/
&SURF ID='Vägg',
  MATL_ID(1,1)='GIPS',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.03/

&OBST XB=48.6,51.8,33.9,34.9,0.2,0.8, SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT'/ Obstruction
#1

&OBST XB=0.0,61.0,0.0,36.8,0.0,0.2, SURF_ID='TAK'/ Golv
&OBST XB=38.0,52.4,20.2,28.8,0.0,3.0, SURF_ID='Vägg'/ Lab 4

```

&OBST XB=.....

&HOLE XB=52.0,52.3,32.7,33.7,0.2,2.5/ Hole

&HOLE XB=60.0,60.6,19.5,20.4,0.2,2.3/ Hole

&HOLE XB=40.9,41.7,5.95,6.25,0.2,2.3/ Hole

&HOLE XB=12.0,12.9,5.95,6.25,0.2,2.3/ Hole

&HOLE XB=53.0,54.2,25.35,25.65,0.2,2.2/ Hål i korridorsdörr

&HOLE XB=54.8,55.05,29.5,30.9,0.2,2.5/ Bredda detta hal

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=58.2,58.2,28.8,32.2869,0.2,3.0/ Vent 140 cm utgång

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=64.0,64.0,17.2,22.378,0.0,3.0/ Vent reception

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=39.4,43.8,0.0,6.0,3.0,3.0/ Vent 80 cm tak

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=39.4,43.8,0.0,0.0,0.2,3.0/ Vent 80 cm

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=10.0,15.0,0.0,6.0,3.0,3.0/ Vent 90 cm tak

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=10.0,15.0,0.0,0.0,0.2,3.0/ Vent 90 cm

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=50./

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=50./

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=30./

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=30./

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=2./

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2./

&SLCF QUANTITY='TURBULENCE RESOLUTION', PBZ=2./

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=2./

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE',  
PBZ=2./

&TAIL /

## Bilaga E - Scenario 12, brand i tvättrum

Följande bilaga beskriver data som legat till grund för resultaten för scenario 12.

### Bilaga E.2 Beräkningar av effektutveckling

Följande bilaga beskriver de ekvationer och beräkningar som legat till grund för resultaten i scenario 12.

Maximal effekt i rummet beräknas med ekvation (1).

$$\dot{Q} = 0,09A_0\sqrt{H_0}\Delta H_{eff,wood} \quad (1)$$

Där:

$\dot{Q}$  är effekten [kW]

$A_0$  är öppningens area [ $m^2$ ]

$H_0$  är öppningens höjd [m]

$\Delta H_{eff,wood}$  är förbränningsvärmens för trä [kJ/kg]

För rummet blir maximala effektutvecklingen enligt nedan.

$$\dot{Q} = 0,09 \cdot (0,9 \cdot 2,1) \cdot \sqrt{2,1} \cdot 17000 = 4190 \text{ kW}$$

För att beräkna när övertändning sker används ekvation (2) och (3).

$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k A_T A_0 \sqrt{H_0})^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Där:

$\dot{Q}_{FO}$  är effekten då övertändning sker [kW]

$h_k$  är värmeövergångstalet [kW/ $m^2K$ ]

$A_T$  inneslutningsarea exklusive öppningar [ $m^2$ ]

$A_0$  area av öppningarna [ $m^2$ ]

$H_0$  är öppningens höjd [m]

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad \text{för } t < t_p \quad (3)$$

Där:

$h_k$  är värmeövergångstalet [kW/ $m^2K$ ]

$k$  är värmekonduktivitet [W/m·K]

$\rho$  är densitet [kg/ $m^3$ ]

$c$  är specifik värmekapacitet [J/kg·K]

t är tid [s]

$t_p$  termisk penetrationstid [s]

Värmeövergångstalet då  $\alpha$  är 0,012:

$$h_k = \sqrt{\frac{580\,000}{307}} = 43,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \approx 0,044 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Värmeövergångstalet då  $\alpha$  är 0,047:

$$h_k = \sqrt{\frac{580\,000}{167}} = 58,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \approx 0,059 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Effekten vid övertändning blir enligt nedan.

För  $\alpha=0,012$

$$\dot{Q}_{FO} = 610(0,044 * 30 * 0,9 * 2,0 * \sqrt{2,0})^{\frac{1}{2}} = 1118 \text{ kW} \approx 1,1 \text{ MW}$$

För  $\alpha=0,047$

$$\dot{Q}_{FO} = 610(0,059 * 30 * 0,9 * 2,0 * \sqrt{2,0})^{\frac{1}{2}} = 1295 \text{ kW} \approx 1,3 \text{ MW}$$

Tillväxthastighet beräknas med ekvation (4).

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \tag{4}$$

Där

$\dot{Q}$  är effekten [kW]

$\alpha$  är tillväxtkonstanten [kW/s<sup>2</sup>]

t är tiden [s]

Standardvärden för tillväxtkonstanten listas i Tabell 14 nedan.

Tabell 14. Värden för tillväxtkonstanten.

<b><math>\alpha</math>-värde</b>	<b>Tillväxthastighet</b>
0,012	Medium
0,047	Fast
0,19	Ultrafast

Då branden har tillväxthastigheten "Medium" tills att övertändning uppstår beräknas tiden dit med ekvation (4), se nedan.

$$t = \sqrt{\frac{1118}{0,012}} = 305,2 \text{ s}$$

Då branden har tillväxthastighet "Fast" tills att övertändning uppstår beräknas tiden dit med ekvation (4), se nedan.

$$t = \sqrt{\frac{1295}{0,047}} = 166 \text{ s}$$

### Bilaga E.3 FDS

&HEAD CHID='Tvättrum'/

&TIME T\_END=600.0/

&DUMP RENDER\_FILE='Tvättrum', DT\_BNDF=5.0, DT\_ISOF=5.0, DT\_SLCF=5.0,  
NFRAMES=120/

&MESH ID='MESH01', IJK=36,80,30, XB=10.0,13.6,15.4,23.4,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH02', IJK=50,180,15, XB=0.0,10.0,0.0,36.0,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH03', IJK=18,64,15, XB=10.0,13.6,23.4,36.2,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH04', IJK=18,80,15, XB=10.0,13.6,-0.6,15.4,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH05', IJK=60,180,15, XB=13.6,25.6,-0.6,35.4,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH06', IJK=135,90,15, XB=25.6,52.6,18.0,36.0,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH07', IJK=135,90,15, XB=25.6,52.6,0.0,18.0,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH08', IJK=57,81,15, XB=52.6,64.0,0.0,16.2,0.0,3.0/

&MESH ID='MESH09', IJK=57,100,15, XB=52.6,64.0,16.2,36.2,0.0,3.0/

&REAC ID='CELLULOSE',

FUEL='REAC\_FUEL',

FORMULA='C6H10O5',

CO\_YIELD=0.005,

SOOT\_YIELD=0.1,

HEAT\_OF\_COMBUSTION=2.0E4,

IDEAL=.TRUE./

&PROP ID='VÄRMEDECKARE',

QUANTITY='LINK TEMPERATURE',

ACTIVATION\_TEMPERATURE=68.0,

RTI=36.0/

&PROP ID='Rökdetektor', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', LENGTH=1.8/

&DEVC ID='SPRINKLERHUVUD 1', PROP\_ID='VÄRMEDECKARE',  
XYZ=49.95,31.65,2.55/

&DEVC ID='TEMP SOFFA 0.7m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,0.9/

&DEVC ID='TEMP SOFFA 1.1m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,1.3/

&DEVC ID='TEMP SOFFA 1.5m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,1.7/  
&DEVC ID='TEMP SOFFA 1.9m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,2.1/  
&DEVC ID='TEMP SOFFA 2.3m', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=50.2,34.4,2.5/  
&DEVC ID='CO utanför väntrum', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=49.95,30.05,2.1/  
&DEVC ID='CO utanför sängrum', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=41.95,30.05,2.1/  
&DEVC ID='CO utanför bred utrymning', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=53.45,30.05,2.1/  
&DEVC ID='CO utanför vänster utrymn.', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=8.6,7.45,2.1/  
&DEVC ID='CO utanför höger utrymn.', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=43.6,7.45,2.1/  
&DEVC ID='CO utanför vänster övre utrymn.', QUANTITY='VOLUME FRACTION',  
SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=8.6,30.05,2.1/  
&DEVC ID='RÖKDETEKTOR 1', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=49.95,32.15,2.55/  
&DEVC ID='RÖKDETEKTOR 2', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=53.95,32.15,2.55/  
&DEVC ID='RÖKDETEKTOR 3', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=41.75,34.95,2.55/  
&DEVC ID='RÖKDETEKTOR 4', PROP\_ID='Rökdetektor', XYZ=31.95,29.95,2.55/  
&DEVC ID='Gaslager1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=50.0,50.0,30.4,30.4,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager2', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=42.2,42.2,30.0,30.0,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager3', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=36.6,36.6,30.0,30.0,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager4', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=9.6,9.6,30.0,30.0,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager5', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=8.6,8.6,7.4,7.4,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager6', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=24.4,24.4,18.0,18.0,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager7', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=8.8,8.8,19.4,19.4,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager8', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=53.8,53.8,7.6,7.6,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager9', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=53.4,53.4,30.0,30.0,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager10', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=33.6,33.6,7.4,7.4,0.2,2.6/  
&DEVC ID='Gaslager11', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=53.8,53.8,18.2,18.2,0.2,2.6/  
  
&MATL ID='BETONG',  
FYI='DRYSDALE',  
SPECIFIC\_HEAT=0.88,



CONDUCTIVITY=0.8,  
DENSITY=2300.0/  
&MATL ID='GIPS',  
FYI='DRYSDALE',  
SPECIFIC\_HEAT=0.84,  
CONDUCTIVITY=0.48,  
DENSITY=1440.0/

&SURF ID='FIRE',  
COLOR='RED',  
HRRPUA=2793.0,  
RAMP\_Q='Rampning'/

&RAMP ID='Rampning', T=0, F=0.0 /  
&RAMP ID='Rampning', T=30, F=0.010095 /  
&RAMP ID='Rampning', T=60, F=0.040382 /  
&RAMP ID='Rampning', T=90, F=0.090859 /  
&RAMP ID='Rampning', T=120, F=0.161527 /  
&RAMP ID='Rampning', T=150, F=0.252387 /  
&RAMP ID='Rampning', T=180, F=0.363437 /  
&RAMP ID='Rampning', T=210, F=1.0 /  
&RAMP ID='Rampning', T=600, F=1.0 /

&SURF ID='TAK',  
MATL\_ID(1,1)='BETONG',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.15/

&SURF ID='Vägg',  
MATL\_ID(1,1)='GIPS',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.03/

&OBST XB=10.5,11.5,15.6,17.1,0.2,0.4, SURF\_IDS='FIRE','INERT','INERT'/ Obstruction #1

&OBST XB=0.0,64.0,-0.6,36.8,0.0,0.2, SURF\_ID='TAK'/ Golv

&OBST XB=38.0,52.4,20.2,28.8,0.0,3.0, SURF\_ID='Vägg'/ Lab 4

&OBST XB=...

&HOLE XB=52.0,52.3,32.7,33.7,0.2,2.5/ Hole

&HOLE XB=60.0,60.6,19.5,20.4,0.2,2.3/ Hole

&HOLE XB=40.9,41.7,5.95,6.25,0.2,2.3/ Hole

&HOLE XB=12.0,12.9,5.95,6.25,0.2,2.3/ Hole

&HOLE XB=53.0,54.2,25.35,25.65,0.2,2.2/ Hål i korridorsdörr

&HOLE XB=54.8,55.05,29.5,30.9,0.2,2.5/ Bredda detta hål

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=64.0,64.0,28.8,32.2869,0.2,3.0/ Vent 140 cm utgång

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=64.0,64.0,17.2,22.378,0.0,3.0/ Vent reception

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=39.4,43.8,0.0,6.0,3.0,3.0/ Vent 80 cm tak

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=39.4,43.8,0.0,0.0,0.2,3.0/ Vent 80 cm

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=10.0,15.0,-0.6,6.0,3.0,3.0/ Vent 90 cm tak

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=10.0,15.0,-0.6,-0.6,0.2,3.0/ Vent 90 cm

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=8.4/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=8.4/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=19.0/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=19.0/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=2.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.0/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.8/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.8/

&SLCF QUANTITY='TURBULENCE RESOLUTION', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='TURBULENCE RESOLUTION', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE',  
PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE',  
PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=50.0049/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=50.0049/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=29.9885/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=29.9885/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE',  
PBZ=1.91/  
  
&TAIL /

## Bilaga F - Scenario 7 brand i sjukhussäng

Följande bilaga beskriver data som legat till grund för resultaten för scenario 7.

### Bilaga F.2 Strålningsberäkningar

Följande Bilaga beskriver de ekvationer och handberäkningar som gjorts för scenario 7.

För att beräkna strålningen från en brand har ekvation (5) använts.

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \phi \cdot T^4 \quad (5)$$

Där

$\dot{q}''$  är strålningseffekten [kW/m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  är emissiviteten [-]

$\sigma$  är Boltzmanns konstant  $5,67 \cdot 10^{-8}$  [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-4</sup>]

$\phi$  är synfaktorn [-]

T är flammans temperatur [K]

Synfaktorn beräknas med ekvation (6) och (7) där S och  $\alpha$  sedan gör avläsning för synfaktorn möjlig i tabell 2.8 i *An Introduction to Fire Dynamics* (Drysdale, 2011).

$$S = \frac{L_1}{L_2} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{L_1 \cdot L_2}{d^2} \quad (7)$$

Där

$L_1$  är flammans korta sida [m]

$L_2$  är flammans långa sida [m]

d är sträckan mellan flammen och mottagande föremål [m]

Flamhöjden beräknas med ekvation (8) som är Heskestads formel för flamhöjd.

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \quad (8)$$

Där

L är flamhöjden [m]

$\dot{Q}$  är brandeffekten [kW]

D är brandkällans diameter [m]

Först beräknades brandens area genom att använda den horisontella flamspridningen för polyuretan som vanligen används i madrasser. Detta värde tas ur Tabell 7.3 i *An Introduction*

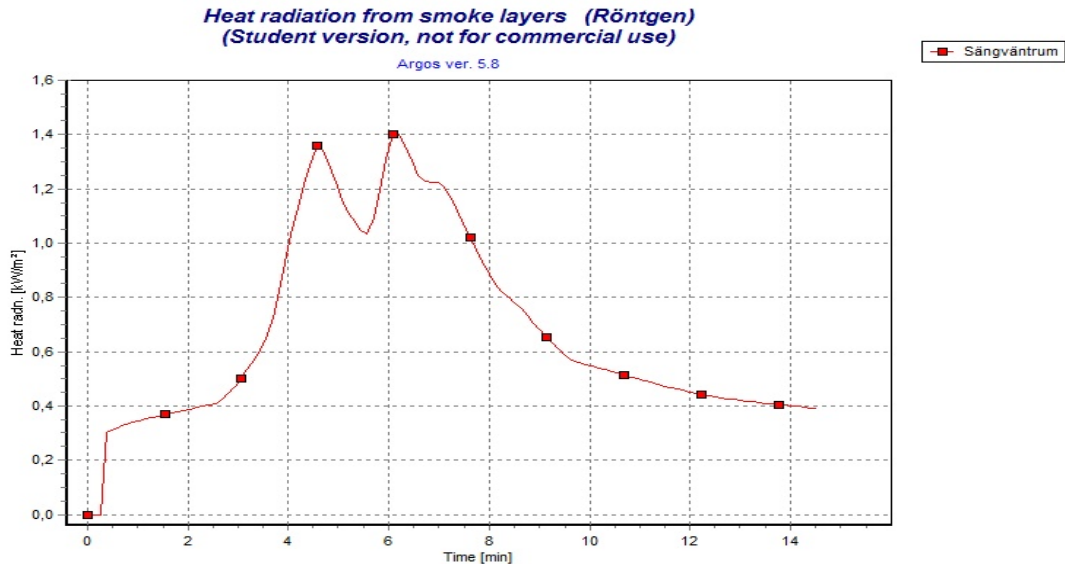
to Fire Dynamics, och är 3,7 mm/s (Drysdale, 2011). Värdet multipliceras sedan med den tid vid vilken arean söks. Spridning antas ske cirkulärt utåt från mitten av sängen och spridningens längd kan likställas med radien hos en cirkel. Från tre minuter och framåt kommer brandspridningen endast ske mot kortsidorna. Arean för detta räknas därför om till arean av en ellips. Från fem minuter och framåt antas hela sängen vara i brand och arean för en rektangel antas. Utifrån dessa areor kan sedan karakteristiska diametrar tas fram.

För varje tidpunkt kan nu flammhöjden beräknas med hjälp av ekvation (18) och avläsning av effekten ur Figur 37. Se Tabell 15 för samtliga beräknade värden.

Tabell 15. Värden för beräkning av flammans storlek.

<b>Tid [min]</b>	<b>Effekt [kW]</b>	<b>Spridning [m]</b>	<b>Area [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Karakteristisk diameter [m]</b>	<b>Flammhöjd [m]</b>
0,5	25	0,11	0,039	0,22	0,63
1,0	50	0,22	0,15	0,44	0,67
1,5	75	0,33	0,35	0,67	0,64
2,0	100	0,44	0,62	0,89	0,58
2,5	150	0,56	0,97	1,1	0,61
3,0	190	0,67	1,2	1,2	0,68
3,5	225	0,78	1,4	1,3	0,71
4,0	510	0,89	1,5	1,4	1,4
4,5	700	1,0	1,7	1,5	1,7
5,0	515	1,1	2,5	1,8	1,0
5,5	420	1,1	2,5	1,8	0,83
6,0	730	1,1	2,5	1,8	1,5

När sedan brandens basarea beräknats används ekvation (5) för att ta fram den synfaktor som krävs för att uppnå eftersökt strålningsintensitet. Värdena för temperaturen och emissiviteten hos flammen antas konservativt till 1073 K respektive 1 i ekvationen. Synfaktorn beräknas för en strålningsintensitet på 3 och 20 kW/m<sup>2</sup>. Strålningen från brandgaslagret som fås från simuleringen i Argos tas också med i beräkningen, se Figur 80.



Figur 80. Strålning från brandgaslagret mot golvet vid brand i säng.

Flamman antas ha formen av en kon. Den delas in i två lika stora delar med gemensam punkt i mitten nere vid madrassen. Dessa två delar, delsynfaktorer, används sedan som synfaktorer vid avläsningen ur tabell 2.8 i *An Introduction to Fire Dynamics*, som återfinns nedan som Figur 81. Då storleken på flamman finns kan ett värde på  $S$  beräknas med ekvation (6). Med hjälp av synfaktorn och  $S$  kan sedan ett värde på  $\alpha$  interpoleras fram. Ur ekvation (7) kan sedan avståndet  $d$  lösas ut.

$\alpha$	$S = 1$	$S = 0.9$	$S = 0.8$	$S = 0.7$	$S = 0.6$	$S = 0.5$	$S = 0.4$	$S = 0.3$	$S = 0.2$	$S = 0.1$
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 2.22). From McGuire (1953). Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown copyright.

Figur 81. Tabell för avläsning av synfaktorn.

Den kritiska strålningen är den som tillsammans med strålningen från brandgaslagret gör att sökt strålningsintensitet uppnås. Synfaktorn är den synfaktor som krävs för att uppnå nyss nämnda strålning. Avståndet är till den sökta strålningsintensiteten från mitten av sängen.

Tabell 16 redovisar värden från beräkningen av strålningen som ger antändning.

Tabell 16. Använda värden vid beräkning av strålning.

<b>Tid [min]</b>	<b>Strålning brandgaslager [kW/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Kritisk strålning från flamma [kW/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Synfaktor [-]</b>	<b>Avstånd [m]</b>
0,5	0,30	19,70	0,131	0,2
1,0	0,35	19,65	0,131	0,3
1,5	0,37	19,63	0,131	0,5
2,0	0,39	19,61	0,130	0,5
2,5	0,40	19,60	0,130	0,6
3,0	0,50	19,50	0,130	0,7
3,5	0,65	19,35	0,129	0,8
4,0	1,00	19,00	0,126	1,0
4,5	1,35	18,65	0,124	1,2
5,0	1,20	18,80	0,125	1,0
5,5	1,05	18,95	0,126	0,9
6,0	1,40	18,60	0,124	1,2

Tabell 17 redovisas värden från beräkningen av den skadliga strålningen.

Tabell 17. Använda värden vid beräkning av strålning.

<b>Tid [min]</b>	<b>Strålning brandgaslager [kW/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Kritisk strålning från flamma [kW/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Synfaktor [-]</b>	<b>Avstånd [m]</b>
0,5	0,30	2,70	0,018	0,9
1,0	0,35	2,65	0,018	1,5
1,5	0,37	2,63	0,017	2,0
2,0	0,39	2,61	0,017	2,1
2,5	0,40	2,60	0,017	2,6
3,0	0,50	2,50	0,017	2,6
3,5	0,65	2,35	0,016	3,0
4,0	1,00	2,00	0,013	4,5
4,5	1,35	1,65	0,011	6,2
5,0	1,20	1,80	0,012	5,2
5,5	1,05	1,95	0,013	4,1
6,0	1,40	1,60	0,011	5,7

## Bilaga F.3 Argos

Tabell 18-23 beskriver den indata som användes vid simulering i Argos.

### General

Tabell 18. Generella inställningar.

<b>Company type</b>	Various
<b>Basic building construction</b>	Concrete
<b>Room use</b>	Empty
<b>Area [m<sup>2</sup>]</b>	44,0
<b>Avg. Height [m]</b>	2,4
<b>Max. Distance [m]</b>	0,01
<b>Floor type</b>	Concrete floor

### Surfaces and components

Tabell 19. Inställningar för väggar.

<b>Base wall</b>	Gypsum board, 13 mm
<b>Length [m]</b>	3,8
<b>Components in selected walls</b>	Hole (Miscellaneous)
<b>Width [m]</b>	3,8
<b>Height [m]</b>	2,4
<b>Height above floor [m]</b>	0,0

### Stocks

Tabell 20. Rummets innehåll.

<b>Stock</b>	Sängar
<b>Fire value [MJ]</b>	1135,2
<b>Percentage [%]</b>	30

"Sängar" representerar de sängar som finns i rummet och har definierats till att ha samma brandbelastning som de sjukhussängar Göran Holmstedt använde i sin studie (Holmstedt & Kaiser, 1983).

### Fire installations

Tabell 21. Inställningar för brandtekniska installationer.

<b>Detector</b>	AFA Smoke
<b>Smoke sensitivity [dB/m]</b>	0,2
<b>Distance between detectors [m]</b>	0,1
<b>Distance from detectors to fire [m]</b>	0,07

I rummet finns endast en detektor. Avståndet mellan detektorerna har valts för att minimera avståndet från flammen till detektorn. Detta eftersom branden i detta scenario kommer starta i princip rakt under detektorn.



## Fire

*Tabell 22. Val av brand.*

---

<b>Data point fire</b>	Bed, foam mattresses
	Y6/10

---

Vald effektutveckling för branden är fördefinierad i Argos enligt Göran Holmstedts studie (Holmstedt & Kaiser, 1983).

## Bilaga G – Scenario 16, brand i elnisch

Följande bilaga beskriver data som legat till grund för resultaten för scenario 16.

### Bilaga G.2 FDS

elnisch.fds

Generated by PyroSim - Version 2014.4.1208

2016-apr-04 15:29:09

```
&HEAD CHID='elnisch'/
```

```
&TIME T_END=1656.0/
```

```
&MESH ID='MESH', IJK=25,60,30, XB=0.0,2.5,0.0,6.0,0.0,3.0/
```

```
&REAC ID='PVC',
```

```
  FUEL='REAC_FUEL',
```

```
  C=2.0,
```

```
  H=3.0,
```

```
  O=0.0,
```

```
  N=0.0,
```

```
  CO_YIELD=0.063,
```

```
  SOOT_YIELD=0.172/
```

```
&PROP ID='RÖKDETEKTOR',          QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
```

```
                                LENGTH=1.8,
```

```
                                ACTIVATION_OBSCURATION=3.28 / RÖKDECKARE
```

```
&MATL ID='CONCRETE',
```

```
  FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
```

```
  SPECIFIC_HEAT=1.04,
```

```
  CONDUCTIVITY=1.8,
```

```
  DENSITY=2280.0/
```

&SURF ID='BRAND',  
COLOR='RED',  
HRRPUA=415.0,  
RAMP\_Q='BRAND\_RAMP\_Q',/

&RAMP\_Q='BRAND\_RAMP\_Q'/

&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=0.0,	F=0.0/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=6.0,	F=0.096386/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=300.0,	F=0.096386/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=306.0,	F=0.240964/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=876.0,	F=0.240964/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=936.0,	F=0.662651/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=1296.0,	F=1.0/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=1476.0,	F=0.843373/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=1536.0,	F=0.096386/
&RAMP ID='BRAND_RAMP_Q', T=1656.0,	F=0.0/

&SURF ID='TAK',  
COLOR='BLUE',  
BACKING='VOID',  
MATL\_ID(1,1)='CONCRETE',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.5,  
GEOMETRY='CARTESIAN',  
LENGTH=0.0,  
WIDTH=0.0/

&SURF ID='VÄGG',  
COLOR='GREEN',  
BACKING='VOID',  
MATL\_ID(1,1)='CONCRETE',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.1,

GEOMETRY='CARTESIAN',

LENGTH=0.0,

WIDTH=0.0/

&OBST XB=2.3,2.4,1.0,2.0,0.0,1.0,

SURF\_ID6='BRAND','INERT','INERT','INERT','INERT','INERT'/ Eld

&OBST XB=0.0,1.8,0.0,6.0,2.4,3.0, SURF\_ID='TAK'/ Tak i korridor

&OBST XB=2.4,2.5,0.0,6.0,0.0,3.0, SURF\_ID='VÄGG'/ Vägg inuti väggen

&OBST XB=1.8,1.9,0.0,6.0,0.0,3.0, SURF\_ID='VÄGG'/ Vägg mellan korridor och bakom väggen

&HOLE XB=1.8,1.9,0.5,2.5,-0.01,2.1/ Dörr till elskåp

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=0.0,1.8,6.0,6.0,0.0,3.0, SURF\_ID='OPEN'/ Vent korridor

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=0.0,1.8,0.0,0.0,0.0,3.0, SURF\_ID='OPEN'/ Vent2 korridor

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=1.9,2.4,0.0,0.0,0.0,3.0, SURF\_ID='OPEN'/ Vent bakom väggen

&VENT SURF\_ID='INERT', XB=1.9,2.4,6.0,6.0,0.0,3.0, SURF\_ID='OPEN'/ Vent2 bakom väggen

VENT SURF\_ID='INERT', XB=1.9,2.4,0.0,6.0,3.0,3.0, SURF\_ID='OPEN'/ Hål i taket bakom väggen

&DEVC ID='RÖKDETEKTOR', PROP\_ID='RÖKDETEKTOR', XYZ=2.2,1.5,2.9/  
Rökdeckare

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.5/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.5/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=0.9/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE',  
PBZ=1.8 /

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&TAIL /

## Bilaga H – Pathfinder

Tabell 23 anger hur antalet människor varierar mellan dag och natt samt sannolikhet för användning för respektive nödutgång. Utgång 4 och 5 (se Figur 2) anses vara mer attraktiva vid utrymning för icke vårdpersonal då de är ingångar till avdelningen.

Tabell 23. Ingående data för simuleringarna i Pathfinder för utrymning.

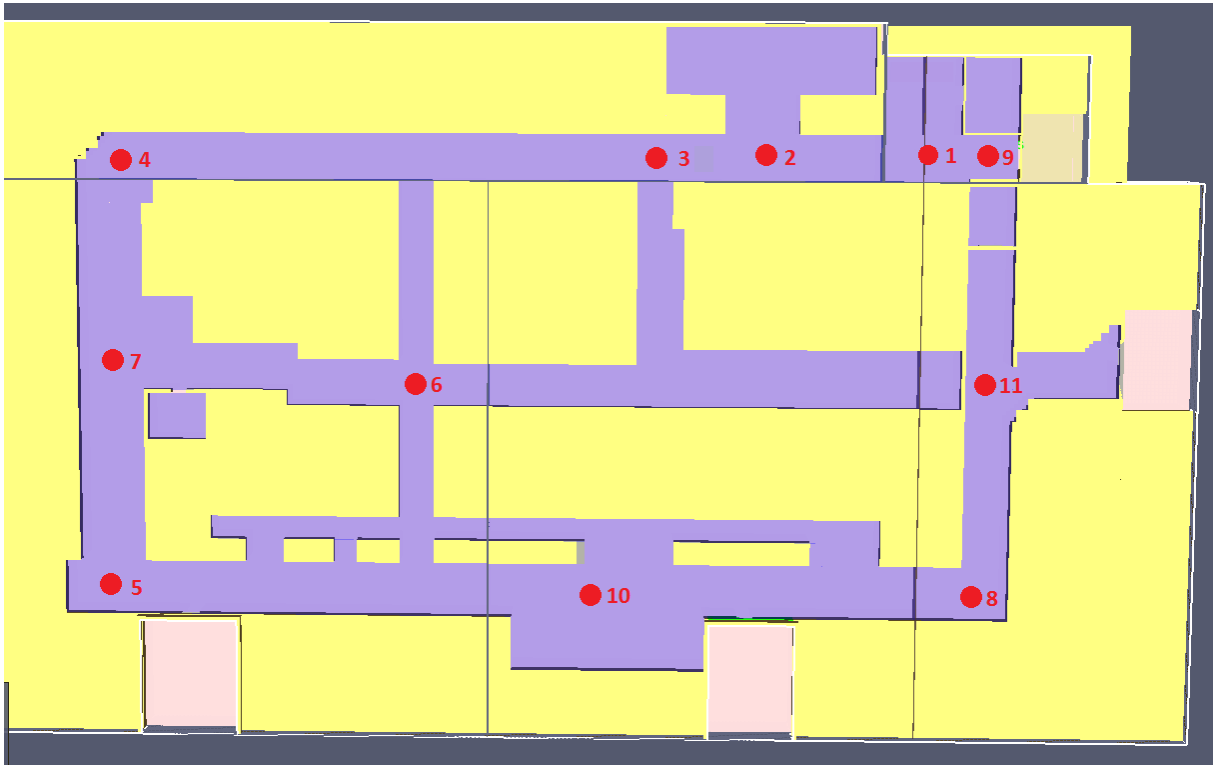
Ockupant	Antal (dag)	Antal (natt)	Utgång 1	Utgång 2	Utgång 3	Utgång 4	Utgång 5
Vårdpersonal	30	3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Civil/anhörig	20	5	0,1	0,1	0	0,4	0,4
Patient 1	20	2	0,1	0,1	0	0,4	0,4
Patient 2	5	1	0,1	0,1	0	0,4	0,4
Patient 3	5	3	0	0	0	0,5	0,5
$\Sigma$	<b>80</b>	<b>14</b>					

## Bilaga I – FDS

Nedan presentera gemensamma indata och resultat för samtliga simuleringar i FDS.

### Bilaga I.2 Placering av mätare

Figur 82 visar röntgenavdelningens uppbyggnad i FDS där de röda punkterna visar placering av mätarna för höjden av brandgaslagret.



Figur 82. Bilden visar vart på avdelningen de olika mätarna är placerade för att mäta höjden på brandgaslagret.

### Bilaga I.3 Kontroll

Vid simulering i FDS kan resultatens giltighet kontrolleras med hjälp av ekvation (9) och (10) nedan.

Ekvation (9) divideras med cellstorleken, dx. Detta görs för att kontrollera att cellerna är tillräckligt små för att ge rimliga resultat. Värdet bör då vara mellan 4 och 16 (Stroup & Lindeman, 2013).

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad (9)$$

Ekvation (10) används för att kontrollera att ytan branden brinner på har rätt förhållande till effektutvecklingen. Värdet bör ligga mellan 0,3 och 2,5 (Cox & Sumar, 2002).

$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g} \cdot D^{2,5}} \quad (10)$$

Där

$D^*$  är den karakteristiska branddiametern [m]

$Q^*$  är den dimensionslösa effektutvecklingen [-]

$\dot{Q}$  är brandeffekten [kW]

$\rho_{\infty}$  är omgivande luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

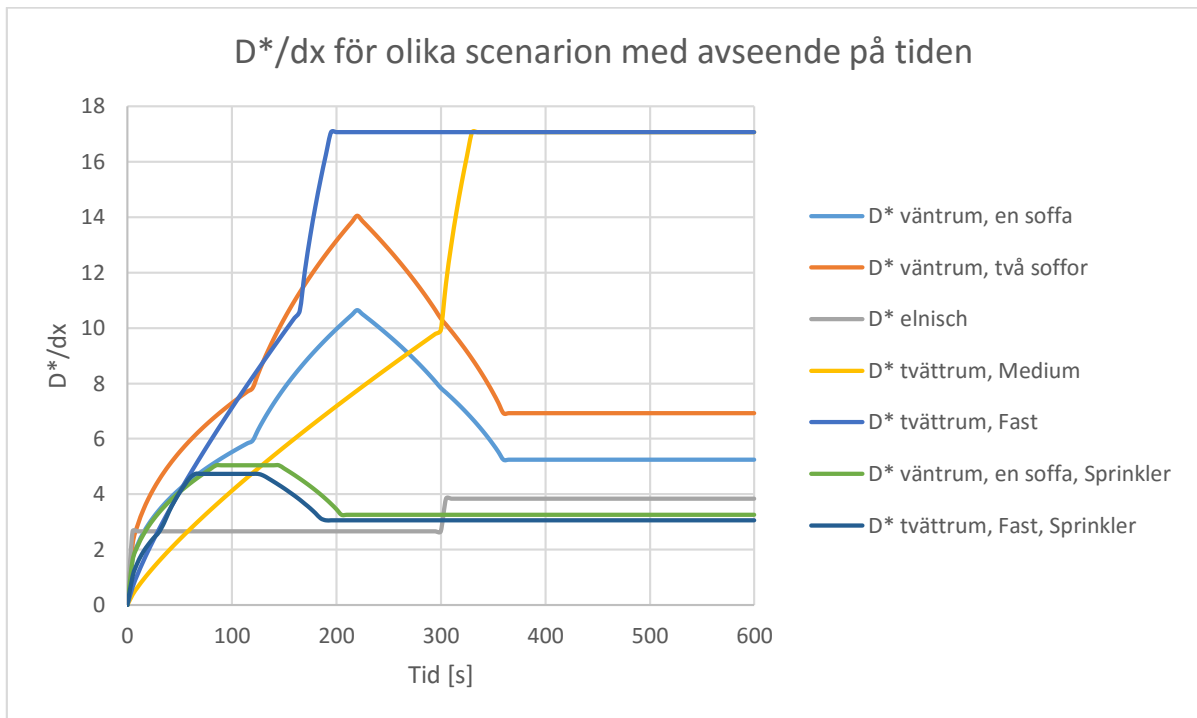
$c_p$  är luftens värmekapacitet [kJ/kg·K]

$T_{\infty}$  är omgivande luftens temperatur [K]

$g$  är gravitationskonstanten [m<sup>2</sup>/s]

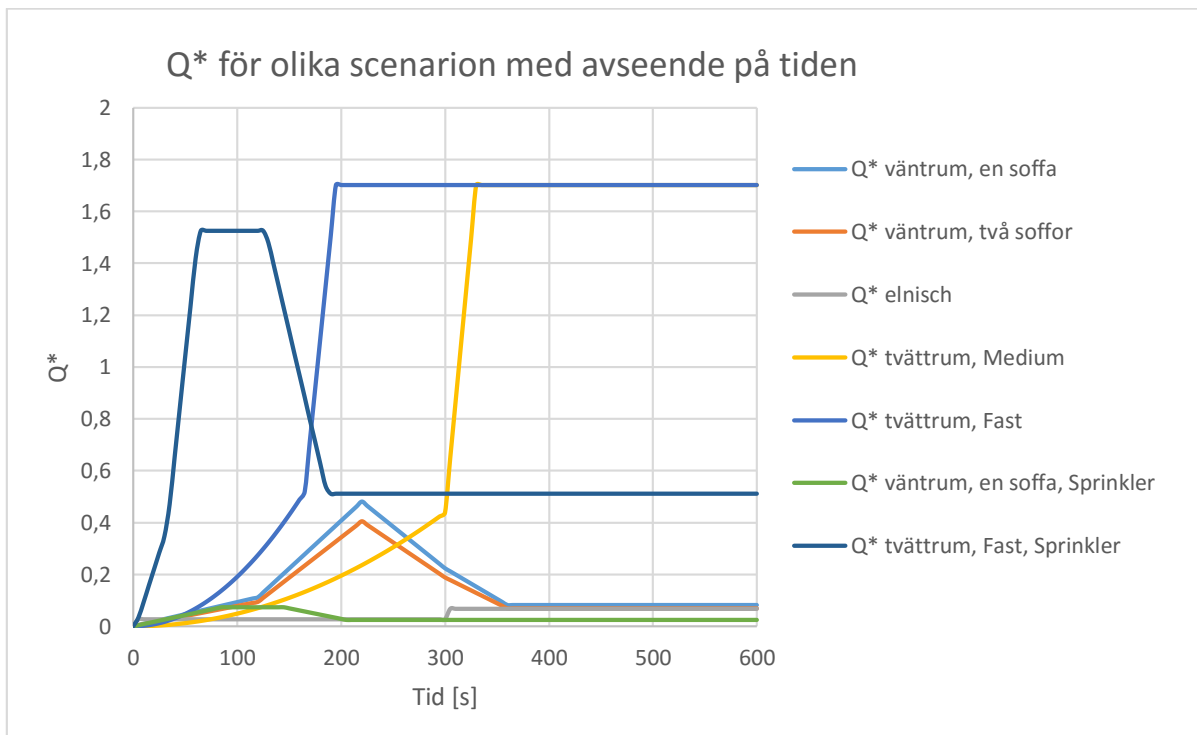
$D$  är brandkällans diameter [m]

Figur 83 visar hur  $D^*/dx$  förändras under brandens tid för de simulerade brandscenarierna i rapporten då en gravis tillväxt användes på samma brandarea. Idealt så ska storleken på  $D^*/dx$  vara mellan 4 och 16.



Figur 83. Grafen beskriver storleken på  $D^*/dx$  för de olika scenarierna med avseende på tid.

Figur 84 visar hur  $Q^*$  förändras under brandens tid för varje fall. Idealt så ska storleken på  $Q^*$  vara mellan 0,3 och 2,5.



Figur 84. Grafen beskriver storleken på  $Q^*$  för de olika scenarierna med avseende på tid.