



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av Gårdsåkra



Silvia Al-Breidi
Jennifer Lundberg
Jonas Nilsson
Martin Pospolicki

Lunds Tekniska Högskola
Rapport 9485, Lund 2016

Brandteknisk riskvärdering av

Gårdsåkra, Eslöv

Författare

Silvia Al-Breidi

Jennifer Lundberg

Jonas Nilsson

Martin Pospolicki

Handledare

Nils Johansson

Lund 2016

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 kvalitetsäkring. Rapporten måste därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Avdelningen för Brandteknik

Lunds tekniska högskola

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 60

Hemsida: www.brand.lth.se

Epostadress: brand@brand.lth.se

Division of Fire Safety Engineering

Faculty of Engineering, Lund University

Box 118

221 00 Lund

Telephone: 046-222 73 60

Homepage: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Gårdsåkra

Title

Fire safety evaluation of Gårdsåkra

Av/By

Silvia Al-Breidi

Jenniefer Lundberg

Jonas Nilsson

Martin Pospolicki

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, Gårdsåkra, brandscenario, personsäkerhet, utrymning, FDS, Pathfinder, känslighetsanalys.

Keywords

Fire safety evaluation, Gårdsåkra, fire scenario, security, evacuation, FDS, Pathfinder, sensitivity analysis.

Språk/language

Svenska/Swedish

Abstract

The purpose of this report is to evaluate whether the personal safety is adequate in case of a fire at Gårdsåkra in Eslöv. The personal safety considered being adequate if it can be shown that evacuation is possible for everyone without the risk of serious injuries. Gårdsåkra is a unique building which contains 16 buildings that are connected with one glass-roof. The buildings houses apartments, nursery school, school and after-school centre.

To evaluate the fire safety in the facility, possible fires scenarios that can arise are considered. Through a risk analysis, the worst probable fires are selected and evaluated with calculations and FDS simulations. Evacuation simulations are made with the help of Pathfinder. The analyses of the fires are compared with the results from evacuation simulations and conclusions are drawn.

The results show that the current fire safety is insufficient and safe evacuation cannot be guaranteed for everyone. As a consequence, measures are suggested to be implemented to improve the personal safety at Gårdsåkra.

Förord

Författarna av denna rapport vill härmed rikta ett stort tack till följande personer, som under arbetets gång har bidragit med stöttning och hjälp:

Nils Johansson, handledare, biträdande lektor, avdelningen för brandteknik, LTH

Johan Lindbom, handledare, Brandingenjör/Civilingenjör i riskhantering, Bricon

Cristof Nilsson, kontaktperson vid objektet, teknisk administratör, Eslövs Bostads AB

Enrico Ronchi, biträdande lektor, avdelningen för brandteknik LTH

Jonathan Wahlqvist, doktorand, avdelningen för brandteknik LTH

Sammanfattning

I denna rapport har en brandteknisk riskvärdering av byggnadskomplexet Gårdsåkra i Eslöv gjorts. Gårdsåkra består av totalt 16 stycken byggnader innehållande bostäder, förskola, fritidshem och skola, som alla är sammanknutna i en så kallad glasgata. Denna rapport har avgränsats till att endast behandla brandskyddet i glasgatan. Detta främst på grund av att glasgatan i rapporten bedöms vara inomhusmiljö, vilket ansågs kunde vara problematiskt och därför intressantast att analysera. Skyddsmålet för rapporten har definierats som att alla personer på Gårdsåkra ska kunna utrymma säkert, utan att skadas allvarligt vid händelse av brand.

Det har utförts en grovriskanalys varav två brandscenarier har valts ut som de värsta troliga. Dessa har sedan använts i en brandanalys. Likaså har tre utrymningsscenarier valts ut, vilka har bedömts representera utrymningsituationerna på Gårdsåkra.

Genom brand- och utrymningsanalyser har en riskvärdering kunnat göras utifrån skyddsmålet. Med det befintliga brandskyddet har bedömningen gjorts att skyddsmålet inte uppfylls och följande åtgärds paket har tagits fram:

1. Koppla utrymningslarm till bostäderna, sätta upp brandstegar och installera reservström
2. Begränsa brandbelastning och installera reservström
3. Brandklassa alla dörrar och fönster mot glasgatan och installera reservström

Med implementering av någon av dessa åtgärder bedöms det att skyddsmålet uppfylls, dock kan ytterligare åtgärder vidtas för att förbättra personsäkerheten vid brand. De åtgärder som föreslås som ytterligare åtgärder är:

- Förbättrade hissegenskaper
- Brandskyddade stålpelare
- Kontroll av brandlarm i bostäder

Nomenklatur

$\alpha =$ tillväxthastighet [kW/m^2s^2]

$A =$ area [m^2]

$A_0 =$ summan av öppningsarean [m^2]

$b =$ plymradie [m]

$c_s =$ specifik värmekapacitet [J/kgK]

$D =$ brandens diameter [m]

$\varepsilon =$ emissivitet [$-$]

$E =$ energi [MJ]

$F =$ area yta [m^2]

$h_c =$ konduktiva värmeövergångstalet [W/m^2K]

$H_0 =$ summan av öppningsareorna multiplicerat med sin höjd dividerat med A_0

$H_{c,eff} =$ förbränningseffektivitet [MJ/kg]

$L =$ medelflamhöjd [m]

$m =$ massa [kg]

$\sigma =$ Stefan Boltzmans konstant [kW/m^2K]

$\rho_s =$ stålets densitet [kg/m^3]

$\dot{q}_r'' =$ kritisk strålning [kW/m^2]

$Q =$ energi [J]

$\dot{Q} =$ effekt [kW]

$\dot{Q}_c =$ konvektiva brandeffekten [kW]

$\dot{Q}_v =$ maxeffekten av en ventilationskontrollerad brand [kW]

$r =$ radie cirkel [m]

$R =$ avstånd till närliggande objekt [m]

$t = \text{tid [s]}$

$t_{decay} = \text{tiden då decay startar [s]}$

$T_0 = \text{temperatur i centrum av plyn [K]}$

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

$T_s = \text{ståltemperatur [K]}$

$T_\infty = \text{omgivande lufttemperatur [K]}$

$V = \text{volym [m}^3\text{]}$

$X_r = \text{strålningsandel [-]}$

$z = \text{höjd över markplan [m]}$

$z_0 = \text{virtual origin [m]}$

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Skyddsmål	1
1.4 Avgränsningar och begränsningar	1
1.5 Metod.....	2
2. Objektsbeskrivning.....	4
2.1 Glasgatan.....	5
2.2 Byggnads och verksamhetsklass	7
3. Befintligt Brandskydd	9
3.1 Brandcellsgränser	9
3.2 Bärande konstruktioner	9
3.3 Detektionssystem och utrymningslarm	9
3.4 Utrymningsvägar	10
3.5 Släckutrustning.....	10
3.6 Räddningstjänst	10
3.7 Systematiskt brandskyddsarbete	10
3.8 Ventilation.....	10
3.8.1 Ventilation tekniskt brandskydd.....	11
3.8.2 Brandgasventilation.....	11
4. Utrymningsteori och kritiska förhållanden.....	12
4.1 Kritiska förhållanden.....	12
4.2 Utrymningstid.....	13
4.3 Varseblivningstid	13
4.4 Besluts- och reaktionstid	13
4.5 Förflyttningstid.....	13

5. Grovriskanalys	14
A. Brand i allmänna papperskorgar.....	14
B. Brand i uteplats	15
C. Brand på scen/läktare.....	15
D. Brand i el-central	16
E. Brand i tvättstuga	17
F. Brand i lägenhet	17
G. Brand i skola/matsal	18
5.1 Grovriskmatris.....	18
5.2 Val av scenario att analysera	19
6. Brandanalys	21
6.1 Brandscenario I – Övertänd lägenhet	21
6.2 Brandscenario II– uteplatsbrand.....	23
6.3 Förutsättningar i FDS och Pyrosim	26
6.3.1 Brandscenario I-Övertänd lägenhet.....	27
6.3.2 Brandscenario II-Uteplats	27
6.4 Förutsättningar för beräkning av kritisk strålningsnivå	27
6.5 Resultat för brandscenario I - övertänd lägenhet	28
6.5.1 FDS resultat.....	28
6.5.2 Avstånd till kritisk strålningsnivå	29
6.6 Resultat för brandscenario II - uteplatsbrand	29
6.6.1 FDS resultat.....	29
6.6.2 Avstånd till kritisk strålningsnivå	30
6.6.3 Flam- och plymhöjd samt temperatur	31
6.6.4 Påverkan på stålpelarna	31
7. Utrymningsscenarion	32
7.1 Dagtid, normalfall	32

7.2 Nattetid, normalfall	33
7.3 Dagtid, event i glasgatan	33
8. Utrymningsanalys.....	35
8.1 Pathfinder	35
8.1.1 Grundinställningar för scenarierna.....	35
8.2 Förflyttningstider.....	37
8.2.1 Dagtid, normalfall	37
8.2.2 Nattetid, normalfall	37
8.2.3 Dagtid, event	37
8.3 Utrymningstider	38
8.4 Personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga.....	39
9 Riskvärdering	40
9.1 Brandscenario I – Övertänd lägenhet	40
9.2 Brandscenario II - Uteplatsbranden.....	41
10 Känslighetsanalys.....	42
10.1 Känslighetsanalys av effektkurva för brandscenario II.....	42
10.2 Känslighetsanalys brandanalys	42
10.2.1 Brandscenario I – Brandgasluckor ur funktion	43
10.2.2 Brandscenario I- Gardiner ur funktion	44
10.2.3 Brandscenario I-Begränsad tilluft	44
10.2.4 Brandscenario I-Alternativ placering av branden	45
10.2.5 Brandscenario II-Brandgasluckor ur funktion.....	45
10.2.6 Brandscenario II- Gardiner ur funktion.....	45
10.2.7 Brandscenario II- Begränsad tilluft	46
10.2.8 Brandscenario II-Alternativ placering av branden	47
10.3 Känslighetsanalys av utrymningsanalys.....	47
11 Åtgärder och validering av dem	49

11.1	Krav på installation av reservström.....	49
11.2	Åtgärds paket.....	49
11.2.1	Koppla utrymningslarm till bostäderna samt sätta upp brandstegar	50
11.2.2	Begränsa brandbelastning	50
11.2.3	Brandklassa dörrar och fönster.....	51
11.3	Ytterligare åtgärder	51
11.3.1	Förbättrade hissegenskaper vid brand	52
11.3.2	Skyddade stålpelare.....	52
11.3.3	Kontroll av brandlarm i bostäder	52
12	Diskussion	53
12.1	Diskussion grovriskanalys.....	53
12.2	Diskussion effektkurva lägenhetsbrand	53
12.3	Diskussion effektkurva uteplatsbrand	54
12.4	Diskussion FDS och Pyrosim.....	55
12.5	Diskussion av avstånd till kritisk strålning	57
12.6	Diskussion av flam- och plymhöjd samt temperatur för uteplatsbranden.....	57
12.7	Diskussion av påverkan på stålpelarna vid uteplatsbranden	57
12.8	Diskussion utrymningsanalys.....	58
12.9	Diskussion av riskvärdering	59
12.10	Diskussion av åtgärder	60
12.11	Generell diskussion av rapportens resultat.....	60
13	Slutsats	62
	Litteraturförteckning	63

Bilaga A- Brandskiss av Gårdsåkra	I
Bilaga B - Rekommenderade gånghastigheter	II
Bilaga C- Underlag för grovriskanalys	III
Bilaga D-Effektutveckling brandscenario I.....	IV
Bilaga E- Effektutvecklingskurva Brandscenario II	VIII
Bilaga F-Information brandanalyssimuleringar	XII
Bilaga G-Strålningsberäkningar	XIV
Bilaga H- Plym-, flamhöjd- och temperaturberäkningar	XVI
Bilaga I- Temperaturberäkning för stålpelare	XVIII
Bilaga J-Resultat FDS- Brandscenario I	XX
Bilaga K-Resultat FDS- Scenario II.....	XXIV
Bilaga L –Känslighetsanalys FDS.....	XXVIII
Bilaga M- Känslighetsanalys Pathfinder.....	XLVII

1. Inledning

I kursen VBR054, Brandteknisk Riskvärdering, vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) görs ett större arbete för att knyta samman de tidigare studieåren på brandingenjörsprogrammet.

Denna rapport är resultatet av ett sådant arbete. Arbetet innebär att en grupp studenter på fyra personer gör en brandteknisk riskvärdering av ett tilldelat objekt, detta med hjälp av en handledare anställd på avdelningen för brandteknik på LTH samt med en extern kontaktperson från räddningstjänst eller en konsultfirma. Dessutom finns det för varje objekt även en kontaktperson på objektet.

Objektet som undersökts i denna rapport är Gårdsåkra i Eslöv. Gårdsåkra är ett byggnadskomplex som omfattar 16 stycken byggnader innehållande hyreslägenheter, förskola, fritidshem och skola, som alla är sammanknutna i en så kallad glasgata.

Målgruppen för denna rapport är främst kontaktperson samt personal på Eslövs bostad AB, men också studenter i årskurs 3 på brandingenjörsprogrammet.

1.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att presentera resultatet av en brandteknisk riskvärdering av Gårdsåkra i Eslöv. Den brandtekniska riskvärderingens syfte är att värdera personsäkerheten vid händelse av brand på Gårdsåkra, detta för att kunna avgöra om brandskyddet kan anses vara tillräckligt.

1.2 Mål

Målet med denna rapport är att genom brandtekniska- samt utrymningsanalyser värdera personsäkerheten vid händelse av brand på Gårdsåkra. Om brister i personsäkerheten skulle förekomma enligt rapporten, är målet att ta fram förslag till åtgärder för ett tillfredsställande personskydd vid händelse av brand.

1.3 Skyddsmål

Denna brandtekniska riskvärdering omfattar personsäkerheten vid brand på Gårdsåkra och då främst möjlighet till en säker utrymning. Skyddsmålet i denna rapport är därför att alla personer på Gårdsåkra ska kunna utrymma säkert vid händelse av brand. Med säkert menas att ingen ska behöva utsättas för förhållande som kan skada dem allvarligt.

1.4 Avgränsningar och begränsningar

I denna rapport kommer endast brandskyddet i den så kallade glasgatan att utvärderas.

Brandskyddet i de enskilda bostäderna och skollokalerna kommer alltså inte att analyseras.

Dock kommer de byggnader som ligger i direkt anslutning till glasgatan och deras påverkan ur brandskyddssynpunkt att behandlas i rapporten, eftersom de kan påverka utrymningssäkerheten och brandskyddet i glasgatan. Denna avgränsning görs främst för att begränsa rapportens storlek, men också för att utrymningsproblematiken bedöms som mest intressant i glasgatan. Rapporten tar inte heller hänsyn till ekonomiska eller miljömässiga skador på Gårdsåkra, utan endast till personsäkerhet.

Den största begränsningen av rapporten är tiden. På grund av begränsad tid har rapportens omfattning också begränsats, exempelvis har endast två brandscenarier valts ut för vidare analys. Begränsningar och antaganden finns även i de datormodeller och beräkningar som kommer att användas för att bedöma riskvärderingen på Gårdsåkra.

1.5 Metod

Till grund för denna brandtekniska riskvärdering ligger en bestämd arbetsgång, vilken kan ses i Figur 1.



Figur 1. Arbetsgång för den brandtekniska riskvärderingen som ligger till grund för rapporten.

Arbetet inleddes med ett platsbesök. På platsbesöket var studenterna, handledaren från LTH, kontaktpersonen från brandkonsultföretaget Bricon samt den tekniska administratören för Eslövs Bostads AB medverkande. Under platsbesöket samlades den information som behövdes för det fortsatta arbetet.

Efter att ha fått en bild av objektet under platsbesöket kunde fysiska avgränsningar av objektet för riskvärderingen göras. Detta gjordes utifrån var i objektet det ansågs vara störst problematik med avseende på personsäkerheten vid en eventuell brand.

Den första riskanalysen som sedan gjordes var en grovriskanalys, med utgångspunkt i värsta troliga fall. I grovriskanalysen togs alla tänkbara brandscenarier fram och därefter gjordes en analys av sannolikhet samt konsekvens för respektive scenario. Efter att scenarierna klassats i sannolikhet och konsekvens fördes de in i en riskmatris för att enkelt kunna välja ut två av de värsta troliga scenarier som kan uppstå. De utvalda brandscenarierna analyseras sedan vidare i rapporten.

Även tre scenarier för utrymning togs fram. Dessa scenarier bedömdes, efter platsbesöket, representera de olika utrymningsscenarier som antas kunna ske i glasgatan.

Analys med utgångspunkt i brand samt i utrymning gjordes sedan av de utvalda brand- och utrymningsscenarierna. Målet med brandanalysen var att ta fram vilka förhållande som uppstår vid de olika brandscenarierna. Utrymningsanalysens mål var istället att ta fram hur lång tid utrymningen tar för olika scenarier.

Riskvärderingen innefattade sedan att jämföra de förhållanden branden orsakar med resultaten av utrymningsanalyserna, för att bedöma om skyddsmålet uppfylls med det befintliga brandskyddet. Om det befintliga brandskyddet inte anses vara gott nog, skulle åtgärdsförslag tas fram.

För att bevisa att eventuella framtagna åtgärder förbättrar personsäkerheten på Gårdsåkra behövdes en validering av åtgärderna göras. Valideringen gjordes genom att utvärdera ifall alla personer på Gårdsåkra kan utrymma säkert vid händelse av brand, då åtgärderna är vidtagna. Om valideringen visar på att skyddsmålet ännu inte uppfylls krävs ytterligare åtgärdsförslag.

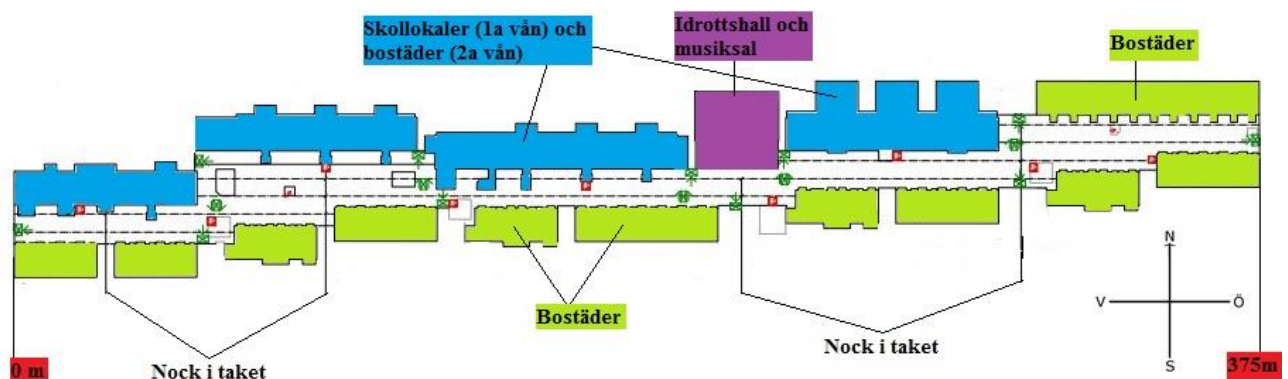
I alla analyser under arbetsgången gjordes även osäkerhets- eller känslighetsanalyser för att värdera tillförlitligheten av resultaten. Dessa ligger till grund för känslighets- och diskussionskapitlet.

2. Objektsbeskrivning

Gårdsåkra i Eslöv är ett unikt bostadskomplex som totalt består av 16 stycken byggnader, med en total area på cirka 13 000m² (Bricon, 2015). Fyra av dessa innehåller skolverksamhet i årskurs F-6, förskola samt fritidshem med tillhörande storkök, matsal, gymnastiksal, slöjdsalar och bibliotek. Totalt går cirka 350 stycken elever i skolbyggnaderna. Samtliga byggnader är sammanknutna i en och samma glasgata, som har en total längd på 375m. Totalt finns det 122st hyreslägenheter i varierande storlek, från 2-5 rum och kök i 1-3 plan (Eslövs bostads AB, 2016). Byggnaderna är till största del uppdelade i två våningar där ovanvåningen nås via loftgångar i glasgatan. De södra byggnaderna är alla bostäder i olika storlek och varierande antal plan. De norra byggnaderna utgör bland annat skolverksamhet med tillhörande matsal, gymnastiksal, storkök samt slöjdsal, detta främst på 1:a plan, (med undantag för gymnastiksalen, som utgör båda planen). På andra plan finns ett skolbibliotek, personalrum/kontor samt bostäder. För en ritning över Gårdsåkra med dess verksamheter se Figur 2. (Nilsson, 2016)

Gårdsåkra byggdes 1983 (Eslövs bostads AB, 2016). Tanken var då att temperaturen i glasgatan skulle vara konstant cirka 20°C, samt att spillvattnet från hela byggnadskomplexet skulle förse alla byggnader samt glasgatan med värme. Idag är det dock så att glasgatans temperatur aldrig understiger 5°C, annars följer den årets temperaturförändringar. Dessutom förses värmen till alla byggnader med fjärrvärme. (Nilsson, 2016)

Gårdsåkra är en offentlig plats där vem som helst kan komma in dagtid. Klockan 22.00 låses dock dörrarna som gränsar ut i det fria och hålls låsta till 05.00. Värt att notera är att om någon har tagit sig in i någon del av byggnaden innan 22.00, kan de släppa in vem som helst. (Nilsson, 2016)



Figur 2. Ritning över Gårdsåkra med dess verksamheter. Den röda markeringen visar längd för byggnadskomplexet. (Lundberg, 2016)

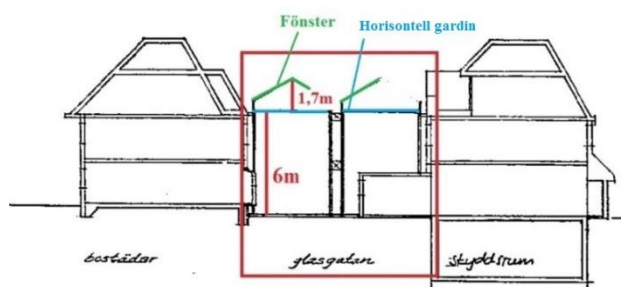
2.1 Glasgatan

Glasgatan utgör en inbyggd gårdsmiljö som länkar de olika byggnaderna till varandra, se Figur 3. På fyra ställen i taket sitter så kallade nockar, vilka kan ses i Figur 2. Den 375 meter långa glasgatan är byggnadstekniskt indelad i sex stycken så kallade skepp, vilka kan ses i Figur 7 i kapitel 3.8.2. Skeppen är olika stora och har inte alltid någon tydlig gräns mellan varandra. Funktionen med skeppen är främst att dela in byggnadskomplexet i olika delar men också att styra vilka brandgasluckor som öppnar. Brandgasluckorna öppnas nämligen skeppsvis vid detektion, alla kan dock öppnas samtidigt manuellt via ett styrskåp. (Nilsson, 2016)



Figur 3. Överblicksbilder av glasgatan (Lundberg, 2016).

Taket i glasgatan utgörs av glasrutor, formade som ett M, där några är brandgasluckor. Under taket finns en horisontell gardin som används för att begränsa solljusinsläppet, denna finns på en höjd av sex meter. Den totala takhöjden varierar, men den högsta höjden till taket är 7,7 meter, se Figur 4.



Tvårsnitt B-B genom hus nr: 6b och 5a

Figur 4. Principskiss av glasgata, takhöjd och höjd till gardin. Den röda fyrkanten utgör en markering av glasgatan. (Lundberg, 2016)

De flesta lägenheter på nedre plan har en tillhörande uteplats i glasgatan. Förutom privata uteplatser finns även växter, tre stycken tvättstugor, fyra stycken el-centraler, samt en scen med tillhörande läktare, som används som skolaula, i glasgatan. Två av tvättstugorna är placerade i glasgatan och den tredje är placerad i anslutning till glasgatan. De fyra el-centralerna är placerade som en utbyggnad på en av byggnaderna, under läktaren vid scenen samt två stycken i glasgatan, se Figur A1 i bilaga A.

I glasgatan är det förbud mot att bland annat cykla, rasta hunden samt att röka. Likaså är det sagt att de boende som har en uteplats inne i glasgatan inte får ha stoppade möbler och dynor på uteplatsen, detta för att förhindra att det finns brännbart material i glasgatan (Nilsson, 2016). Dock kunde det under platsbesöket noteras att detta är en regel som inte följs särskilt väl, se Figur 5. Slutsatsen av detta är bland annat att regler finns, men i vilken utsträckning de följs är oklart, vilket betyder att man inte kan utesluta exempelvis att någon röker i glasgatan.



Figur 5. Översiktspbilder av uteplatser i glasgatan (Lundberg, 2016).

Hur det ser ut i glasgatan varierar under året. De boende med uteplatser i glasgatan har olika saker placerade där, under julen sätts en julgran in i glasgatan, någon gång har det varit olika event som till exempel julmarknad eller luciatåg (Nilsson, 2016).

I glasgatan är mycket av den fasta inredningen i trämaterial. På bostäders fasad ut mot glasgatan sitter träpaneler på väggarna, likaså är avgränsande staket mellan varje uteplats i trä. Scenen med tillhörande läktare är även de i trä. Se Figur 6.



Figur 6. Översiktssbild av den fasta träinredningen i glasgatan (Lundberg, 2016).

Det finns en viss komplexitet av att bestämma hur glasgatans miljö ska betraktas. Enligt räddningstjänst betraktas glasgatan som utomhusmiljö (Nilsson, 2016), vilket gör att objektet kan liknas vid tätt placerade radhus. Eftersom eventuella brandgaser inte kan ta sig ut i det fria, utan att brandgasluckorna i glasgatan öppnar, betraktas dock glasgatan som inomhusmiljö i denna rapport. Med denna betraktelse skulle glasgatan kunna likställas med ett trapphus i ett flerbostadshus. Detta på grund av att bostäderna på Gårdsåkra är flerbostadshus, där utrymningsvägen, till viss del, är genom glasgatan. För trapphus gäller dock enligt Boverkets Byggregler att de *"ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas"* (Boverket, 2015). Detta innebär bland annat att en brand i en lägenhet inte ska kunna sprida sig till trapphuset, det vill säga att trapphuset är en egen brandcell. Dessutom får inget brännbart material placeras i trapphuset, material såsom barnvagnar, cyklar och möbler (MSB, 2014). Glasgatan kan därmed inte betraktas som ett trapphus dit utrymning kan se. Eftersom den bland annat inte är en egen brandcell och för att det finns mycket brännbart material i den.

2.2 Byggnads och verksamhetsklass

Om Gårdsåkra skulle byggas idag, hade det blivit klassat i byggnads- och verksamhetsklass. Gårdsåkra sett som en helhet skulle då klassas som verksamhetsklass 2B, på grund av personantal och att den endast är en brandcell (Bricon, 2015). Denna verksamhetsklass innefattar samlingslokaler där fler än 150 personer vistas. Dock kan de enskilda verksamheterna på Gårdsåkra delas in i andra verksamhetsklasser. Generellt sett är skolor verksamhetsklass 2A eller 2B, beroende på personantal. Fler än 150 personer innebär 2B. Förskolor klassas som verksamhetsklass 5A och bostäder klassas som verksamhetsklass 3.

Eftersom rapporten är avgränsad till att undersöka och analysera glasgatan innebär det verksamhetsklass 2B. (Boverket, 2015)

Enligt dagens byggregler anser vi att Gårdsåkra klassas som en Br0 byggnad, om den skulle vara nybyggd och glasgatan skulle betraktas som en inomhusmiljö. Detta på grund av att hela byggnadskomplexet endast är en brandcell, med ett stort antal personer. Enligt Bricons rapport bedöms dock att Gårdsåkra är utförd enligt Br1. (Bricon, 2015)

3. Befintligt Brandskydd

Under platsbesöket studerades Gårdsåkras befintliga brandskydd och information gavs av den tekniska administratören på Gårdsåkra, Cristof Nilsson. Med den informationen, med ritningar, samt med hjälp av Bricons beskrivning av brandskyddet på Gårdsåkra (Bricon, 2015) sammanställdes kapitlet befintligt brandskydd nedan.

Från och med den 3/5-2016 är det planerat att ett nytt brandlarmsystem kommer vara i funktion på Gårdsåkra. Det är därmed det detta brandskydd som kommer att användas som utgångspunkt och således beskrivas i detta avsnitt.

3.1 Brandcellsgränser

Mellan varje lägenhet är såväl väggarna som bjälklagen byggda i brandteknisk klass EI 60, dock är inte fönster, dörrar och väggarna ut mot glasgatan det (Bricon, 2015). Lägenheterna har separata ventilationssystem och stommar. Skollocalerna är även avskilda mot varandra i vad som kan liknas brandceller men saknar också brandteknisk klass mot glasgatan. Samtliga byggnader, som vetter mot glasgatan, saknar brandcellsklassade fönster och dörrar (Nilsson, 2016). Under förutsättning att glasgatan klassas som inomhusmiljö medför detta att hela byggnadskomplexet, på cirka 13 000 m², trots allt betraktas som en enda brandcell (Bricon, 2015).

3.2 Bärande konstruktioner

Stommarna i byggnaderna är generellt utförda i betong och bedöms uppfylla klass R 60. Glastaket och loftgångarna bärs upp av stålpelare som inte är klassade eller brandskyddade. (Bricon, 2015)

3.3 Detektionssystem och utrymningslarm

Alla bostäder bör vara försedda med egna brandvarnare (MSB, 2014), men huruvida det uppfylls är oklart (Nilsson, 2016). Skolan, tvättstugorna, el-centralerna samt aggregatrummen och glasgatan på Gårdsåkra är försedda med rökdetektorer av typen BHH-200, vilka tillsammans med larmknappar utgör ett automatiskt brandlarm. Då detektionssystemet detekterar brand i glasgatan öppnas rökluckorna i det skeppet som berörs. Utrymningslarmen i glasgatans olika delar, skola, tvättstuga och el-centraler är kopplade till varandra. Utrymningslarmen aktiveras i samband med det automatiska brandlarmet. Vid aktivering tjuiter en akustisk signal, dessutom är handikapptoalletter i skola och förskola försedda med en optisk signal. (Nilsson, 2016)

3.4 Utrymningsvägar

Dimensionerna på utrymningsvägarna uppfyller gällande byggregler. Det vill säga de har åtminstone en bredd på 0,9 m och en höjd på 2 m. Utrymningsdörrarna i skolan samt generellt i glasgatan har måtten 0,9 x 2,1 m och är utrustade med trycke och vred. Skollokalerna i anläggningen är försedda med belysta och genomlysta utrymningsskyltar. Passagen mellan fritids och förskola är utförd med efterlysande skyltar. Glasgatan är försedd med belysta eller genomlysta utrymningsskyltar. (Bricon, 2015)

Det finns två befintliga hissar på Gårdsåkra som går mellan entréplan och plan 2 i byggnaden. Hissarna uppfyller inte nuvarande byggregler. Detta på grund av att kablarna i hissen inte är brandklassade eller förlagda avskilt från hissmaskineriet (Bricon, 2015). Vid eventuellt strömavbrott stannar inte hissen vid närmaste plan, utan stannar där den befinner sig (Nilsson, 2016).

3.5 Släckutrustning

Skollokalerna i anläggningen är försedda med handbrandsläckare. Glasgatan är försedd med inomhusbrandposter, för placering av brandposter se Figur A1 i bilaga A.

3.6 Räddningstjänst

Byggnaden är tillgänglig från befintlig räddningsväg. Den förväntade insatstiden understiger tio minuter (Bricon, 2015). Räddningstjänsten kan styra brandgasventilationen från källaren på Gårdsåkra 6 och tillhandahåller hjälp vid utrymning med stegutrustning (Nilsson, 2016).

3.7 Systematiskt brandskyddsarbete

Det sker en årlig besiktning av rökluckor samt service av de kuggstänger som öppnar luckorna vid aktivering. Dessutom görs en kvartalsbesiktning av alla dörrar, larm, inomhusbrandposter, samt kontroll av el-centraler, pumphus, fläktrum, tvättstugor, soprum samt yttre brandvägar. Det sker även en årsservice av alla ventilationsfläktar och filterbyten utförs. (Nilsson, 2016)

3.8 Ventilation

Skola, fritids och skoldelar på entréplan hanteras av separata aggregat placerade i fläktrum i glasgatan. Ett separat aggregat för skolan innebär att skolan har eget tilluftssystem men att frånluften leds ut i glasgatan, via en gemensam frånluftskanal. Samtliga lägenheter har separata system, likaså alla skoldelar. De andra delarna av Gårdsåkra har gemensamma ventilationssystem. Separata system innebär att de försörjs av egna till- och frånluftskanaler.

Gymnastiksalen på entréplan och musiksalen på plan 2 sköts av aggregat i byggnaden. I fläktrummen finns värmeåtervinningsaggregat som använder energin i frånluften till att värma upp den kalla luften utifrån. (Nilsson, 2016)

3.8.1 Ventilation tekniskt brandskydd

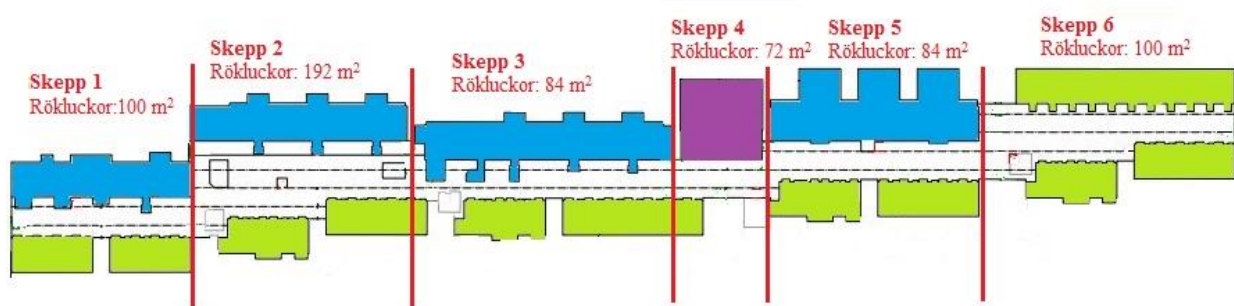
Generellt är alla aggregat med gemensam frånluftskanal på Gårdsåkra skyddade med brand/brandgasspjäll och det sitter även lokala detektorer i kanalen. Spjällen rör på sig en gång per 48 timmar. Generellt är kanaler i förbindelse till spjäll isolerade. (Bricon, 2015)

3.8.2 Brandgasventilation

Brandgasventilation i form av rökluckor finns i glasgatans tak. Totalt finns 632 m² rökgasluckor uppdelade i de sex skeppen enligt Figur 7. De sex skeppen är inte beroende av varandra utan öppnas var för sig, dock kan alla öppnas genom manuell styrning.

Rökluckorna har en frånluftsfunktion som styrs genom detektoraktivering eller manuellt via räddningstjänsten vid eventuell brand. Det förstnämnda alternativet styrs av två detektoraktiveringar. Precis under glastaket finns en gardin, som bland annat fungerar som solskydd. Under gardinerna finns de första detektorerna. Vid detektion av brand ska gardinen öppnas automatiskt med hjälp av en motor. När röken nått de detektorer som istället är placerade i toppen av taket, öppnas rökluckorna automatiskt. Brandgasventilationen med motorer för både gardin och brandgasluckor är dimensionerade för reservström. I nuläget finns det dock ingen reservström tillgänglig.

Tilluften till glasgatan sker via dörrar vilka öppnas manuellt.



Figur 7. Principskiss av Gårdsåkra med skeppindelning samt rökgasluckornas totala storlek i vardera skepp (Lundberg, 2016).

4. Utrymningsteori och kritiska förhållanden

I Boverkets Byggregler står det skrivet att det ska finnas möjlighet för utrymning vid brand i en byggnad. Det innebär att tiden för utrymning skall jämföras med tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår och vara kortare. (Boverket, 2015). I denna rapport kommer utrymningstiden att jämföras med de förhållanden som uppstår i brandscenarierna och Boverkets byggregler kommer endast att användas som riktlinjer.

4.1 Kritiska förhållanden

När utrymning inte kan ske på grund av olika faktorer kallas det att det är kritiska förhållanden. Olika faktorer som kan ge kritiska förhållanden är bland annat, temperatur, sikt och toxicitet. Det finns riktlinjer för kritiska förhållanden framtagna av Boverket, se Tabell 1, vilka bland annat anger lägsta höjd till brandgaslagret, minsta sikt och maximala temperatur. Det allmänna rådet från Boverket i samband med kriterierna, i Tabell 1 är att kriterium 1 eller 2 samt 3 -5 bör vara uppfyllda. Detta betyder att utrymning genom brandgaser kan accepteras i vissa fall.

Det ska dock noteras att Boverkets kritiska förhållande endast är riktlinjer, vilket innebär att de inte anger vad som egentligen är kritiskt. Istället kan det vid andra tillämpningar användas andra riktlinjer för kritiska förhållanden (Frantzich & Nilsson, 2003). I denna rapport används Boverkets kritiska förhållanden som riktlinjer och inte som krav. En diskussion förs istället i riskvärderingen angående om personer skadas allvarligt eller inte.

Tabell 1. Kritiska förhållanden vid utrymningssäkerhet enligt Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering, BBRAD 3 (Boverket, 2013)

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	Lägst $1,6 + (\text{rumshöjden (m)} \times 0,1)$
2. Siktbarhet, 2,0 m ovan golv	10,0 m i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$ 5,0 m i utrymmen $\leq 100 \text{ m}^2$
3. Värmestrålning/Värmedos	Max $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m^2 i kombination med 60 kJ/m^2 utöver energin från strålningsnivå på 1 kW/m^2
4. Temperatur	Max $80 \text{ }^\circ\text{C}$
5. Toxicitet, 2,0 m ovan golv	Kolmonoxidkoncentration (CO) $< 2\,000 \text{ ppm}$, Koldioxidkoncentration (CO ₂) $< 5 \%$, Syrgaskoncentration (O ₂) $> 15 \%$

4.2 Utrymningstid

Utrymningstiden är den totala tiden det tar att utrymma. Det är den tiden som är avgörande för om en utrymning är säker eller inte, eftersom den jämförs med tiden till att de kritiska förhållandena uppstår. Själva utrymningstiden delas in i tre delar: varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. Dessa tider presenteras närmare i kap.4.3 - 4.5 nedan. (Boverket, 2006)

4.3 Varseblivningstid

Den tid det tar för en person att uppfatta att något onormalt inträffat kallas varseblivningstid. Denna tid påverkas om ett automatiskt brandlarm och utrymningslarm finns. Generellt kan varseblivningstiden antas vara den samma som den teoretiska aktiveringstiden för detektorerna och larmen. Finns det inga detektorer och larm är det svårt att uppskatta varseblivningstiden. (Boverket, 2006)

4.4 Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstid är den tid det tar för en person att, när den blivit varse om att något onormalt inträffat, börja förflytta sig. Den innefattar att förstå att det brinner, förbereda sig, hjälpa andra att utrymma och att eventuellt bekämpa branden. (Nilsson, 2006).

Besluts- och reaktionstiden beror till stor del på tydligheten i informationen som hjälper personen att fatta rätt beslut samt att utrymningsvägarna är synliga. En faktor som påverkar tiden avsevärt är medvetenhetsgraden, exempelvis finns det skillnader i besluts- och reaktionstiden om personerna sover, är vakna eller berusade. (Boverket, 2006)

4.5 Förflyttningstid

Den tid det tar för en person att förflytta sig ut ur byggnaden kallas förflyttningstid. Denna tid är framförallt beroende på personens förmåga att förflytta sig, hur många personer som finns i lokalen samt deras hjälpbehov. Förflyttningstiden påverkas även av orienterbarheten, det vill säga bland annat sikt, belysning och skyltar. Vad som ofta är en viktig aspekt är att det blir köbildning vid trånga passager, dessa dimensioneras ofta efter förväntat maximalt antal personer i lokalen. I bilaga B presenteras de gånghastigheter som Boverket angivit som riktlinjer under olika förhållanden.

5. Grovriskanalys

I detta avsnitt behandlas de brandscenarion som bedöms kunna uppkomma på Gårdsåkra. Det bedöms hur troliga dessa scenarion är samt vilken konsekvens de kan få. De olika scenariona beskrivs och bedöms i skala 1-5, både vad gäller sannolikhet och konsekvens. Sannolikhets- och konsekvensskalan beskrivs enbart som en rangordning mellan de olika scenarierna.

Därför kvantifieras inte betydelsen av de ansatta värdena. Dock kan siffrorna 1-5 förekomma flera gånger för de olika scenariona. Rangordningen genomförs för att kunna identifiera värsta troliga scenario som kan representera eller täcka in flertalet möjliga scenarier.

Sannolikhetsbedömningen baseras på kvalitativa resonemang angående hur troligt varje scenario är. Som grund för bedömningen används också statistik från MSB, som utgår från information som har sammanställts av räddningstjänsternas insatsrapporter. Denna information finns i bilaga C.

Konsekvensbedömningen för respektive scenario görs utifrån en kvalitativ bedömning av brandens storlek och påverkan på personerna på Gårdsåkra. Varje scenarios sannolikhet och konsekvens redovisas efter en beskrivning av respektive scenario A-D nedan.

A. Brand i allmänna papperskorgar

Papperskorgar är placerade på olika ställen i glasgatan, se Figur 8. De sitter framförallt på stålpelarna, som utgör bärande konstruktion för glasgatan. Papperskorgarna kan ha snabba brandförlopp, men har en begränsad brandbelastning. En brand i en soptunna kan utvecklas till en effekt på cirka 70 kW, vilket motsvarar ungefär en effekt som när 12 stycken mjölkkartonger brinner i soptunnan (Särdqvist, 1993). Omkring papperskorgarna finns i normala fall inget brännbart material inom radien av två meter. Det förväntas därför att branden inte sprids vidare till andra objekt och har därmed en låg konsekvens, 1.

Sannolikheten att en brand i någon av glasgatans papperskorgar ska inträffa, med konsekvensen 1, sätts till 5, på grund av att den anses vara mest sannolik av de olika scenariona A-G. En brand i en soptunna är sannolik främst på grund av att de tillgängliga för alla, vilket ökar sannolikheten för en anlagd brand. Dessutom kastas alla typer av material i papperskorgarna, mer eller mindre lättantändliga. Det finns dock ingen statistik som ligger till grund för denna bedömning.

Sannolikhet: 5

Konsekvens: 1



Figur 8. Översiktsbild av glasgatan med markerade papperskorgar (Lundberg, 2016).

B. Brand i uteplats

På uteplatserna fanns det många föremål av olika material, exempelvis möbler, stoppade möbler samt leksaker i plastmaterial. Dessa föremål har generellt både snabb tillväxt vid brand och dessutom hög sammanlagd brandbelastning. Eftersom föremålen på uteplatserna finns nära lägenheternas träfasad (se Figur 5, i kapitel 2) finns det en hög risk för brandspridning till fasaderna samt mellan uteplatserna. Dessutom kan den potentiella branden begränsa möjligheterna till utrymning i och via glasgatan. Detta leder till att konsekvensen för branden bedöms till den högsta på konsekvensskalan. Sannolikheten bedöms som en 4:a, detta främst på grund av att uteplatserna är väldigt tillgängliga för eventuell antändning, men också på grund av att det inte anses osannolikt att en eventuell brand i uteplatserna får den höga konsekvensen som är satt.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 5

C. Brand på scen/läktare

Det finns en aula i glasgatan där olika event arrangeras, aulan består av en scen med tillhörande läktare, se Figur 9. I detta scenario antas att någon pjäs eller liknande sätts upp med dekor och attiraljer som antas vara brännbart. Detta hade troligen haft en snabb tillväxt vid brand och en hög brandbelastning på grund av en stor mängd material. Förutom dekormaterialet är scenen och läktaren i glasgatan gjorda av trä. Tätt intill läktaren finns även växter placerade. En sådan brand mitt i glasgatan hade begränsat möjligheterna till utrymning i och via glasgatan. Dessutom finns risk för brandspridning till omkringliggande bostäder,

skola, samt växtlighet. Därför sätts konsekvensen, likt brand i uteplats, till en 5:a.

Sannolikheten för en brand i scen/läktare anses dock vara låg, främst på grund av att det inte alltid är verksamhet där.

Sannolikhet: 1

Konsekvens: 5



Figur 9. Översiktsbild scen och läktare (Lundberg, 2016).

D. Brand i el-central

Det finns fyra el-centraler på Gårdsåkra, två av dem ligger i glasgatan, en av dem ligger i anslutning till glasgatan och den sista ligger under läktaren. I el-centralerna finns kablar och relä, i okänd mängd. På grund av stor mängd kablar och eventuellt andra material i el-centralerna kan de medföra hög brandbelastning. En brand i en el-central kan sprida sig vidare till andra delar på Gårdsåkra i och med att de ligger i angränsning till andra byggnader och byggnadsdelar, exempelvis under läktaren. I el-centralerna finns dock branddetektorer, vilket ger en tidig detektion av brand, dessutom är de knutna till utrymningslarmet i glasgatan. Därför sätts konsekvensen till 3. Den elektriska utrustningen som finns i el-centralerna är en potentiell startkälla, dock anses sannolikheten för att det ska börja brinna som en 2:a jämfört med de andra scenariona.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3

E. Brand i tvättstuga

Tvättstugor ligger separat inne i eller i anslutning till glasgatan och är inte indelade i egna brandceller. En brand i tvättstuga kan orsakas av tvättmaskiner, kläd eller torkskåp/torktumlare. En eventuell brand kan från maskinen sprida sig till andra maskiner och kläder i tvättstugan som kan börja brinna. Frånluften från tvättstugorna går rakt ut i glasgatan, vilket innebär att eventuella brandgaser kommer att komma rakt ut i glasgatan. I tvättstugorna finns branddetektorer som är kopplade till glasgatans larmsystem, vilket innebär att det blir en tidig detektion som gör att branden tidigt kan upptäckas och begränsas innan konsekvenserna så stora. Därför sätts konsekvensen av en brand i tvättstuga, likt brand i el-centraler, till 3. Sannolikheten för en brand i tvättstugan med konsekvensen 3, sätts till 3. Detta främst på grund av en bedömning att det är mer sannolikt för en brand i tvättstuga än el-central, vilket stöds av statistiken i bilaga C.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

F. Brand i lägenhet

Bränder kan starta i olika föremål i lägenheter. Olika lägenheter har även olika mycket brandbelastning. Eftersom lägenheterna angränsande till glasgatan har separata ventilationssystem sprids inte brandgaser till glasgatan via ventilationen. Det finns dock ingen kontroll av vilka lägenheter som har brandvarnare, därför kan det ta väldigt lång tid till upptäckt. Det värsta scenariot för brand i en lägenhet är därför, med hänsyn till glasgatan, att den blir övertänd. En övertänd brand i någon av lägenheterna skulle leda till att glaset ut mot glasgatan spricker, vilket i sin tur påverkar glasgatan genom brand- och brandgasspridning. Branden skulle efter övertändning kunna sprida sig ut till uteplatserna och i träfasaderna i glasgatan så att den påverkar även intilliggande bostäder. Glaset ut mot glasgatan antas spricka och helt falla ut vid övertändning eftersom de inte är brandklassade. En övertänd lägenhet ses som en konsekvens på 5, för utrymningssäkerheten i glasgatan. Sannolikheten att en lägenhet ska brinna och bli övertänd sätts till 3. Detta på grund av att det finns många potentiella startkällor i lägenheter. Att det brinner i en lägenhet på Gårdsåkra med jämna mellanrum är därför troligt, däremot bedöms det inte lika troligt att branden blir övertänd.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 5

G. Brand i skola/matsal

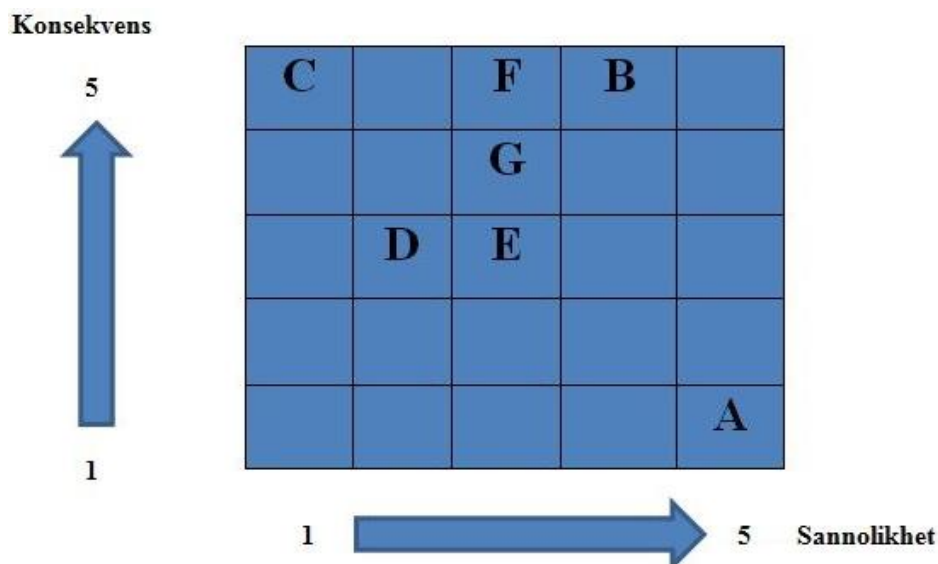
Delar av skolans frånluftventilation mynnar ut i glasgatan. Om en brand uppstår i skolan flödar brandgaserna ut i glasgatan. Dessutom är det vanligt att dörrarna mellan skolan och glasgatan är öppna dagtid, vilket även det skulle innebära att brandgaserna sprids i glasgatan. En brand i skolan har alltså direkt påverkan på glasgatan och begränsar möjligheterna till utrymning i och via glasgatan. I skolan skulle många olika bränder kunna uppstå. En brand skulle kunna vara anlagd på utsidan av skolan och sedan sprida sig in via till exempel fönster eller takfot. En brand skulle också kunna starta i någon av skolans lokaler eller i matsalen. En av de värre bränderna antas vara en brand i träslöjdssalen, där det finns mycket stor brandbelastning. Där finns det också flera antändningskällor exempelvis brännpennor och andra maskiner. Detta scenario bedöms på grund av ovanstående faktorer som en konsekvens på 4:a. Anledningen till att detta scenario har en lägre konsekvens än lägenhetsbranden är att det finns ett detektionssystem i skolan, vilket ger en tidig detektion av branden. Sannolikheten för en brand i skola med konsekvensen 4 sätts till en 3:a, likt en övertänd lägenhetsbrand. Till stöd för denna bedömning är främst den beräknade frekvensen för brand i skola respektive brand i lägenhet, vilken kan ses i Tabell C1 i bilaga C.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

5.1 Grovriskmatris

I följande figur redovisas den sammanlagda grovriskanalysen med sannolikhet och konsekvens för de olika scenarierna. Riskmatrisen används som verktyg för att bedöma och välja ut de scenarier som ska analyseras vidare.



Figur 10. Grovriskmatris där scenarierna A-G är placerade på en skala 1-5 i konsekvens och sannolikhet. Där 1 är lägst och 5 är högst.

5.2 Val av scenario att analysera

Med hjälp av grovriskanalysen väljs två scenarier ut för vidare analys. Eftersom brand i skola (scenario G) och brand i lägenhet (scenario F) båda är bränder i angränsande utrymme till glasgatan samt att de har liknande brandförlopp och är kategoriserade med liknande sannolikhet och konsekvens, valde vi att endast analysera ett av de, nämligen brand i lägenhet. Främsta anledningen till att brand i lägenhet valdes att analyseras är att en brand i lägenhet skulle kunna vara oupptäckt i större utsträckning än skolan, eftersom skolan har automatiskt brandlarm. Om en brand är oupptäckt i en lägenhet, där det finns mycket brännbart material, finns det stor risk att den blir övertänd och att glasrutorna mot glasgatan går sönder, som en följd av det. Det är endast då glasrutorna går sönder som glasgatan påverkas, därav är det endast då lägenhetsbranden blir intressant för glasgatan. Vi antar att om en brand i lägenhet är acceptabel ur personsäkerhetssynpunkt, är också en brand i skolan det.

Förutom scenariot "brand i angränsande utrymme", vilket representeras av brand i lägenhet analyseras också scenariot "brand i glasgata", vilket representeras av brand i uteplatser (scenario B). Anledningen till att brand i uteplatser valdes för att representera brand i glasgata är för att den gav högst konsekvens av scenarierna i glasgatan, eftersom brandbelastningen bedöms vara hög på uteplatserna. I och för sig bedömdes konsekvensen för brand i scen/läktare (scenario C) till samma som brand i uteplats, men eftersom brand i uteplats har större sannolikhet valdes den istället. Detta med stöd av metoden att analysera värsta troliga fallet. Genom att välja det scenario i glasgatan som ger värst konsekvens bedöms det att de

andra scenarierna, brand i soptunna (scenario A), el-central (scenario D), scen/läktare (scenario C) och tvättstuga (scenario E), inkluderas i det.

Scenariona ”brand i angränsande utrymme” och ”brand i glasgata” kommer härnäst att benämnas ”Brandscenario I” respektive ”Brandscenario II”.

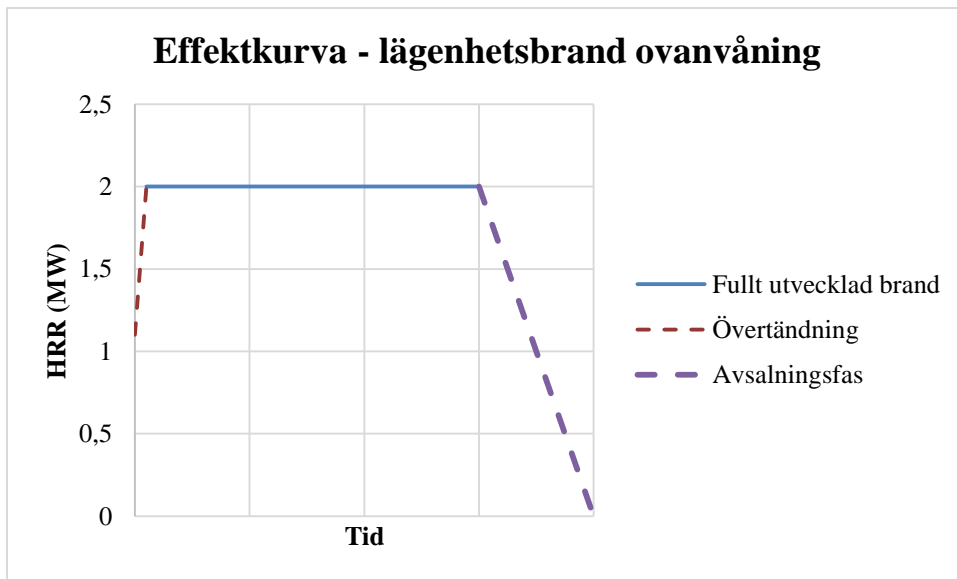
6. Brandanalys

Nedan kommer de utvalda brandscenarierna I och II att beskrivas mer utförligt. Även effektutvecklingskurvor, resultat av beräkningar samt simuleringar presenteras.

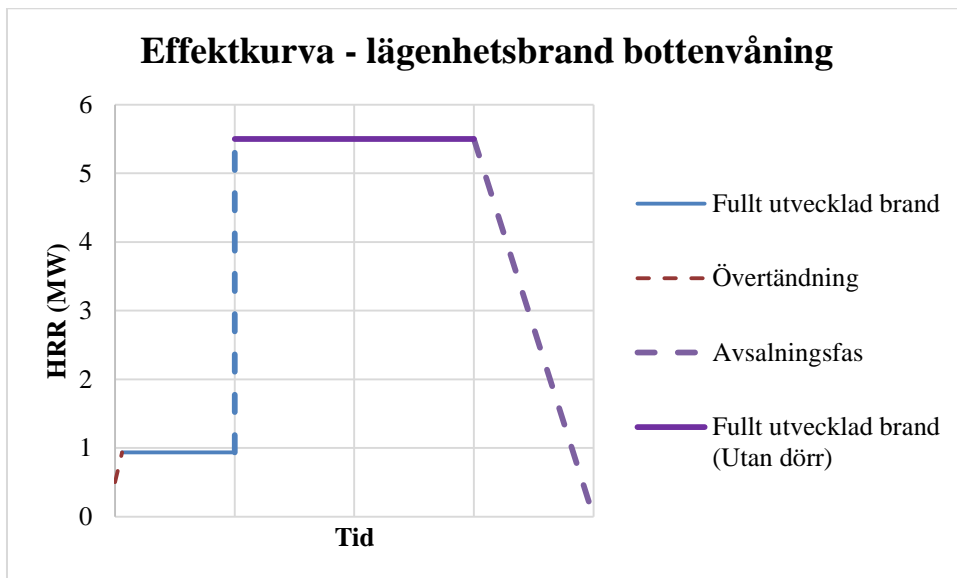
6.1 Brandscenario I – Övertänd lägenhet

Det finns många möjliga startkällor till en brand i en lägenhet, exempel är elfel, en överhettad laptop, levande ljus eller i samband med matlagning. Brandbelastningen i en lägenheter kan vara väldigt stor, då de är välmöblerade. En liten brand i en lägenhet har därför goda möjligheter att sprida sig för att till slut bli en övertänd lägenhet. Det är lägenhetsinnehavarna som har ansvar för att sätta upp branddetektorer och larm i lägenheterna på Gårdsåkra (Nilsson, 2016). Detektorerna är inte anslutna till samma brandlarmsystem som skolan och glasgatan på Gårdsåkra. En brand skulle därför kunna uppstå i en lägenhet utan att bli upptäckt. Fönstren i lägenheterna bedöms baserat på information i *Selecting design fires* (Staffansson, 2010) gå sönder vid övertändning, eftersom de inte är brandklassade. Detta är det värsta troliga fallet eftersom branden förblir oupptäckt fram till fönstren går sönder och en stor mängd rökgaser samt brandeffekt plötsligt belastar glasgatan.

I detta scenario analyseras det värsta troliga, för glasgatan, vilket är en fullt utvecklad lägenhetsbrand. För att vara konservativ väljs en stor flervåningslägenhet med 4 rum och kök. Branden antas starta i och begränsas till ett våningsplan i lägenheten. Därmed fås två möjliga effektutvecklingar, en för ovanvåningen och en för bottenvåningen, eftersom antalet fönster mot glasgatan varierar mellan våningsplanen. Branden är endast intressant för glasgatan då rök sprids i den. Detta sker när fönster eller dörrar går sönder. När övertändning har skett och fönster gått sönder kommer brandens effekt stiga ytterligare för att till slut nå en maxeffekt. Brandens effektutveckling för de olika våningarna från det att övertändning skett visas i Figur 11 samt Figur 12.



Figur 11. Schematisk effektkurva för en övertänd lägenhetsbrand på ovanvåningen.

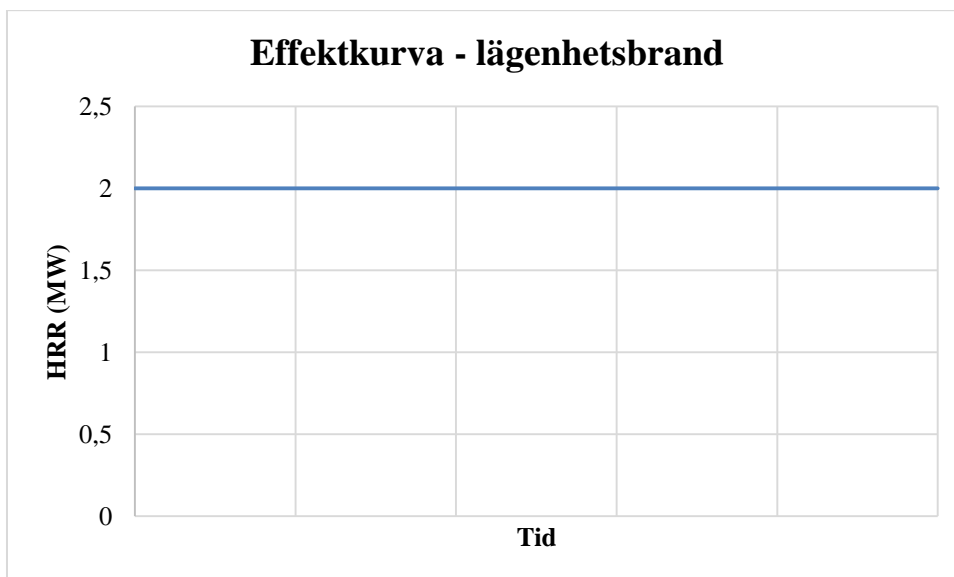


Figur 12. Schematisk effektkurva för en övertänd lägenhetsbrand på bottenvåningen.

På bottenvåningen finns en ytterdörr mot glasgatan, det är därför Figur 12 skiljer sig så distinkt från Figur 11. Fönstren går sönder först vilket ger upphov till en initial maxeffekt. Dörren håller längre, men när den tillslut går sönder kan mer luft strömma in vilket ökar maxeffekten. Dörrens tjocklek uppskattas konservativt till 30 mm och antas vara gjord av trä. Trä bedöms förbrännas med 1mm/min (Räddningsverket, 1996). Detta innebär att dörren borde hålla cirka 30 minuter innan den kan betraktas som förbränd och därmed öppen. Tiden till övertändning är normalt 3-5 minuter vid en rumsbrand (Paroc, 2016). I värsta troliga fall kommer dörren därmed att ha varit påverkad av brand i ca 15 minuter, eftersom räddningstjänstens insatstid till Gårdsåkra är 10 minuter. Dörren kan därför fortfarande

betraktas som stängd innan räddningstjänsten har påbörjat sin insats. Detta innebär att det inte är troligt att glasgatan belastas med 5,5 MW under den analyserade tiden. Därmed genererar ovanvåningen en farligare situation innan räddningstjänsten har anlänt och kommer därför att användas som modell för att beskriva en lägenhetsbrand.

Det förväntas att branden fortlöper fram till dess att räddningstjänsten anländer och påbörjar sitt släckarbete, eller till dess att utrymningen är slut. Till följd av detta är avsvalningsfasen av mindre betydelse och kommer därför inte att beaktas. Vid övertändning stiger effekten snabbt under kort tid. Det är svårt att förutspå hur effekten varierar över tid under denna snabbafas. På grund av detta antas det att övertändning sker momentant och att maxeffekten erhålls direkt, vilket är ett konservativt antagande. Härmed fås en konstant effektkurva på 2 MW, vilken kan ses i Figur 13. Den effektkurvan antas beskriva en generell lägenhet och kan därför placeras var som helst i glasgatan. Beräkningarna för effektkurvorna kan ses i bilaga D.



Figur 13. Effektkurvan för lägenhetsbranden som används i fortsatta analyser av scenario I.

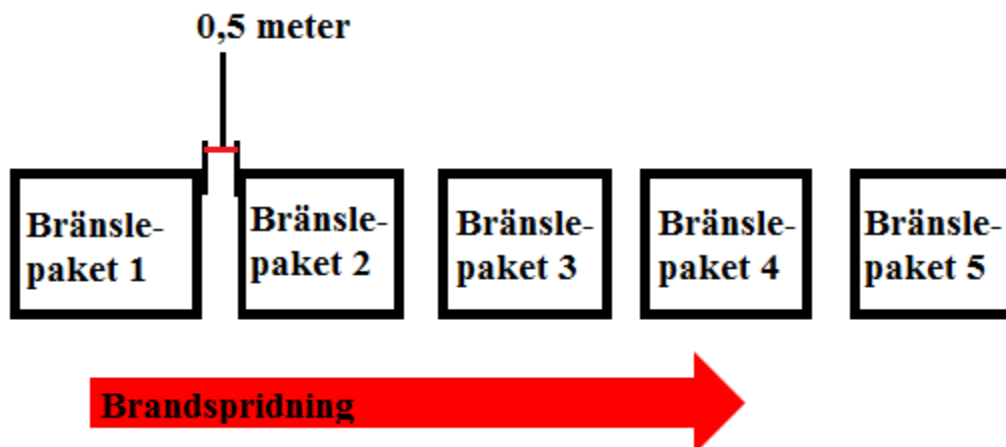
6.2 Brandscenario II– uteplatsbrand

Startkälla till brand i uteplats, tillhörande en lägenhet, skulle exempelvis kunna vara rökning, levande ljus eller en anlagd brand. Det fanns varierade mängd brännbart material på de olika uteplatserna i glasgatan, men de flesta hade soffa eller trämöblering där stoppade dynor placerats på stolarna. I detta scenario antas ett värsta troligt fall där brand startar i en av uteplatserna och sedan sprider sig vidare till de anslutande uteplatserna. En spridning mellan uteplatserna är möjlig på grund av att uteplatserna har stora mängder brännbart material samt på grund av att väggarna har träpaneler och staketet mellan uteplatserna är i trämaterial. Alla

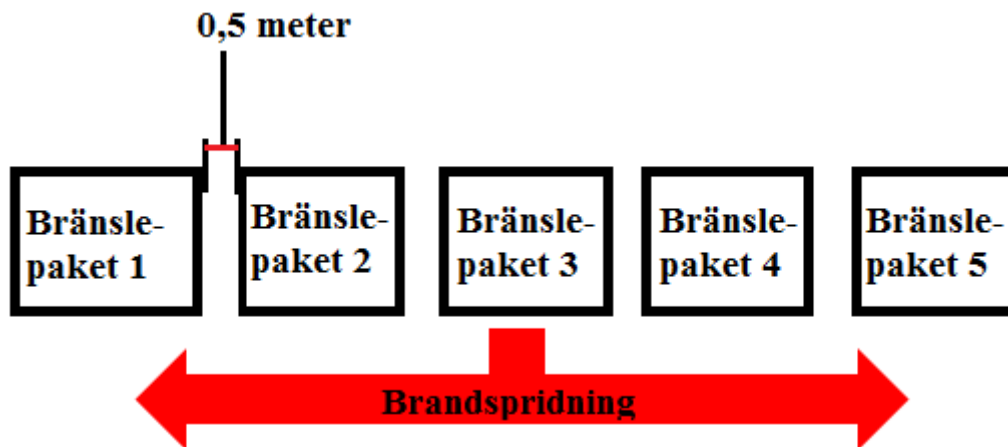
uteplatser antas se ut på liknande sätt och därför ge samma värsta troliga tillväxthastighet, maxeffekt och effektutveckling.

Uteplatsernas föremål antas vara likadana och slås samman som bränslepaket, se Figur 14- Figur 15, där hela bränslepaketet följer en tillväxtkurva. För analys av detta scenario används fem stycken bränslepaket, vilket motsvarar lika många uteplatser. Bränslepaketet antas ha en area på $4 \cdot 1 \text{ m}^2$ och en maxeffekt på 2,5 MW, vilket motsvarar 625 kW/m^2 . Maxeffekten valdes utifrån att en soffa enligt *Initial Fires* har en maxeffekt på cirka 2 MW och trästolar en maxeffekt på cirka 500 kW (Särdqvist, 1993), vilken bedöms motsvara en trolig möblering av en uteplats i glasgatan. Eftersom en viss brandbelastning har valts för varje uteplats kommer den att brinna ut efterhand. De olika bränslepaketet antas antända då strålningsnivåerna från branden når kritiska strålningsnivåer för de materialen som finns, beräkningar kan ses i bilaga E. Den kritiska strålningsnivån då angränsande bränslepaket bedöms antända är 20 kW/m^2 (Staffansson, 2010). Beräkningarna bygger på att uteplatserna ligger en halv meter ifrån varandra.

Två scenarier har studerats för brand på uteplats. Första scenariot är att brand uppstår på första uteplatsen och sprider sig horisontellt mot de övriga närliggande fyra, se Figur 14. Andra scenariot är att brand uppstår i den mellersta uteplatsen och sprider sig horisontellt åt två håll, se Figur 15.

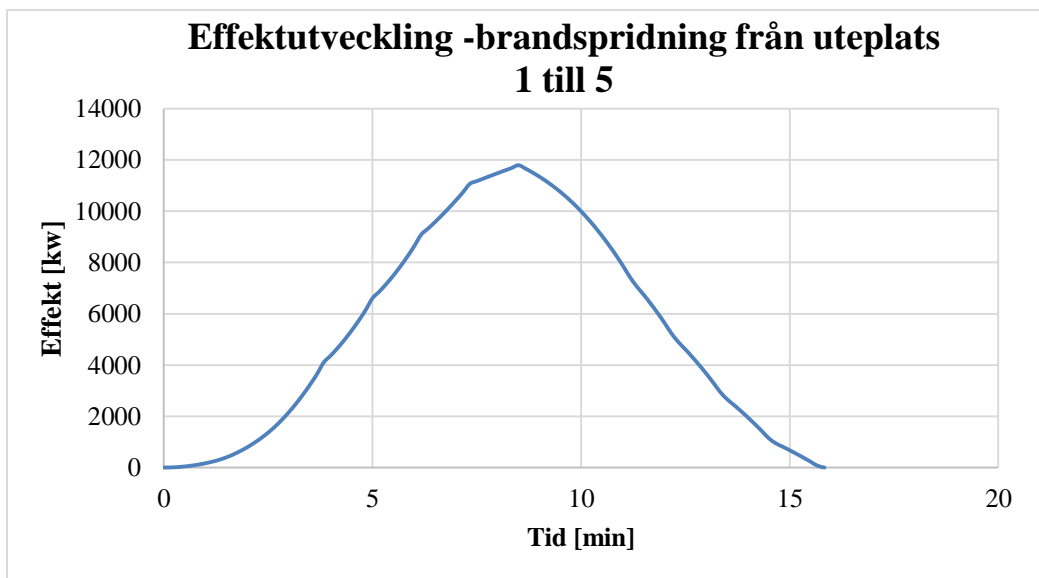


Figur 14. Principskiss över uteplats branden med horisontell spridning från 1:a till 5:e bränslepaketet, där varje bränslepaket motsvarar en uteplats.

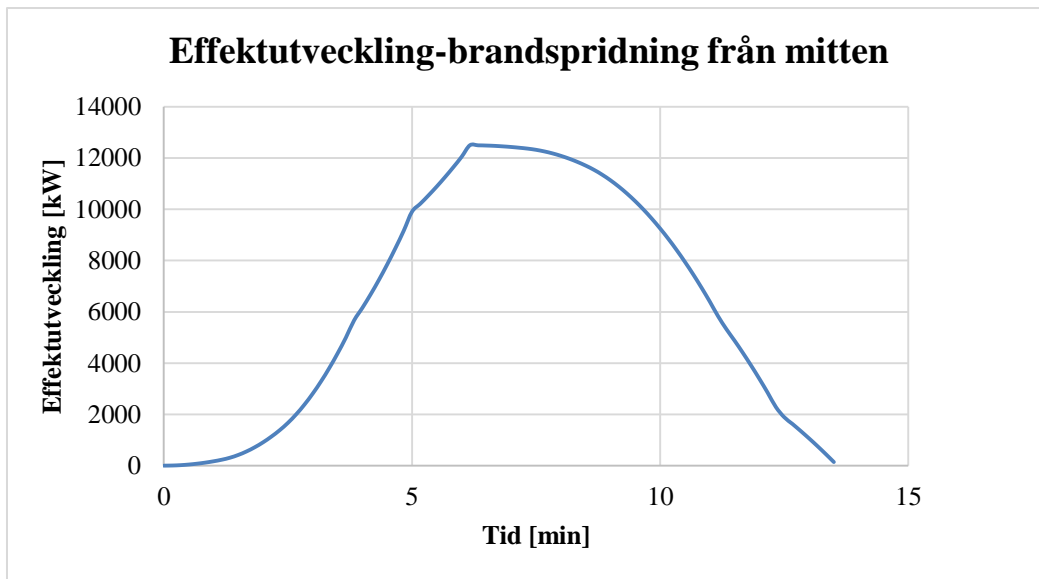


Figur 15. Principskiss för uteplatsbranden med horisontell brandspridning från mitten ut mot båda sidorna.

Effektutvecklingskurvorna nedan bygger på de två olika brandspridningsförloppen som kan analyserats på uteplatserna. I Figur 16 visas effektutvecklingen för brandscenariot då den första uteplatsen brinner och sprider sig horisontellt mot de övriga fyra. I Figur 17 presenteras effektutvecklingen för brandscenariot då mellersta uteplatsen brinner och sprider sig horisontellt åt två håll. De båda är konservativa fall, som är större än vad som normalt används vid dimensionering av byggnader.



Figur 16. Effektutveckling för brand på uteplats, med horisontellspridning åt ett håll.



Figur 17. Effektutveckling för brand på uteplats, med horisontell spridning åt två håll.

Startar branden i den mellersta uteplatsen blir maxeffekten cirka 1 MW högre än om branden startat i den första uteplatsen och spridit sig åt ett håll. Dessutom blir tiden till maxeffekt kortare för branden som startar i mitten. Brandförloppet blir också kortare, vilket beror på att brandspridningen sker åt två håll och bränslet kommer att ta slut fortare.

Branden som sprider sig åt endast ett håll får en tillväxtfaktor på cirka $0,05 \text{ kW/s}^2$. Branden som sprider sig på två håll får istället en tillväxtfaktor på cirka $0,1 \text{ kW/s}^2$. Båda värdena ligger enligt *Selecting Design Fires* mellan en fast och en ultrafast brand (Staffansson, 2010). Det högre värdet, innebär att förloppet är snabbare.

Scenariot då branden startar i mitten och sprider sig åt två håll bedöms vara det mest allvarliga, då den ger en högre maxeffekt, ett snabbare förlopp samt kommer att bidra till högre strålningsintensitet mot omgivningen än branden som presenteras i Figur 16.

Anledningen till att den kommer bidra till högre intensitet är att tre uteplatser kommer brinna samtidigt innan den första brunnit ut

Eftersom branden som presenteras i Figur 17 bedöms vara den mest allvarliga, kommer denna användas vid brandanalys i FDS.

6.3 Förutsättningar i FDS och Pyrosim

Programmet som använts för att simulera brandscenariona är FDS, Fire Dynamics Simulator. För att rita upp geometrin användes, istället för att skriva kod, Pyrosim. En detaljerad beskrivning av hur detta gjordes finns i bilaga F. Specifik information om de olika scenariona finns i kapitel 6.3.1–6.3.2 nedan.

6.3.1 Brandscenario I-Övertänd lägenhet

För Brandscenario I, brand i en övertänd lägenhet, ritades utöver glasgatans geometri också en lägenhet i Pyrosim. Lägenhetens geometri var liksom glasgatan förenklad. Golvet och väggarna valdes till adiabatiska, för att inga värmeförluster skulle ske till väggar och golv. Lägenheten byggdes i storlek $2,5 \cdot 5$ m. Hela rummet var tänkt att vara slutet, förutom de två fönster som sattes helt öppna, eftersom de antagits gått sönder vid övertändningen. En polyuretanbrand placerades strax innanför fönstren mitt i rummet $1 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}$, med en effekt på 1000 kW/m^2 , vilket motsvarar den beräknade maximala effekten på 2 MW. Effekten rampades upp på en sekund, eftersom då övertändningen i rummet sker och glasrutorna går sönder ska glasgatan direkt påverkas av en fullt utvecklad brand. För att den simulerade branden skulle kunna ge en konstant effekt på 2 MW krävs att den inte hämmas utav begränsat syre. Därför modellerades ett hål i golvet ner till ett litet utrymme där en ventilation applicerades för att kunna tillgodose branden med syre med så liten påverkan på de bildade brandgaserna som möjligt. Målet med simuleringen av lägenheten var att se hur en övertänd lägenhetsbrand påverkar glasgatan, därav var det inte av intresse att utföra en korrekt simulering av förhållandena i rummet.

Lägenheten placerades allra längst till vänster i byggnadskomplexet och på andra våningen, se Figur F2 i bilaga F. I en känslighetsanalys i kap 10 flyttades sedan branden för att undersöka vilken placering som ger värst resultat. Likaså simulerades, i känslighetsanalysen, att gardinerna eller rökluckorna inte fungerade.

6.3.2 Brandscenario II-Uteplats

Brandscenario II, simulerades också i FDS. Utöver glasgatans geometri byggdes fem bränder i Pyrosim, vardera i storlek $1 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}$, vilket skulle representera uteplatserna. De olika bränderna sattes att starta vid olika tider, för att följa den beräknade effektkurvan för scenariot, se Figur 17. Branden sattes att starta på den mittersta uteplatsen för att sedan sprida sig horisontellt åt två håll, vilket var det fall som ger värsta effektkurvan. Effekttutveckling för bränslepaketet och tiden för brandspridning till nästa bränslepaket, som användes i FDS, presenteras i bilaga E.

6.4 Förutsättningar för beräkning av kritisk strålningsnivå

Utrymning kan påverkas av flera faktorer under en pågående brand, bland annat av strålningen. Den kan nämligen bli så kraftig att den skadar människan och därmed förhindrar en säker utrymning. Boverkets riktlinjer är att människan klarar av att utsättas för 2,5

kW/m² under lång tid utan att få skador eller 10 kW/m² under en kortare tid (Boverket, 2013). Detta medför att det endast är säkert att vistas på ett visst avstånd från branden innan skada sker. Strålningsberäkningar har därför gjorts för maxeffekterna i de olika scenarierna, vilka kan ses i Bilaga G. Resultatet av dessa beräkningar kan ses under avsnitt 6.5.2 samt 6.6.2

6.5 Resultat för brandscenario I - övertänd lägenhet

I detta avsnitt presenteras resultatet av analyserna för brandscenario I. De analyser som gjorts är simuleringar i FDS samt stålningberäkningar. I FDS simulerades branden i 600 sekunder, då såväl skugggardiner som brandgasluckor fungerade, samt tilluften var obegränsad. Vidare, under känslighetsanalysen i kapitel 10, redovisas resultat från simuleringar då gardinerna och brandgasluckorna är ur funktion, då tilluften begränsas samt då lägenhetsbranden är omplacerad.

6.5.1 FDS resultat

Från simuleringen av lägenhetsbranden erhöles effektutvecklingskurvan som kan ses i Figur J1 i bilaga J. Det kan tydligt ses att brandens effekt ökar från 0 till 2 MW på väldigt kort tid, sedan fluktuerar effekten mellan 1,7–2,3 MW under den resterande tiden.

På grund av den brandens plötsliga belastning av glasgatan blev det ett värre förhållande innan rökgasluckorna hunnit öppna än efteråt. Den första detektorn, placerad under gardinerna aktiverade efter cirka 30 sekunder, efter ytterligare 5 sekunder togs gardinen bort. Vid totalt cirka 40 sekunder aktiverade detektorerna precis under glastaket och strax därefter öppnades brandgasluckorna. I princip direkt efter att brandgasluckorna öppnats, vid cirka 1 minut, bedöms förhållandena i glasgatan vara stationära. Temperaturen och sikten vid de olika mätpunkterna förblev oförändrade till slutet av simuleringstiden.

För det stationära förhållandet har sikten samt temperaturen tagits fram för två positioner i skeppet: västra nödutgången samt södra nödutgången, vilka kan ses i Figur F2 i bilaga F. Dessa har tagits fram som en funktion av höjden och kan ses i Figur J2-J5 i bilaga J. För 1,6 respektive 4,6 meter, vilket bedöms vara en persons andningshöjd på mark- samt andra plan, kan resultaten avläsas i Tabell 2. I tabellen kan ses att sikten är oförändrad oavsett höjd över markplan och position. Temperaturen förblir även den oförändrad på alla positioner förutom 4,6m över markplan vid den västra nödutgången, där den istället är 50 °C.

Tabell 2. Sikt- samt temperaturförhållande vid stationära förhållanden för västra- samt södra nödutgången, framtagna med FDS på 1,6 samt 4,6 meter över markplan för brandscenario I.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
Sikt		
Västra nödutgång	30m	30m
Södra nödutgång	30m	30m
Temperatur		
Västra nödutgång	20 °C	50 °C
Södra nödutgång	20 °C	20 °C

6.5.2 Avstånd till kritisk strålningsnivå

Beräkningar med utgångspunkt i Boverkets riktlinjer angående kritisk strålning har gett resultaten för avstånd vid lägenhetsbranden vilka kan ses i Tabell 3. För kortvarig exponering är det kritiska avståndet 2,2 meter, för långvarig exponering är avståndet istället 4,4 meter.

Tabell 3. Kritiska avstånd på grund av strålning för scenario I, baserat på Boverkets riktlinjer.

		Kritisk strålningsnivå [kW/m ²]	Avstånd [m]
Lägenhetsbrand	Kortvarig exponering	10 kW/m ²	2,2 m
	Långvarig exponering	2,5 kW/m ²	4,4 m

6.6 Resultat för brandscenario II - uteplatsbrand

I detta avsnitt presenteras resultatet av analyserna för brandscenario II, uteplatsbranden. De analyser som gjorts är simuleringar i FDS, stålningberäkningar, temperatur- och plymhöjdsberäkningar samt påverkan på stålpelarna i glasgatan. I FDS simulerades branden i 600 sekunder, då såväl skugggardiner som brandgasluckor fungerade, samt tilluften var obegränsad. Vidare, under känslighetsanalysen i kapitel 10, redovisas resultat från simuleringar då gardinerna och brandgasluckorna är ur funktion, då tilluften begränsas samt då branden är omplacerad.

6.6.1 FDS resultat

Simuleringen av uteplatsbranden gav effektutvecklingskurvan som kan ses i Figur K2 i bilaga K och kan jämföras med den framberäknade effektkurvan i Figur K1 i samma bilaga.

Effektutvecklingskurvan kan delas upp i fyra olika delar: 0-70 s, 70-140 s, 140-230 s och 230-

600 s. De första tre uppdelningarna beror på brandspridning till ytterligare bränslepaket, den sista delen är då branden nått sin maxeffekt, 12,5MW, vilken sedan hålls konstant resterande tid av simuleringarna.

Detektionstiden för detektorerna under gardinen var cirka 30 sekunder, efter ytterligare 15 sekunder aktiverade detektorerna i taket. Vid totalt 70 sekunder spred sig branden till de två närmsta uteplatserna och därefter började skeppet rökfyllas. Efter cirka 200 sekunder bedöms brandförloppet vara stationärt, detta på grund av att siktförhållandena samt temperaturen inte ändras under de resterande minuterna. Röken fyller aldrig den andra delen av skeppet, som avgränsas med ennock i taket.

Temperaturen och sikten vid de olika mätpositionerna, som en funktion av höjd över markplan, kan ses i Figur K3-K6 i bilaga k. För 1,6 respektive 4,6 meters höjd kan resultaten ses i Tabell 4. I tabellen kan avläsas att sikten är oförändrad 1,6 meter över markplan, vid de båda nödutgångarna, samt att temperaturen där inte överstiger 50°C. Däremot är både sikten sämre och temperaturen högre på 4,6 meters höjd, 0 meter respektive 18 meter, samt 120°C.

Tabell 4. Sikt samt temperaturförhållande för västra samt södra nödutgången, framtagna med FDS på 1,6 samt 4,6 meter över markplan för scenario II.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	30m	0m
Södra nödutgång	30m	18m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	50°C	120 °C
Södra nödutgång	20 °C	20 °C

6.6.2 Avstånd till kritisk strålningsnivå

Beräkningar med utgångspunkt i Boverkets riktlinjer angående kritisk strålning har gett resultaten för avstånd vid uteplatsbranden vilka kan ses i Tabell 5. För kortvarig exponering är det kritiska avståndet 5,5 meter, för långvarig exponering är avståndet istället 10,9 meter.

Tabell 5. Kritiska avstånd på grund av strålning för brandscenario II, baserat på Boverkets riktlinjer.

		Kritisk strålningsnivå [kW/m ²]	Avstånd [m]
Uteplatsbrand	Kortvarig exponering	10 kW/m ²	5,5 m
	Långvarig exponering	2,5 kW/m ²	10,9 m

6.6.3 Flam- och plymhöjd samt temperatur

Vid uteplatsbranden finns det risk för att loftgångarna ovanför inte kan användas för utrymning. Beräkningar har därför gjorts för flammhöjd, temperatur i plymen samt plymdiametern för uteplatsbranden, vilka kan ses i Bilaga H. Var och en av de 5 uteplatserna som brinner genererar cirka 2 meters höga flammor. Fem meter över markplanet är temperaturen cirka 190°C och plymradien 1 meter, för respektive uteplats. Enligt ovanstående resultat kommer därför loftgångarna att vara täckta av rökgaser och temperaturen ligga på cirka 190°C. För att endast uppnå 80°C, vilket är Boverkets riktlinjer, måste den maximala effekten understiga 720 kW för varje bränslepaket (uteplats).

6.6.4 Påverkan på stålpelarna

Glastaket och loftgångarna på Gårdsåkra bärs upp av stålpelare. Dessa stålpelare är inte brandskyddsmålade eller brandtekniskt klassade. Därför är det av intresse att analysera påverkan på pelarna vid eventuell brand. Vid scenario II, uteplatsbranden, kan stålpelarna vara placerade mitt i branden, vilket skulle kunna innebära att pelarna tappar sin bärförmåga på grund av temperaturhöjning. Grundläggande beräkningar för detta scenario har därför gjorts, vilka kan ses i bilaga I. I Figur I1 i bilaga I presenteras hur temperaturen i pelarna varierar med tiden, om de är placerade mitt i uteplatsbranden. Temperaturen höjs successivt från 20°C till 800°C på 15 minuter. Enligt rapporterna *Brandskydd av stålkonstruktioner* samt *Projekteringsanvisningar för stålkonstruktioner* börjar stålmaterial ge vika då temperaturen är cirka 450-500°C (Elf & Cederth, 2013; Thor, 2006), vilket enligt beräkningar sker efter cirka 6-7 minuter.

7. Utrymningsscenarion

Nedan beskrivs de tre utrymningsscenarier som analyseras. Utrymningsscenarierna togs fram efter platsbesöket, genom bedömning av normalfall, samt värsta troliga fall.

Utrymningsscenarierna som kommer att analyseras är: ”dagtid, normalfall”, ”nattetid, normalfall” samt ”dagtid, event”. Dessa analyseras med datorprogrammet Pathfinder, för att hitta de totala förflyttningstiderna. För utrymningsscenarierna testas även hur resultatet skiljer sig när utrymningsvägar är blockerade eller när personernas egenskaper varieras, detta görs i en känslighetsanalys i kapitel 10.

7.1 Dagtid, normalfall

Detta scenario beskriver antalet människor som normalt sett antas befinna sig i glasgatan, under dagtid klockan 14.00 och skulle behöva utrymma vid brand. Utrymningsvägen för personerna som bor i lägenheter på andra plan är via loftgångar, ner i trappor och sedan genom närmsta dörr ut från glasgatan. Personer som går i glasgatan antas utrymma via närmsta dörr i glasgatan. Likaså kommer personer i lägenheter på första plan, som inte har trädgård på baksidan, att utrymma genom glasgatan. Dock antas personer som bor i lägenheterna som har en väg ut via baksidan av byggnaderna, att gå ut genom den och inte via glasgatan.

Vardagar under dagtid är skol- och förskoleverksamheten igång. Där uppskattas det vara 375 personer och då är all personal inräknad. Eleverna och lärarna antas inte utrymma genom glasgatan, eftersom de har utrymningsvägar mot skolgården (Nilsson, 2016). Därför kommer detta personantal inte tas med i utrymningssimuleringarna i Pathfinder.

Glasgatan är en offentlig byggnad och öppet för vem som helst under dagtid. Föräldrar passerar den när de ska hämta sina barn, äldre personer promenerar i glasgatan och personer utifrån kan passera gången av eget intresse. Dessutom kan det inte uteslutas att personer är i sina bostäder under dagtid. I detta scenario antas som värsta troliga fall att det finns totalt 270 personer på Gårdsåkra, som utrymmer genom glasgatan. Några av dessa är placerade i sina bostäder och några är placerade i glasgatan. Antagandet angående personantal bygger på att det i genomsnitt finns 2 personer i varje lägenhet under dagtid, samt ett antal förbipasserande genom Gårdsåkra.

Om en brand uppstår i glasgatan under dagtid bör de flesta personer på Gårdsåkra höra det, dock kan detta inte garanteras. Detta främst på grund av att brandlarmsystemet i glasgatan inte är kopplat till bostäderna.

7.2 Nattetid, normalfall

Om en brand skulle ske i glasgatan på natten, kommer utrymningsmöjligheterna skilja sig från dagtid. Under natten vistas generellt ingen i glasgatan, förutom de boende, eftersom den låses klockan 22. De boende är troligtvis sovande i sina bostäder på natten. Detta kan innebära en viss utrymningsproblematik, främst eftersom brandlarmsystemet i glasgatan inte är kopplat till lägenheterna vilket kan innebära att de boende inte hör larmet. Eftersom utgångspunkten i denna rapport är att hela Gårdsåkra tekniskt sett är en enda brandcell bör alla utrymma vid eventuell brand i glasgatan.

På Gårdsåkra finns 122st lägenheter i olika storlekar, antalet personer som bor i lägenheterna är dock inte känt. Därför har en uppskattning av antalet personer i varje lägenhet gjorts, vilket kan ses i Tabell 6. Resultatet av uppskattningen är att det bor cirka 460 personer på Gårdsåkra.

Syftet med detta utrymningsscenario är att analysera hur lång tid det tar för 460 sovande personer, som befinner sig i sina lägenheter, att utrymma vid eventuell händelse i glasgatan. Trots att några lägenheter har utrymningsväg via trädgård antas här att alla 460 personer utrymmer via glasgatan. Detta är på så sett ett konservativt antagande.

Tabell 6. Antal personer boende i lägenheterna på Gårdsåkra.

Lägenhetsstorlek [rum o kök]	Antal lägenheter [st]	Antal personer [st]	Medelpersonantal [st]	Totalt antal personer [st]
2	35	2-3	2,5	88
3	43	3-5	4	172
4	43	3-6	4,5	194
5	1	5-6	5	5
				Summa: 459

7.3 Dagtid, event i glasgatan

Att ett evenemang anordnas i glasgatan är inget ovanligt. Ska ett event hållas i glasgatan sker det troligtvis under dagtid. Ett event i glasgatan hade kunnat vara teater, julmarknad, utställning eller liknande. Är det en julmarknad kan den vara placerad längs med hela glasgatan och likaså utställningar. Teatrar eller skolavslutningar i glasgatan brukar hållas vid scenen och läktaren. Vid ett jubileumsfirande år 2008 var det cirka 1000 personer i glasgatan, totalt sett under hela dagen (Nilsson, 2016).

I detta scenario antas att maximala antalet personer på Gårdsåkra är 1000 personer på en och samma gång. Skulle en brand inträffa under tiden ett evenemang hålls betyder det i så fall att 1000 personer skulle behöva utrymma. Dessa personer kan då befinna sig i glasgatan, på loftgångarna eller i lägenheterna.

Under event där det spelas hög musik och larmet går igång skulle det eventuellt vara problematiskt att höra det, främst för personerna som vistas i lägenheterna. Detta för att glasgatans brandlarmsystem inte är kopplat till lägenheterna. Att personerna som befinner sig i sina bostäder inte hör brandlarmet skulle innebära fördröjd varseblivningstid, vilket även ger en fördröjd utrymningstid.

8. Utrymningsanalys

Nedan kommer resultatet av de tre analyserna av utrymningsscenariona att presenteras. Även programmet som användes för simuleringarna, Pathfinder, presenteras.

8.1 Pathfinder

Pathfinder är ett utrymningsprogram som används för att få fram den totala utrymningstiden eller förflyttningstiden. För att få fram den totala utrymningstiden krävs att man sätter in en fördröjningstid, vilket är summan av både en varseblivningstid samt besluts-och reaktionstid. Väljs fördröjningstiden till noll fås endast förflyttningstiden.

I programmet ritas en geometri upp och sedan skapas profiler av utrymmande personer med olika egenskaper exempelvis axelbredd och gånghastighet i olika geometrier. Dessa profiler evakuerar när utrymningen startar. På grund av profilernas olika egenskaper evakuerar de olika snabbt. När personerna placeras i olika delar av byggnaden kan fördelningar mellan de olika profilerna göras. I programmet kan även utrymningssimuleringar göras där vanligtvis tillgängliga dörrar är blockerade. Förflyttningstiden som då erhålls kan bland annat jämföras med förflyttningstiden då alla dörrar är tillgängliga.

8.1.1 Grundinställningar för scenarierna

När geometrin för Gårdsåkras glasgata var färdig ritad i Pathfinder skapades åtta profiler. Tre profiler skapades för såväl barn som vuxna och två skapades för äldre, se Tabell 7. För att skapa profiler krävdes information om bland annat personernas axelbredd och gånghastighet. För värden på axelbredd användes standardvärdet för vuxna som fanns i Pathfinder, vilket är 45 centimeter. Axelbredden för barn antogs vara ungefär 10 centimeter mindre än för vuxna och äldre, vilket gav cirka 35 centimeter.

För trapporna som skapades mellan loftgångarna och bottenplan användes inställningen ”One-way” i Pathfinder. Detta innebär att personerna endast kan gå nedåt, vilket i detta fall anses vara mest verklighetstroget.

Vid val av gånghastighet användes värden för horisontell väg samt nedför trappa. De konstanta värdena togs för lågpersontäthet från Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering (BBRAD), se Tabell B1 i bilaga B. Anledningen till att låg persontäthet valdes var på grund av att golvytan i glasgatan är stor, samt att det alltid kommer finnas personer som går långsamt, vilket betyder att värden för hög persontäthet täcks in. Profilerna ”Barn fördelning” samt ”Vuxna fördelning” utgår från BBRAD. Den maximala

gångshastigheten utgörs av låg persontäthet och den minimala gångshastigheten utgår från hög persontäthet, Ett medelvärde mellan dessa beräknades som det vanligaste värdet för vuxna. För barn antogs istället att de i snitt går med en lägre hastighet än vuxna. I rapporten ”*Fire Dynamics Simulator with Evacuation*” hittades värden på gångshastigheter med standardavvikelse för vuxna, barn och äldre (Korhonen & Hostikka, 2009). Dessa gav upphov till profilerna, ”Barn rapport”, ”Vuxna rapport” samt ”Äldre rapport”. Dessa profiler ses som de mest trovärdiga på grund av att rapporten gav en fördelning över gångshastigheterna för alla åldersgrupper, vilket innebar att inga antaganden behövde göras. Därför används de profilerna i analysen, resterande profiler används istället i en känslighetsanalys. En sammanställning av profilernas egenskaper kan ses i Tabell 7. Fördelningen över hur många personer det finns av varje profil i respektive scenario och test kan ses i Tabell 8-Tabell 10.

De angivna gångshastigheterna gäller endast för horisontell väg. Gångshastigheter i trappor är generellt lägre än horisontell väg. I Pathfinder anges gångshastighet i trappor som en fraktion av den horisontella hastigheten. Baserat på BBRADs gångshastigheter i olika riktningar, vilka kan ses i Tabell B1 i bilaga B, kunde en fraktion beräknas genom att ta gångshastighet nedför trappa dividerat med horisontell gångshastighet. Den beräknade fraktionen applicerades sedan på alla profiler, se Tabell 7.

Något som också kan väljas i Pathfinder är en prioritetsfaktor som innebär att en person med högre prioritetsfaktor går före en med lägre. Prioritetsfaktorn valdes i alla profiler till noll eftersom ingen skulle prioriteras före någon annan i utrymningssimuleringen.

Tabell 7. Egenskaper hos de åtta profilerna som använts i utrymningssimuleringarna med Pathfinder.

Profil	Axelbredd [cm]	Horisontell gångshastighet [m/s]	Hastighet nedför trappa, fraktion av horisontell gångshastighet [-]
Barn fördelning	35	Std _n [0,6:0,9:1,3]	0,6
Barn konstant	35	1,0	0,6
Barn rapport	35	Std _n [0,6:0,9:1,2]	0,6
Vuxna fördelning	46	Std _n [0,6:1,0:1,3]	0,6
Vuxna konstant	46	1,3	0,6
Vuxna rapport	46	Std _n [0,95:1,25:1,55]	0,6
Äldre konstant	46	0,5	0,6
Äldre rapport	46	Std _n [0,5:0,8:1,1]	0,6

8.2 Förflyttningstider

I nedanstående delkapitel, kap 8.2.1 - 8.2.3 finns en scenariospecifik beskrivning samt resultat av simuleringarna i Pathfinder. Under varje delkapitel finns endast resultat av ett test i respektive scenario, resterande test som gjorts, med olika fördelningar, samt stängda dörrar kan ses i känslighetsanalysen kap 10.3. Alla simuleringarna gjordes utan en initial fördröjningstid, vilket innebär att endast förflyttningstiden för de olika scenarierna fåtts.

8.2.1 Dagtid, normalfall

På varje loftgångslägenhet sattes 2 personer, med olika fördelningar, vilka kan ses i Tabell 8. Sedan fördelas 30 stycken personer slumpmässigt i glasgatan. Resterande personer placerades längs med glasgatans kanter, vilket representerade lägenheterna på nedre plan, samt loftgångarna i södra delen. Förflyttningstiden för detta scenario, med fördelningar enligt Tabell 8, är 72 sekunder.

Tabell 8. Förflyttningstid och fördelningsbeskrivning för scenariot dagtid, normalfall.

Dagtid	Tid [s]	Fördelningar loftgångslägenheter	Fördelningar Glasgata
"Grundtest"	72	50 % vuxna rapport + 50 % barn rapport + 1 äldre par (rapport) på varje loftgång	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport

8.2.2 Nattetid, normalfall

På varje loftgångslägenhet placerades 4 personer, förutom 1 lägenhet på varje loftgång där det placerades ett äldre par. Sedan fördelas 260 personer längs med glasgatans kanter, vilket representerade lägenheterna på nedre plan, samt loftgångarna i södra delen. För detta scenario är förflyttningstiden, enligt Tabell 9, 94 sekunder.

Tabell 9. Förflyttningstid och fördelningsbeskrivning för scenariot nattetid, normalfall.

Nattetid	Tid [s]	Fördelningar loftgångslägenheter	Fördelningar glasgata
"Grundtest"	94	50 % vuxna rapport + 50 % barn rapport + 1 äldre par (rapport) på varje loftgång	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport

8.2.3 Dagtid, event

På varje loftgångslägenhet sattes 2 personer, på mittenloftgången placerades dock 4 personer på varannan lägenhet och 2 personer på varannan. I glasgatan sattes 884 personer

slumpmässigt, men fördelade så att flest personer var vid scenen och läktaren. Förflyttningstiden för detta scenario, vilken kan ses i Tabell 10, är 182 sekunder.

Tabell 10. Förflyttningstider och fördelningsbeskrivningar för scenariot dagtid, event.

Event	Tid [s]	Fördelning loftgångslägenheter	Fördelning glasgatan
"Grundtest"	182	50 % vuxna rapport + 50 % barn rapport	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport

8.3 Utrymningstider

Utrymningstiden är summan av varseblivningstiden, besluts- och reaktionstiden samt förflyttningstiden. För de tre scenarierna har förflyttningstider beräknats med hjälp av Pathfinder. I Tabell 11 presenteras varseblivningstiden, besluts- och reaktionstid samt förflyttningstiderna som fått i "grundtesten" med Pathfinder för de olika scenarierna. Summan av dessa tider, för respektive scenario, ger utrymningstiderna, vilka också kan ses i Tabell 11.

Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden är de mest osäkra parametrarna för beräkning av den totala utrymningstiden. Varseblivningstiden är svår att uppskatta eftersom det inte går att säga med säkerhet om personerna i lägenheterna kan höra utrymningslarmet från glasgatan. Besluts- och reaktionstiden är svår att uppskatta främst på grund av att alla personer reagerar efter olika tider, vilket beror på många olika faktorer exempelvis om man sover eller är vaken. På grund de stora osäkerheterna presenteras därför varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden också som intervall.

För besluts- och reaktionstiden väljs intervallet 60-210 sekunder för dagtid, detta på grund av att besluts- och reaktionstiden för varuhus, vilket antas likna glasgatan, är 210 sekunder för ringande larm då personer inte ser branden (Boverket, 2006). Däremot är tiden 60 sekunder då de ser branden. Till grund för besluts- och reaktionstiden för nattetid ligger en japansk studie vilken säger att tiden från det att larmet gick till dess att personerna utrymde var 220 sekunder (Nakano & Hagiwara, 2000). 220 sekunder används därför som minsta tid för beslut- och reaktion, det högsta värdet har antagits vara 5 minuter, detta på grund av att personer som sover troligen reagerar långsammare än de som är vakna.

Varseblivningstiden för de olika scenarierna sätts till detektionstiden för uteplatsbranden, vilken erhålls i brandanalysen. Dessutom sätts ett intervall för scenariot nattetid, med

oändligheten (d.v.s. ingen varseblivning) som övre värde. Detta på grund av att det är möjligt att man inte alls hör utrymningslarmet i glasgatan, vilket innebär att man inte blir varse alls.

Tabell 11. Varseblivningstid, besluts- och reaktionstid, förflyttningstid samt den totala utrymningstiden för de olika scenarierna.

	Varseblivningstid [s]	Besluts- och reaktionstid [s]	Förflyttningstid [s]	Utrymningstid [s]
Dagtid, normalfall	30	60 – 210	72	182-312
Natttid, normalfall	30-ingen varseblivning	220 – 300	94	344-ingen utrymning
Dagtid, event	30	60 – 210	182	272-422

8.4 Personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga

På grund av att Gårdsåkra är en offentlig plats där vem som helst kan komma in, kan det inte bortses från att personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga befinner sig och bor där. Att en byggnad är tillgänglig för personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga ställer också krav på en viss frångänglighet, det vill säga att personerna kan komma ut. På hela nedre plan är det tillgänglighetsanpassat då det bland annat finns ramper som gör att personer med nedsatt rörelseförmåga kan passera utan hjälp. Dessutom är alla HWC försedda med optisksignal för att signalera när utrymningslarmet i glasgatan gått.

Det övre planet, vilket består av loftgångar, är tillgängligt även för personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga, i normala fall. Detta på grund av att det finns hissar som gör att personer med nedsatt rörelseförmåga kan ta sig upp utan hjälp. Dock är hissarna inte säkra vid brand, vilket innebär att de inte bör användas vid en utrymningssituation. Därmed kan personer med nedsatt rörelseförmåga inte utrymma utan hjälp. Dessutom innebär problematiken med att lägenheterna inte är brandklassade ut mot glasgatan, att lägenheterna inte är en säker plats att stanna på, vid händelse av brand i glasgatan.

Kraven som Boverkets Byggregler ställer på frångänglighet gäller enbart för publika lokaler (Boverket, 2015) och huruvida ovanvåningen samt glasgatan som helhet klassas som en publik lokal är svårt att bestämma. Det övre planet består av bostäder samt personalrum och bibliotek som tillhör skolverksamheten, vilka inte behöver anses vara publika lokaler. Därför kan det anses att inga krav finns på frångänglighet på loftgångarna. Däremot kan det inte uteslutas att det finns personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga där.

9 Riskvärdering

För att bedöma om brandskyddet på Gårdsåkra är acceptabelt med utgångspunkt från skyddsmålet görs i detta kapitel en riskvärdering. Riskvärderingen innebär att resultaten av brandanalysen jämförs med resultaten från utrymningsanalysen. Med hjälp av Boverkets riktlinjer angående kritiska förhållande, men också med kvalitativa resonemang bedöms det om skyddsmålet uppfylls eller inte och skyddsmålet lyder ”alla personer på Gårdsåkra ska kunna utrymma säkert vid händelse av brand”.

I utrymningsanalysen gavs resultatet att scenariot "nattetid, normalfall" har den längsta utrymningstiden, detta på grund av att personerna i lägenheterna inte garanteras höra utrymningslarmet. I och med att detta scenario ger den längsta utrymningstiden används den som bas för att bedöma personsäkerheten. De andra två utrymningsscenarierna ger maximala utrymningstider på cirka 300-400 sekunder, se kapitel 8.3, vilket är då stationära förhållande uppnått enligt brandanalysen. Det är dessa stationära förhållanden som ligger till grund för resultaten som används, vilket innebär att alla utrymningsscenarier representeras i riskvärderingen.

Nedan, i kapitel 9.1–9.2, bedöms om de olika brandscenarierna uppfyller skyddsmålen eller inte.

9.1 Brandscenario I – Övertänd lägenhet

Resultaten som erhöles från brandanalysen för detta scenario visade att sikten på 1.6 meters höjd ovanför markplan var 30 meter och att temperaturen var 20°C. På 4,6 meters höjd ovanför markplan blev sikten 30 meter och temperaturen 50°C. Dessa resultat är grundade på fallet då brandgasluckorna är i sin fulla funktion och anger sikten och temperaturen för de två nödutgångarna vid bränderna. Förhållandena för dessa positioner anses därför inte vara kritiska, eftersom de är lägre än de kritiska förhållandena enligt Boverkets riktlinjer.

Precis utanför den övertända lägenheten kommer förhållandena att vara sämre. Där är det varmare och röken är tätare, se bilaga J. Likaså är förhållandena precis då fönstrena går sönder värre än de stationära förhållandena. Personer som befinner sig i bostäderna bredvid branden anses trots det kunna utrymma. Detta för att förhållandena som uppstår på grund av branden är begränsade samt att det finns utrymningsvägar åt två håll på loftgångarna, vilket innebär att de inte behöver ta sig förbi branden. Skyddsmålet anses uppfyllas för detta scenario, eftersom alla anses kunna utrymma utan att skadas allvarligt.

9.2 Brandscenario II - Uteplatsbranden

Uteplatsbranden är enligt brandscenario II cirka 20 meter bred. På loftgångarna precis över branden är sikten 0 meter och temperaturen cirka 190°C, enligt beräkningar. Detta resultat är långt över Boverkets riktlinjer angående temperatur och sikt. Att personer ska utrymma minst 20 meter utan sikt och med en temperaturpåverkan på 190°C anser vi inte är säkert. Därför bedömer vi att skyddsmålet inte är uppfyllt för personerna på loftgångarna, och då uppfylls skyddsmålet inte alls. Dock kan det sägas att vid nödutgångarna på markplan bedöms förhållandena som icke kritiska eftersom temperaturen där maximalt är 50°C och sikten är bibehållen på 30 meter.

På markplan bedöms det vara svårt att utrymma precis förbi uteplatsbranden. Där är det varmt och enligt beräkningar på strålning, med boverkets riktlinjer som kriterium, blir avståndet till kritisk strålning 5,5 meter för kortvarig exponering, vilket innebär att i princip hela glasgatan blockeras precis vid uteplatsbranden. Dock kan personerna som befinner sig i sina bostäder på markplan, precis vid branden, utrymma utåt och därmed behöver de inte utsättas för ett sådant förhållande. En möjlig lösning för personerna som befinner sig i bostäderna på andra våningen skulle kunna vara att hoppa ut genom fönstrena på baksidan. Dock bedöms detta inte vara säkert eftersom de ligger på en höjd av cirka 4 meter. En sådan höjd innebär en skaderisk, dessutom bor främst barnfamiljer på Gårdsåkra, vilket stödjer det faktum att hoppa anses vara en skaderisk. Därför bedöms fönsterutrymning från andra våningen på egen hand vara olämplig. Däremot kan räddningstjänsten hjälpa till med fönsterutrymning via stegar. I värsta fall bedöms behovet av räddningstjänstens assistans med stegar vara att alla som befinner sig i bostäderna på loftgångarna i det branddrabbade skeppet behöver deras hjälp.

För detta scenario bedöms skyddsmålet som helhet inte uppfyllas eftersom det inte är säkert att personer från de övre våningarna kan utrymma via loftgången. Av denna anledning måste åtgärder vidtas, vilka kan ses i kapitel 11. Värt att notera är att enligt beräkningar på stålpelarna så kommer de att förlora sin hållfasthet efter 6-7 minuter, om de är placerade mitt i branden. Detta är dock ett resultat som vi anser bör analyseras vidare, för att få en bättre förståelse för hur byggnaden kommer att påverkas, därför ligger det inte till grund för riskvärderingen.

10 Känslighetsanalys

I detta kapitel presenteras känslighetsanalyser av brandanalysen och utrymningsanalysen

10.1 Känslighetsanalys av effektkurva för brandscenario II

Vid beräkning av effektutvecklingskurvorna för brand i uteplats, kap 6.2, utgicks det från antalet uteplatser som ligger i rad på Gårdsåkra är 5 stycken. Det scenario som valdes att studeras vidare var fallet då branden startade i mitten och spred sig horisontellt åt två håll. För detta scenario har en känslighetsanalys gjorts där antalet bränslepaket, som motsvarar uteplatser, ökar i antal. Detta för att undersöka om effektutvecklingen skulle öka eller bli oförändrad. Resultatet skulle vidare ge svar på om bränslepaketerna hinner påbörja avsvalningsfasen innan branden sprider sig vidare till de nästkommande.

För sju bränslepaket blir den beräknade maxeffekten 17 MW, effektkurvan kan ses i Figur E3 i bilaga E. För nio bränslepaket blir maxeffekten 22 MW vilket kan ses i Figur E4 i samma bilaga. Detta resultat innebär att effektutvecklingen ökar när antalet bränslepaket ökar, vilket innebär att alla bränslepaket brinner i tillväxtfasen eller i det fullt utvecklade stadiet och inte har påbörjat avsvalningsfasen. Ett antagande i dessa beräkningar är att bränderna har tillgång till obegränsat med syre.

En större uteplatsbrand än den som analyserats i brandscenario II, i kapitel 6.2 samt 6.6, bedöms inte vara applicerbar på Gårdsåkra. Det vill säga att de framräknade effekterna för 7 samt 9 bränslepaket inte bör ses som ett möjligt scenario på Gårdsåkra. Detta på grund av att det maximalt finns 5 uteplatser på rad, utan ett större mellanliggande avstånd.

10.2 Känslighetsanalys brandanalys

I samband med simuleringen av de två brandscenarierna gjordes också simuleringar av fyra delscenarier för respektive brandscenario. De underscenarioer som simulerats är följande:

- Brandgasluckor ur funktion
- Skugggardiner ur funktion
- Begränsad tilluft
- Alternativ placering av branden

Dessa simuleringar har gjorts som en känslighetsanalys för att studera hur dessa möjliga delscenarier påverkar förhållandena vid brand samt påvisa nödvändiga åtgärder som presenteras i rapporten.

Indata för delscenarierna var näst intill desamma som för grundscenarierna. Det som skiljer delscenarierna från grundscenarierna är just det faktum att de olika funktionerna inte fungerar samt att branden placerats på en annan position.

Det finns ingen installerad reservström på Gårdsåkra, vilket resulterar i att brandgasventilationen inte fungerar vid strömavbrott. Detta på grund av att brandgasluckorna öppnar med motorer. Dessutom sitter motorerna placerade i taket, vilket innebär att de exponeras för eventuella brandgaser. Av dessa anledningar kan brandgasluckornas funktion vid brand ifrågasättas, därför görs en vidare analys.

Av samma anledning som delscenariet ”brandgasluckorna ur funktion” analyseras också förhållandena då gardinen är ur funktion. Anledning till att delscenariet begränsad tilluft valdes att analyseras var att det i båda brandscenarierna antagits att tilluften varit obegränsad. Då tilluften i glasgatan beror på antalet dörrar som manuellt öppnas i glasgatan kan det dock inte garanteras att antagandet är korrekt, därför görs känslighetsanalys av det.

En alternativ placering av branden analyseras för att validera att den placering som valts i brandscenarierna representerar den värsta troliga. I avsnitten nedan finns resultaten av simuleringarna för alla delscenarierna för respektive brandscenario.

10.2.1 Brandscenario I – Brandgasluckor ur funktion

I Tabell 12 presenteras resultatet från FDS-simuleringen då brandgasluckorna inte fungerar för brandscenario I. Sikten anses mycket kritisk då man inte ser någonting, likaså anses temperaturen kritisk i alla fall utom två, då den är strax under 80°C. Resultatet i helhet är värre än grundscenariot och skyddsmålet anses inte uppfyllt, eftersom temperaturen är så hög samt sikten är så dålig på den höjd där loftgångarna är.

Tabell 12. Visar utdata från FDS-simulering av brandscenario I då brandgasluckorna är ur funktion, värdena är medelvärden mellan 400 och 600 sekunder.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	2,4m	0,2m
Södra nödutgång	0,4m	0,2m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	72 °C	211 °C
Södra nödutgång	75 °C	181 °C

10.2.2 Brandscenario I- Gardiner ur funktion

I Tabell 13 presenteras resultatet från FDS-simuleringen då gardinerna inte fungerar för brandscenario I. Sikten anses mycket kritisk, eftersom man inte ser längre än 2 meter i bästa fall på 4,6 meter över markplan. Temperaturen anses inte vara kritisk, då den är under 90 °C i de värsta fallen på 4,6 meter över markplan. Resultatet i helhet är dock sämre än grundscenariot.

Tabell 13. Visar utdata från FDS-simulering av brandscenario I då gardinerna är ur funktion, värdena är medelvärden mellan 400 och 600 sekunder.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	30m	2m
Södra nödutgång	30m	1,5m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	29 °C	88 °C
Södra nödutgång	22 °C	84 °C

10.2.3 Brandscenario I-Begränsad tilluft

I Tabell 14 nedan presenteras resultatet från FDS-simuleringen då tilluften är begränsad för brandscenario I. Tilluften har begränsats genom att endast låta luft komma in och ta sig ut via brandgasluckorna. Varken sikten eller temperaturen anses bli kritisk i detta scenario.

Resultatet i sin helhet är inte värre än för grundscenariot.

Tabell 14. Visar utdata från FDS-simulering av brandscenario I då tilluften är begränsad, värdena som anges är medelvärden mellan 400 och 600 sekunder.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	30m	30m
Södra nödutgång	30m	30m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	26 °C	34 °C
Södra nödutgång	20 °C	20 °C

10.2.4 Brandscenario I-Alternativ placering av branden

Då branden placerades på en annan plats i glasgatan, där arean är större, gavs resultatet som kan ses i bilaga L. Då resultaten jämförs med grundscenariot kan slutsatsen dras att grundscenariots brandplacering ger värre förhållanden än vid placering vid en större ”rumsarea”, både med avseende på tiden samt brandens konsekvens.

10.2.5 Brandscenario II-Brandgasluckor ur funktion

I Tabell 15 presenteras resultatet från FDS-simuleringen då brandgasluckorna är ur funktion för brandscenario II. Sikten anses mycket kritisk eftersom den är 0 meter. Likaså temperaturen anses kritisk i alla fall utom två, då den är strax under 80°C. Resultatet i helhet är vara värre än grundscenariot.

Tabell 15. Visar utdata från FDS-simulering av brandscenario II då brandgasluckorna är ur funktion, värdena som anges är medelvärden mellan 400 och 600 sekunder.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	2,4m	0,2m
Södra nödutgång	0,4m	0,2m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	72 °C	212 °C
Södra nödutgång	75 °C	183 °C

10.2.6 Brandscenario II- Gardiner ur funktion

I Tabell 16 presenteras resultatet från FDS-simuleringen då gardinerna är ur funktion för brandscenario II. Sikten är som längst 2,2 meter på 1,6 meter över markplan. Temperaturen är högre än grundscenariot vid alla positioner. Resultatet i helhet är därför värre än grundscenariot.

Tabell 16. Visar utdata från FDS-simulering av brandscenario II då gardinerna är ur funktion, värdena anges som medelvärden mellan 400 och 600 sekunder.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	2,2m	0,2m
Södra nödutgång	0,4m	0,3m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	73 °C	265 °C
Södra nödutgång	91 °C	181 °C
Lägenhet	440 °C	265 °C

10.2.7 Brandscenario II- Begränsad tilluft

I Tabell 17 nedan presenteras resultatet från FDS-simuleringen då tilluften är begränsad, för brandscenario II. Tilluften har begränsats genom att endast låta luft komma in och ta sig ut via brandgasluckorna. Detta scenario ger värre förhållanden än grundscenariot både vad gäller sikt och temperatur på de olika positionerna. På markplan blir det inte så pass höga temperaturer att utrymning inte är möjlig, visserligen begränsas även sikten. Som sin helhet bedöms detta scenario vara precis på gränsen för säker utrymning på markplan. Utrymningen på loftgångarna anses inte uppfylla skyddsmålet. Därför uppfylls inte skyddsmålet som helhet för detta scenario.

Tabell 17. Visar utdata från FDS-simulering av brandscenario II då tilluften fel fungerar, värdena som anges är medelvärden mellan 400 och 600 sekunder.

	1,6 meter över markplan	4,6 meter över markplan
<i>Sikt</i>		
Västra nödutgång	6,1m	0,5m
Södra nödutgång	13,2m	1,0m
<i>Temperatur</i>		
Västra nödutgång	60 °C	126 °C
Södra nödutgång	25 °C	61 °C

10.2.8 Brandscenario II-Alternativ placering av branden

Vid placering av uteplatsbranden i en del av Gårdsåkra där rumsvolymen är större erhöles resultatet att grundplaceringen i västra delen gav värre resultat, både med avseende på tiden samt konsekvenserna. Större rumsförhållande gav bättre förhållande. I bilaga L kan figurer för den testade placeringen samt resultatet för denna ses.

10.3 Känslighetsanalys av utrymningsanalys

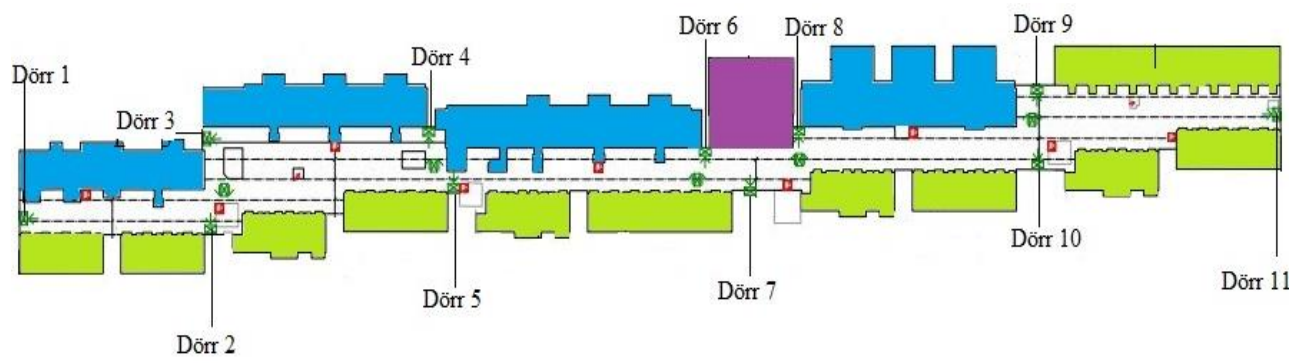
För de olika utrymningsscenarierna gjordes flera simuleringar i Pathfinder, med olika profiler och fördelningar på de utplacerade personerna samt med stängda utrymningsdörrar. Resultatet av dessa olika simuleringar kan ses i bilaga M.

För scenariot ”dagtid, normalfall” varierade förflyttningstiden från 72-116 sekunder med de olika profilerna. Detta innebär en differens på 44 sekunder. Vilket resulterar i att utrymningstiden blir 44 sekunder längre, för den längsta tiden.

Resultaten av de olika simuleringar för scenariot ”natttid”, med olika fördelningar av profilerna gav förflyttningstider som varierade mellan 94-144 sekunder, vilket innebär en differens på 50 sekunder. Simuleringar för detta scenario gjordes även med blockerade dörrar. Grundtestet användes som referens och sedan blockerades de olika utrymningsdörrarna en efter en. Resultatet av de simuleringarna visar att den maximala tiden vid en blockerad utrymningsväg är 132 sekunder, vilket innebär en differens på 38 sekunder jämfört med grundtestet. Därav dras slutsatsen att valet av fördelningar och profiler är mer känsligt, för detta scenario, än om dörrar är blockerade eller ej.

För scenariot ”dagtid, event” varierade förflyttningstiden, med olika fördelningar av profiler, mellan 175-207 sekunder. Vilket innebar en differens på 32 sekunder. Vid blockering av de olika utrymningsdörrarna erhöles den största differensen på 38 sekunder, jämfört med grundtestet. Här dras slutsatsen att blockering av utrymningsdörrar är en känsligare parameter än val av fördelningar, vilket går emot slutsatsen efter scenariot ”natttid”.

Generellt var det de utrymningsdörrar som flest personer valde som påverkar resultatet mest vid blockering av dem. Många av dörrarna som blockerades gav precis samma förflyttningstid som grundtestet, detta på grund av att det inte blev köbildning vid någon av de dörrarna. Utifrån resultaten av simuleringarna med blockerade dörrar kan slutsatser dras kring vilka dörrar som påverkar förflyttningstiden mest, nämligen dörrarna 3, 4, 5 samt 11. En beskrivning av dörrplaceringen kan ses i Figur 18.



Figur 18. En principskiss över Gårdsåkra med markerade utrymningsdörrar.

11 Åtgärder och validering av dem

I riskvärderingen bedömdes brandskyddet på Gårdsåkra vara otillräckligt, då skyddsmålet inte uppfylldes för alla scenarier, därför behöver åtgärder vidtas. Nedan listas olika åtgärdsförslag där varje förslag beskrivs som ett åtgärdspaket. Målet med respektive paketlösning är att skyddsmålet som lyder ”alla personer på Gårdsåkra ska kunna utrymma säkert vid händelse av brand” uppfylls. Därför behöver endast ett av åtgärdspaketen vidtas. I alla åtgärdspaket anses att reservström ska installeras för att brandgasventilationen ska fungera även vid strömavbrott. Dessutom ges i detta kapitel förslag på åtgärder som ytterligare kan förbättra personsäkerheten vid händelse av brand på Gårdsåkra.

11.1 Krav på installation av reservström

En problematik som observerades under platsbesöket var att ingen reservström fanns, trots att byggnaden är dimensionerad för det. Tillgänglig reservström i byggnaden skulle bland annat innebära att brandgasluckorna i taket kan öppna trots ett eventuellt strömavbrott. Att brandgasluckorna fungerar som de ska innebär att brandgaser i glasgatan kan ventileras ut, vilket är viktigt för att skapa så bra förhållande för utrymningen som möjligt.

För att brandgasluckornas funktion ska bibehållas krävs det också att gardinerna dras bort. Att reservström finns tillgänglig i byggnaden skulle minimera sannolikheten för felfunktion hos brandgasluckorna men också gardinerna, vid strömavbrott.

I riskvärderingen har det förutsatts att både brandgasluckor och gardinerna fungerar som de ska. I känslighetsanalysen testades däremot felfunktion av dessa, vilket gav värre förhållande för alla scenarier. Likaså hävdar vid ett flertal tillfällen Bricon i sin rapport att Gårdsåkras befintliga utförande är acceptabelt eftersom brandgasventilation finns i byggnaden (Bricon, 2015). Därför lägger vi stor vikt vid att reservström ska finnas tillgänglig.

11.2 Åtgärdspaket

De föreslagna åtgärdspaketen är ,med rangordning, listade nedan:

1. Koppla utrymningslarm till bostäderna, sätta upp brandstegar och installera reservström
2. Begränsa brandbelastning och installera reservström
3. Brandklassa alla dörrar och fönster mot glasgatan och installera reservström

11.2.1 Koppla utrymningslarm till bostäderna samt sätta upp brandstegar

I dagsläget är inte utrymningslarmet i glasgatan kopplat till respektive bostad, vilket innebär att personerna i lägenheterna eventuellt inte hör larmet. Om utrymningslarmet i glasgatan kopplas till respektive lägenhet kommer personerna som befinner sig i dem att höra utrymningslarmet, vilket är en förutsättning för att bli varse om branden och kunna påbörja en utrymning.

De som befinner sig i lägenheter på andra plan kan endast utrymma via loftgångarna i glasgatan, vilket innebär att de blir påverkade av förhållandena i glasgatan. Skulle det brinna så att kritiska förhållanden uppnås på loftgångarna, vilket det blir enligt riskvärderingen, har de ingenstans att ta vägen. Därför är en lösning att sätta brandstegar så att personerna i loftgångslägenheterna kan utrymma via utsidan av byggnaden istället för genom glasgatan. För de som bor på markplan är detta inget problem, eftersom de kan utrymma via fönster eller dörrar på utsidan i deras bostäder. Anledningen till att personerna på andra plan inte kan använda fönstren som utrymningsväg är att de sitter på en höjd över markplan som bedöms vara för hög att hoppa från.

Genom att koppla utrymningslarmet till bostäderna, samt sätta upp brandstegar till bostäder på andra plan, har personerna på Gårdsåkra möjligheten att själva sätta sig i säkerhet vid händelse av brand, vilket innebär att skyddsmålet uppfylls.

11.2.2 Begränsa brandbelastning

Brinner en uteplats och brandspridningen begränsas så att endast den brinner, blir maxeffekten inte högre än 2,5 MW. Kan den sprida sig innebär det istället en maximal effekt på 12,5 MW, vilket är 5 gånger högre än om branden hade begränsats.

En åtgärd som kan vidtas för att uppfylla skyddsmålet är att begränsa brandbelastningen i glasgatan. Detta för att minska risken för brandspridning samt hindra att branden kommer upp i en så hög effekt att förhållandena blir kritiska för personer som behöver utrymma.

Att begränsa brandbelastningen och brandspridningen kan göras på olika sätt, exempelvis genom att begränsa mängden brännbart material eller att installera ett sprinklersystem.

Det har redan gjorts försök av att begränsa mängden brännbart material i glasgatan genom att sätta upp regler för vad som får placeras i den. Däremot kunde det under platsbesöket observeras att dessa regler inte följdes särskilt väl. För att begränsa brandbelastningen bör därför reglerna bli striktare och kontrolleras att de följs.

Den alternativa åtgärden att installera ett sprinklersystem i glasgatan kan ses som en möjlig åtgärd. Det kräver dock ett omfattande arbete och det kostar en hel del. Dessutom kan det vara svårt att installera ett sprinklersystem i glasgatan på grund av alla rör och ledningar som redan finns i där.

Enligt analys och riskvärdering av brandscenario I, en övertänd lägenhet, bedöms inte att kritiska förhållanden uppnås, vilket skulle betyda att en brand på 2 MW i glasgatan är acceptabel utifrån det valda skyddsmålet. Däremot gav beräkningar av temperatur med Boverkets riktlinjer som kriterium att effekten maximalt får vara 720kW, vilket kan ses i bilaga H. Slutligen anses skyddsmålet uppfyllas om åtgärder kring minskad brandbelastning vidtas. En större minskning ger ett bättre personskydd vid händelse av brand på Gårdsåkra.

11.2.3 Brandklassa dörrar och fönster

Installeras brandklassade fönster och dörrar i EI60 klass, i bostäderna mot glasgatan, skulle det innebära att alla lägenheter blir egna brandceller i förhållande till glasgatan. Vid eventuell brand kan personer då vänta i säkerhet i minst 60 minuter för att under den tiden bli räddade räddningstjänsten, via stegbilar på utsidan av byggnaderna. Detta hade speciellt varit en fördel för de personer som befinner sig i lägenheterna på loftgångarna, eftersom deras enda utrymningsväg är genom glasgatan. De som bor i lägenheterna på nedervåningen kan utrymma via fönster och dörrar på utsidan av byggnaderna.

Om brandklassade fönster och dörrar installeras i byggnaderna mot glasgatan kommer skyddsmålet att uppfyllas, eftersom personerna på Gårdsåkra då kan vänta i sina bostäder till dess att räddningstjänsten kan hjälpa de att utrymma säkert via utsidan av byggnaden. Dock är detta en väldigt kostsam åtgärd.

11.3 Ytterligare åtgärder

Vid platsbesöket observerades olika brister gällande personsäkerheten vid brand. Nedan listas därför ytterligare åtgärder som anses förbättra personsäkerheten och brandskyddet på Gårdsåkra:

- Förbättrade hissegenskaper vid brand
- Skyddade stålpelare
- Kontroll av brandlarm i bostäderna

11.3.1 Förbättrade hissegenskaper vid brand

Blir det elavbrott på Gårdsåkra i nuläget slutar hissarna fungera och det blir ett tvärstopp (Nilsson, 2016). Med tvärstopp menas att hissarna inte är i rörelse och stannar i den position de var i precis då elen går. Ett värsta scenario skulle vara att det uppstår en brand samtidigt som strömmen gått och att det då finns någon person i hissen. Den personen skulle i så fall vara fast i hissen och riskerar att avlida på grund av brand eller brandrök. Ett åtgärdsförslag för denna händelse är att förbättra hissfunktionerna så att de stannar på närmast plan vid strömavbrott. Denna åtgärd hade förbättrat personsäkerheten på Gårdsåkra på så sätt att alla får möjlighet till utrymning, även de som av händelse finns i hissarna.

11.3.2 Skyddade stålpelare

Glastaket och loftgångarna i glasgatan hålls upp av stålpelare. Under platsbesöket noterades det att dessa varken var brandskyddsmålade eller brandklassade. Enligt beräkningar i bilaga I erhöles resultatet att en stålpelare fallerar efter ca 6-7 minuter då den är utsatt för brand. Om en stålpelare fallerar kommer troligtvis byggnadens vikt att fördelas över de andra pelarna, men denna preliminära analys visar ändå på en svaghet i konstruktionen och att en risk kan föreligga. Det rekommenderas därför att en mer grundlig analys genomförs. Att brandskyddsmåla eller isolera dem kan därefter vara en möjlig åtgärd, eftersom pelarna då blir mer beständiga mot brand.

11.3.3 Kontroll av brandlarm i bostäder

Enligt Boverkets Byggregler 22 är det krav att alla har brandlarm i sina bostäder (Boverket, 2015). När en hyresgäst flyttar in bör det stå i kontraktet att den är skyldig att ha brandlarm, samt att byta batteri varje år. Eftersom reglerna angående brandbelastning på uteplats inte uppfylldes kan det dock inte uteslutas att även andra regler som denna ej följs. En åtgärd till detta är att genomföra löpande kontroller. Blir detta en dyr åtgärd eller en åtgärd som inte anses möjlig på grund av personintegriteten, kan det redan under kontraktskrivandet tilldelas information om att hela glasgatan är en brandcell och vad konsekvenserna vid brand kan bli. Detta är en åtgärd främst för personerna i respektive bostads egen säkerhet, men också för de andra boende på Gårdsåkra, eftersom hela Gårdsåkra är att betrakta som en enda brandcell.

12 Diskussion

Nedan diskuteras de olika delarna av rapporten separat under respektive delkapitel 12.1–12.10. Därefter förs en diskussion av rapporten som helhet, i delkapitel 12.11.

12.1 Diskussion grovriskanalys

Vid framtagning av grovriskanalysen finns en hel del osäkerheter och felkällor. Först och främst kring statistiken. Den statistik som använts är antalet insatser som räddningstjänsten gjort i olika verksamheter eller på grund av bränder i olika startföremål. Det finns många bränder i olika verksamheter eller startkällor som räddningstjänsten inte behöver göra insatser för, vilket innebär att statistiken som tagits fram innehåller en hel del mörkertal. Exempelvis kan brand i soptunnor lätt släckas utan räddningstjänsten, vilket innebär att de inte finns med i statistiken som tagits fram. Den statistik som använts är inte heller fullt ut jämförbar med våra scenarier, exempelvis är statistiken för scenariot brand i scen/läktare istället för biografen och scener, vilka dagligen används som den verksamheten. Scenen och läktaren i glasgatan används inte alltid, vilket gör att siffrorna är något överskattade. Likaså kan inte heller statistik för lös inredning appliceras fullt ut på uteplatserna. Dessutom finns en del statistik som överlappar varandra, brand i lös inredning inkluderas exempelvis i brand i lägenhet. På grund av ovan nämnda osäkerheter i statistiken, valdes att inte fullt ut lita på den. Istället gjordes kvalitativa antaganden kring sannolikheten för de olika scenarierna.

Ytterligare osäkerheter i statistiken finns i informationen om antalet totala verksamheter i Sverige, vilka är svåra att uppskatta. Dessutom hittades inte information för alla scenarier, vilket innebär att statistiken fick vägas samman med antaganden. Likaså är det helt och hållet våra antaganden som ligger till grund för bestämning av konsekvens, scenariona emellan. Det är mycket möjligt att vi gjort fel antaganden kring konsekvens och sannolikhet, men eftersom vi utgått från att jämföra scenariona emellan anser vi att den rangordning vi tagit fram är rimlig och att de scenarier som valts ut är att betrakta som värsta troliga brandscenarier för glasgatan.

12.2 Diskussion effektkurva lägenhetsbrand

Vid framtagning av effektkurvan för lägenhetsbranden, se bilaga D, bygger beräkningarna på att maxeffekt uppnås vid förbränning av allt tillgängligt syre. Detta medför konservativa resultat. Eftersom branden som uppstår i lägenheten anses vara ventilationskontrollerad

avgörs effekten av lufttillförseln. Detta innebär att maxeffekten påverkas av att öppningarnas storlek. Beräkningarna för detta scenario antar att det finns tillräckligt med tilluft i lägenheten.

När övertändning sker antar vi att samtliga fönster slås ut. I verkligheten behöver inte detta ske. Vi antar även att hela glasarean går sönder, dock kan glasskärvor finnas kvar och blockera lufttillförseln. Mindre tilluft in i lägenheten medför lägre effekt och mindre brand.

FDS simuleringen för när allt fungerar som det ska ger en detektionstid på en halv minut. Fönsterrutorna i lägenheten kan spricka innan övertändning skett, vilket skulle innebära tidigare detektion i glasgatan och att räddningstjänsten vidtar åtgärder tidigare än i scenariet.

Som tidigare nämnt beror maxeffekten för detta brandscenario på antalet öppningar. Dörren ut mot glasgatan är inte brandklassad och på grund av tryckökningen inuti lägenhet vid brand, kan denna komma att öppnas och påverka brandens omfattning. Detta har endast tagits hänsyn till vid framtagning av effektkurvorna, men sedan analyserats bort eftersom vidare analys bygger på värsta troliga fall.

Effektutvecklingskurvan bygger på att branden endast befinner sig på ett plan inuti lägenheten. Ingen hänsyn tas till att branden kan sprida sig mellan två våningar eller genom fasaden och påverka fler lägenheter ute i glasgatan. Eftersom ytterväggar, fönster och dörrar ut mot glasgatan inte är brandklassade är det möjligt att brandspridning sker. På grund av detta är effektutvecklingen för lägenhetsbranden förenklad i jämförelse med vad som kan ske i verklighet, detta bedöms dock inte påverka brandscenarioet som analyserats.

12.3 Diskussion effektkurva uteplatsbrand

Maxeffekterna som presenteras i effektutvecklingskurvorna för uteplatsbranden, i kapitel 6.2 och kapitel 10.1 är höga. De höga effekterna beror främst på val bränsle och den snabba tillväxten beror på vald tillväxtfaktor. I scenariot ”brand i uteplats” har tillväxtfaktorn valts till fast för alla bränslepaket. Detta för att det antas att alla uteplatser innehåller samma material. Valet av tillväxtfaktor för uteplatserna anses rimlig eftersom de utgått från *Initial fires*, där experiment för både soffa och trästolar hade en tillväxtfaktor som motsvarade fast.

Anledningen till att effektkurvorna i kapitel 6.2 inte har en tillväxtfaktor som motsvarar fast trots att vi valde det, beror på att den totala effekten adderas. När första bränslepaketet brinner har den en tillväxtfaktor som motsvarar fast. När vi sedan adderar den totala effekten, från de andra brinnande bränslepaketerna blir värdet på den totala tillväxtfaktorn högre än värdet för fast.

Materialen som fanns på uteplatserna varierade, men vi antog att alla uteplatser hade samma material. I verkligheten har uteplatserna varierande mängd brännbart material, det vill säga vissa uteplatser kan ha en tillväxtfaktor som är slow, andra medium och vissa fast. Eftersom vi har antagit att alla har samma material och en tillväxtfaktor som motsvarar fast, analyserar vi det värsta troliga fallet.

Vid beräkning av den effekt som krävs för att närliggande brandpaket ska antända används beräkningar där en kritisk strålningsnivå ansetts. Vi har antagit att den kritiska strålningsnivån för att antända närliggande brandpaket till 20kW/m^2 . Den kritiska strålningsnivån hade kunnat vara lägre, för att vara konservativa, men valet beror på de material som fanns på uteplatserna.

12.4 Diskussion FDS och Pyrosim

Det finns ett flertal osäkerheter i simuleringarna, som gör att trovärdigheten för de går att ifrågasätta. Osäkerheterna är allt ifrån direkta antaganden och förenklingar som gjorts till begränsningar i programmen. Geometrin har förenklats en hel del och val av material har antagits. Att glasen i taket exempelvis är tvåglas med tjocklek på totalt 18 mm, varav 12mm luftspalt är något vi antagit. Väggmaterialet som användes i simuleringarna var betong. Detta valdes eftersom väggmaterialet på Gårdsåkra varierade, men stommarna var huvudsakligen i betong, därför ansåg vi att betong var det mest representativa materialet.

Ytterligare en felkälla i simuleringarna är att gardinerna som satts upp i taket är helt täta. I verkligheten kan luft ta sig genom gardinerna och därmed likaså rökgaser. Att detta påverkar resultatet av simuleringarna när gardinen inte dragits bort än samt när gardinen inte tas bort alls är troligt. Troligtvis kommer en del rökgaser ändå att ta sig genom gardinen och upp till glastaket. Om en detektor i glastaket skulle känna av det så att brandgasluckorna öppnar har vi ingen information om. Genom att gardinerna satts helt täta har ett konservativt resultat fått fram, men det kanske är ett allt för konservativt resultat.

Glastaket på Gårdsåkra har formen av ett sågtak. Vid brandanalys i FDS innebär detta att det skapas turbulens i hörnen. För att undvika detta har inställningen "No-Slip" använts i FDS. Om denna inställning verkligen fungerar och reducerar turbulensen är dock oklart.

Vid val av bränsle för de båda brandscenariona har polyuretan valts. Detta material finns som stoppning i möbler och har ett högt soot-yield värde, vilket innebär att materialet producerar mycket sot. Detta val gjordes för brandscenario "brand i uteplats" eftersom det under platsbesöket noterades att majoriteten av uteplatserna hade stoppade möbler. Simuleringarna som gjorts för detta scenario bidrar därför till ett rimligt resultat gällande rökbildningen.

Självklart kan brand även uppstå i de uteplatser som inte innehåller stoppade möbler, men vi har valt att analysera det värsta troliga fallet. Polyuretan användes också för scenariot "övertänd lägenhet", eftersom det har ett högt soot-yield värde. Precis som för uteplatserna valdes detta bränsle för att bidraget av bränslet ger det värsta troliga fallet.

I alla simuleringarna placerades rökdetektorer i taket. Egenskaperna för detektorerna sattes till default, vilket innebär att de detekterar vid rökpotentialen 3.28%/m. Eftersom vi inte hade någon information om rökdetektorernas egenskaper på Gårdsåkra, ansågs detta värde rimligt att använda.

En annan felkälla i simuleringarna är öppningshastigheten av gardinerna och brandgasluckorna i taket. I verkligheten öppnas gardinerna och brandgasluckorna successivt, men i FDS öppnas de helt efter en viss fördröjningstid. Fördröjningstiden i FDS har satts till halva tiden det tar för dem att öppna helt. Denna tid har satts för att kompensera för att gardiner och brandgasluckor öppnas successivt i verkligheten. Om tiden verkligen kompenserar den process som sker i verkligheten är osäkert.

Vad gäller de effektkurvor som fått fram genom FDS simuleringarna, kan man vid jämförelse med de framberäknade effektkurvorna se att det finns skillnader. Den effektkurva som fått i FDS för brandscenario I bedöms representera den framberäknade effektkurvan på ett bra sätt. Detta eftersom den i princip direkt går upp till maxeffekten 2 MW och sedan hålls konstant där. Effektkurvan från FDS för brandscenario II däremot har större skillnader jämfört med den beräknade effektkurvan, vilket kan ses i bilaga K. Maxeffekten nås snabbare och sedan hålls effekten konstant under hela simuleringen, vilket inte är fallet för den beräknade effektkurvan. Den effektkurva som erhållits från FDS för brandscenario II bedöms dock vara värre än den beräknade effektkurvan, vilket leder till att resultatet bedöms vara konservativt.

Simuleringen för de båda brandscenariona har endast pågått i 600 sekunder. Denna tid valdes utifrån det faktum att räddningstjänstens insatstid är cirka 10 minuter, vilket innebär att efter 600 sekunder kommer räddningstjänsten ha påbörjat sin insats. Eftersom det inom den tiden dessutom har uppstått stationära förhållanden, samt att alla hinner utrymma i utrymningsscenariona, förutom i scenariot "nattetid", anser vi att simuleringstiden gav oss resultat som räckte för att kunna göra en trovärdig riskvärdering.

Trots ett antal förenklingar och begränsningar i brandanalysen med FDS bedöms dock resultaten vara tillräckligt tillförlitliga för att kunna bedöma brandskyddet på Gårdsåkra.

12.5 Diskussion av avstånd till kritisk strålning

Vid beräkning av avstånd till en kritisk strålningsnivå, används Boverkets riktlinjer. Det betyder dock inte att det är vid just de strålningsnivåerna som vi skadas, men i brist på annan information har dessa värden använts och ses som konservativa.

Felkällor i beräkningarna är exempelvis att hänsyn inte tas till att flammorna kan täckas av röken och på så sätt ge en mindre strålning. De tar inte heller hänsyn till att den uppvärmda röken och andra ytor strålar, vilket kan ge en högre strålning. Ytterligare en felkälla är att branden antas vara cirkulär, vilket leder till ett avstånd som inte anses vara helt representativt för den rektangulära brand som använts i scenarierna.

För lägenhetsbranden anses de beräknade avstånden till kritisk strålningsnivå vara konservativa. Detta på grund av att lägenhetsbranden är inne i ett avgränsat rum, vilket leder till att all strålning inte kommer att kunna ta sig ut genom fönstren.

12.6 Diskussion av flam- och plymhöjd samt temperatur för uteplatsbranden

Beräkningar har gjorts för flam- och plymhöjd samt temperatur i plymen för uteplatsbranden. Dessa beräkningar bygger på att brandens geometri är cirkulär. I brandscenario II antas varje bränslepaket vara rektangulärt, och därför har arean räknats om. Denna omräkning gör att flam- och plymhöjd samt temperaturresultatet som erhålls blir osäkert.

Det erhållna resultatet baseras även på att branden startar i markplan. I verkligheten kan brand starta i exempelvis stolar vilket ger en högre flam- och plymhöjd jämfört med brand i markplan. Den beräknade flamhöjden som ses i kapitel 6.6.3 är dessutom en genomsnittshöjd. Flamtopparna kan komma att befinna sig högre upp.

Beräkningarna av flam- och plymhöjden samt temperaturen i plymen utgår från när uteplatsbranden nått sin maxeffekt. Användandet av maxeffekten innebär att det värsta troliga fallet analyserats.

12.7 Diskussion av påverkan på stålpelarna vid uteplatsbranden

Enligt beräkningarna i bilaga I kommer stålpelarna som är placerade mitt i en uteplatsbrand (Brandscenario II) att ge vika efter cirka 6-7 minuter. Stålkonstruktionen som bär upp taket har dock troligtvis en viss resiliens. Även om en pelare ger vika betyder det sannolikt inte att glastaket och loftgångarna kommer att göra det. Vikten kommer antagligen att fördelas på de andra pelarna i byggnaden, som inte är i direkt anslutning till branden.

Antagandet om pelarens dimensioner är konservativt. I själva verket kan tjockleken på pelarna vara något större, vilket skulle medföra en större termisk tröghet. Detta skulle ge en längre tid till kritisk temperatur. Den temperatur som valts som kritisk anses också osäker, olika källor anger olika temperaturer.

Att pelarna är placerade mitt i branden kan anses vara konservativt, dock utgör det värsta troliga fallet. I och med att beräkningarna för stålpelarnas hållfasthet bygger på en mängd antaganden som är väldigt osäkra bör endast resultatet av dessa ses som en preliminär analys. Dock anser vi att eftersom den beräknade tiden till dess att pelarna ger vika är så pass kort att utrymningen kan bli påverkad vilket innebär att en vidare analys av stålpelarnas hållfasthet och beständighet mot brand bör göras.

12.8 Diskussion utrymningsanalys

I Tabell 11, där de olika utrymningstiderna presenteras, kan ses att de olika tiderna till stor del ligger inom stora intervall. Detta tyder på stora osäkerheter i resultaten. Såväl varseblivningstiden som besluts- och reaktionstiden samt förflyttningstiden är osäkra parametrar. Varseblivningstiden är svår att bestämma främst på grund av att det är svårt att veta om alla på Gårdsåkra hör när utrymningslarmet går i glasgatan, eftersom utrymningslarmet inte är kopplat till lägenheterna. Besluts- och reaktionstiden är svår att bedöma eftersom det inte riktigt finns någon data för våra specifika scenarier. Framförallt är det svårt att uppskatta besluts- och reaktionstiden för personer som är sovande. Att vi för dagtidsscenarioerna tagit data för varuhus och offentlig miljö, är på grund av att det är den information vi anser matchade Gårdsåkra bäst.

Angående förflyttningstiden kan det sägas att de olika fördelningarna av profilerna gav relativt stora skillnader, vilket kan ses i kapitel 10.3 samt bilaga M. Detta troligen främst på grund av att gånghastigheterna hos de olika profilerna var olika, men också på grund av att de personer med långsammast gånghastighet är de som påverkar förflyttningstiden mest. Därför blir placeringen av de långsammare personerna en stor påverkande faktor.

De profiler vi anser ger trovärdigast resultat är de profiler som kallas "XX-rapport", där XX står för barn, vuxna eller äldre. Detta på grund av att deras gånghastigheter kommer från användarmanualen för utrymningsprogrammet Evac. Trots att det inte är det program som använts i utrymningssimuleringarna anser vi att de gånghastigheterna är de bästa för dessa simuleringar. Detta främst på grund av att det fanns fördelningar på hastigheterna för alla

ålderskategorier, med minsta, medel och maximala värden, vilket innebär att inga egna antaganden behövde göras. Dessutom bedöms att de angivna gånghastigheterna var rimliga.

Det scenario som gav längst utrymningstid är scenariot "nattetid". Detta på grund av att varseblivningstiden inte uppskattats till något högsta värde, vilket innebär att det i värsta fall inte sker någon utrymning. Att nattetids scenariot ger längst utrymningstid anser vi är rimligt i jämförelse med de andra scenarierna. Trots att den totala utrymningstiden är längst för nattetids scenariot är det "dagtid, event" scenariot som har längst förflyttningstid. Detta på grund av att det är fler personer som antas utrymma via glasgatan vid event. Därför blir den totala utrymningstiden för "dagtid, event" också längre än den totala utrymningstiden för "dagtid, normalfall". Detta anses också vara ett rimligt resultat.

För att ta fram den totala utrymningstiden för de olika scenarierna har Pathfinder endast använts för förflyttningstiderna. Att inte sätta någon initial fördröjning leder till att alla utrymmer samtidigt, vilket är ett konservativt antagande med avseende på köbildning. Anledningen till att det inte har lagts in någon initial fördröjning för personerna, vilket skulle ha representerat varseblivning och besluts- och reaktionstid, är främst att varseblivningstiderna och besluts- och reaktionstiderna tagits fram efter att simuleringarna gjorts. Vi bedömer att detta inte skulle påverka den totala utrymningstiden något nämnvärt, eftersom dessa tider adderas som intervall efteråt.

12.9 Diskussion av riskvärdering

I riskvärderingen har slutsatser dragits angående brandskyddet på Gårdsåkra. Det bedömdes om skyddsmålet uppfylls för respektive brandscenario. För brandscenario I bedömdes skyddsmålet vara uppfyllt, däremot bedömdes skyddsmålet inte uppfyllas för brandscenario II. Enligt de två mätpunkterna för brandscenario I nåddes inte de kritiska förhållanden som boverkets riktlinjer angivit för sikt och temperatur, därav bedömdes att kritiska förhållanden inte uppstått där. Däremot är det endast vår bedömning av resultatet som ligger till grund för förhållandena vid den brinnande lägenheten. Vi anser att utrymningen är säker för de lägenheterna bredvid branden. Värt att notera är att resultat endast tagits fram för temperatur och siktförhållanden. Exempelvis så har inte mängden toxiska gaser tagits fram, vilket resulterar i att det skulle kunna vara kritiska förhållanden med tanke på dessa, som vi har bortsett från.

För brandscenario II bedömdes skyddsmålet inte uppfyllas med tanke på de temperatur- och siktförhållande som tagits fram. Enligt resultatet blir det cirka 190°C varmt och 0 meters sikt ovanför uteplatsbranden, vilket bedöms vara kritiskt. Denna bedömning anser vi vara rimlig.

Vid riskbedömningen har hänsyn endast tagits till de förhållanden som uppstår då det befintliga brandskyddet på Gårdsåkra fungerar som det ska. I känslighetsanalysen har däremot resultat vad gäller felfunktion hos det befintliga brandskyddssystemet tagits fram, vilket som helhet resulterar i värre förhållanden.

12.10 Diskussion av åtgärder

I och med att skyddsmålet inte uppfylls enligt riskvärderingen behöver åtgärder vidtas, vilka finns beskrivna i kapitel 11. I samma kapitel beskrivs även de åtgärder som kan vidtas för att få en bättre personsäkerhet vid brand. De föreslagna åtgärderna presenteras som åtgärdspaket, där respektive paket ensamt bedöms uppfylla skyddsmålet. Denna bedömning gjordes genom analys av resultatet från brand- och känslighetsanalysen. Ett krav i alla åtgärdspaket är att reservström ska finnas tillgänglig, detta på grund av att det befintliga brandskyddet i glasgatan med brandgasventilation måste fungera, vilket stöds av resultatet av känslighetsanalysen.

Åtgärdspaketen är mer eller mindre kostsamma att installera. Det åtgärdspaket vi anser är mest kostnadseffektivt att installera är det första som beskrivits: ”Koppla utrymningslarm till bostäderna, sätta upp brandstegar och installera reservström”. Vi vet dock inte säkert vad detta, eller de andra åtgärdspaketen skulle kosta och kan därför inte ge en bättre rekommendation än baserat på vår bedömning.

De ytterligare åtgärderna som beskrivs under åtgärdspaketen är de åtgärder som bedöms kunna utföras för att förbättra personsäkerheten på Gårdsåkra. Förslagen angående förbättrade hissegenskaper är mest riktade åt personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga. Vi är medvetna om att personer med nedsatt rörelseförmåga kan befinna sig i glasgatan, dock har det inte beaktats vid framtagning av åtgärdspaketen. Däremot anser vi att det bör beaktas i en vidare analys om fastighetsinnehavarna ser ett behov av detta.

12.11 Generell diskussion av rapportens resultat

I denna brandtekniska riskvärdering har det hela tiden utgått från det värsta troliga scenariot, vilket har lett till att resultaten bedöms vara konservativa. Frågan är om resultaten sammantaget blivit allt för konservativa. I efterhand finns det några delar av rapporten som bedöms vara väldigt konservativa. Vi anser dock att trots de konservativa antagandena och beräkningsgångarna bedöms slutsatserna och åtgärderna vara rimliga. Anledningen till att vi

valt att analysera utifrån värsta troliga fallet är på grund av en strävan att vara på ”den säkra sidan” men ändå på den ”troliga säkra sidan”. Att utgå från det värsta fallet anser vi inte rimligt, eftersom det bedöms vara orimligt att ett sådant fall inträffar.

Då vi valde att analysera det värsta troliga brandscenariot var vår tanke att om brandskyddet klarar av den större och värre branden, så klarar det också av den mindre branden. De resultat som erhöles i analyserna visar att brandskyddet på Gårdsåkra klarar av mindre bränder, men inte större bränder.

Hela rapporten är baserad på att Gårdsåkras glasgata ses som inomhusmiljö, och därför som en enda sammansatt brandcell. Vi anser att det enda rimliga var att analysera brandskyddet med denna utgångspunkt eftersom glastaket avgränsar luften i glasgatan från den fria luften utomhus.

13 Slutsats

Det befintliga brandskyddet på Gårdsåkra bedöms inte uppfylla skyddsmålet som definierats i rapporten, därför behöver åtgärder vidtas. Nedan listas de åtgärder som, var och en för sig, skulle leda till att skyddsmålet uppfylls.

Föreslagna åtgärder:

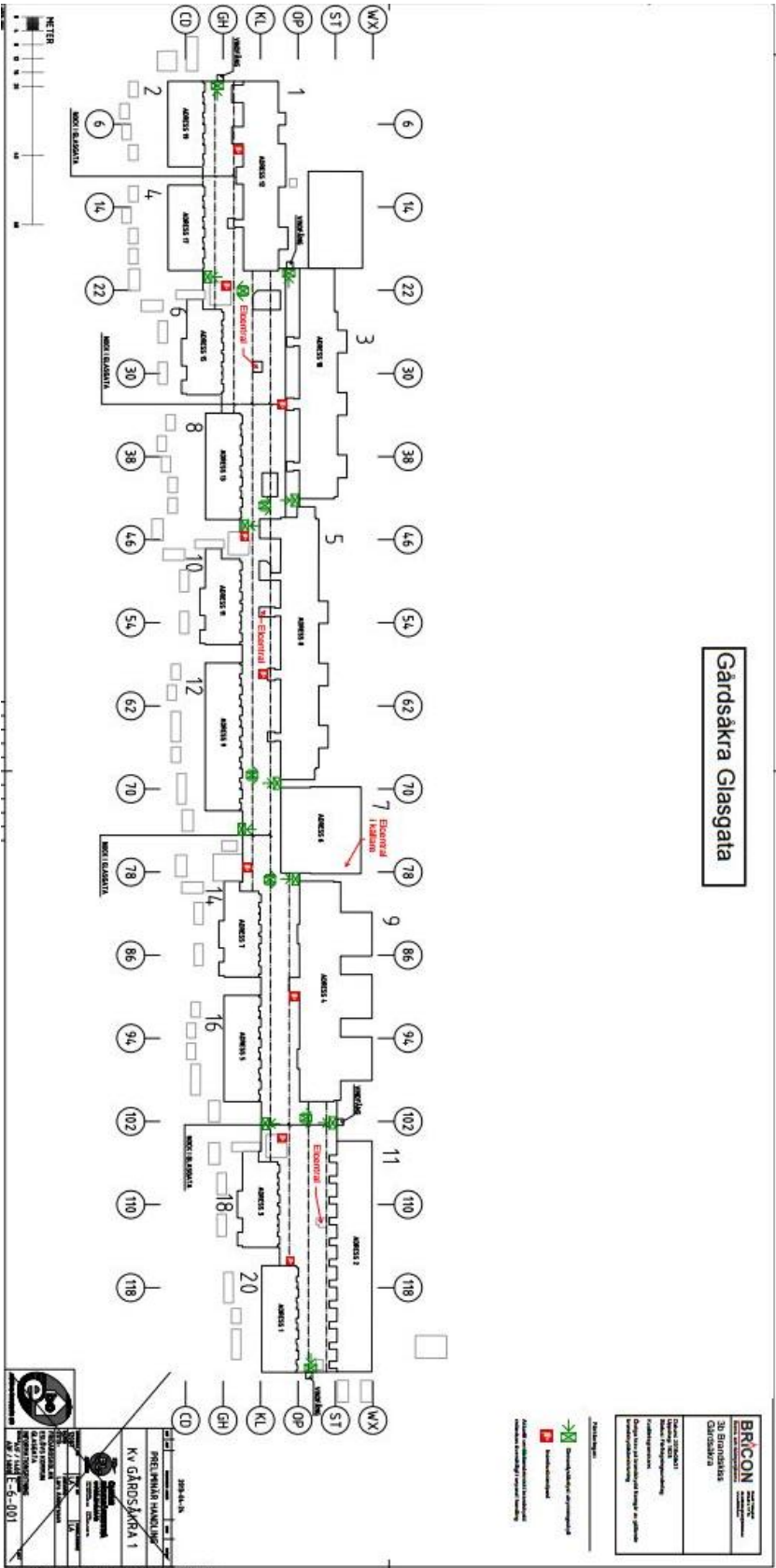
1. Koppla utrymningslarm till bostäderna, sätta upp brandstegar och installera reservström
2. Begränsa brandbelastning och installera reservström
3. Brandklassa alla dörrar och fönster mot glasgatan och installera reservström

Litteraturförteckning

- Bengtsson, L.-G., 2001. *Enclosure fires*. Huskvarna: Räddningsverket.
- Boverket, 2006. *Utrymningsdimensionering*, Huskvarna: Boverket.
- Boverket, 2013. *BFS 2013:12- BBRAD 3*, Boverket.
- Boverket, 2015. *Boverkets byggregler, BBR*, Boverket.
- Bricon, 2015. *Beskrivning av brandskydd, Gårdsåkra*, Bricon AB.
- Bromma Stål, 2014. *VKR Fyrkant Hålprofiler*. Webbadress: <http://www.brommastal.se/se/vkr.html>, [Använd 31 03 2016].
- Buchanan, H., 2001. *Strutural Design for Fire Safety*. Wiley.
- Elf, A. & Cederth, K., 2013. *Brandskydd av stålkonstruktioner*, Eskilstuna: Mälardalens Högskola.
- Eslövs bostads AB, 2016. *Gårdsåkra*.
Webbadress:http://www.ebo.se/HSO/Area/area_info_cm.aspx?cmguid=30d7081d-f927-4c55-9c26-a5bf0ce29efd, [Använd 19 02 2016].
- Frantzich, H. & Nilsson, D., 2003. *Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning*, Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Korhonen, T. & Hostikka, S., 2009. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+ Evac, Technical Reference and User´s Guide*, Finland: VTT Technical Research Center of Finland.
- Lundberg, J., 2016. Eslöv
- MSB, 2014. *Brandskydd i trapphus.*,
Webbadress:<https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Brandskydd/Brandskydd-byggnader-och-anlaggningar/Trapphus/>, [Använd 21 02 2016].
- MSB, 2014. *Brandvaranare- Stöd till dig som ger råd*.
Webbadress:www.msb.se/sv/Forebyggande/Brandskydd/Brandskyddsutrustning/Brandvarnare1/#ansvar, [Använd 13 04 2016].
- MSB, 2016. *IDA, statistik och analysverktyg*.
- Nakano, M. & Hagiwara, I., 2000. *Experimental Study on Starting Time of Evacuation in Sleeping Condition.*: International Association for Fire Safety Science.

- Nilsson, C., 2016. *Teknisk administratör, Eslövs bostäders ab* [Intervju] (12 02 2016).
- Nilsson, D., 2006. *En modell av det inledande utrymningsförloppet*, Lund: Brandteknik, LTH.
- Paroc, 2016. *Allmän information om brand*.
Webbadress:<http://www.paroc.se/knowhow/brand/allman-information-om-brand>, [Använd 20 04 2016].
- Räddningsverket, 1996. *Brandteori*, Karlstad: Statens räddningsverk.
- SCB, 2015. *Antal hushåll i Sverige med olika beräkningsmetoder*.
Webbadress:<http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Hushallens-ekonomi/Inkomster-och-inkomstfordelning/Hushallens-ekonomi-HEK/7289/7296/Antal-hushall/146283>, [Använd 24 02 2016].
- Skolverket, 2016. *Statistik om grundskolan*. Webbadress:<http://www.skolverket.se/statistik-och-utvardering/statistik-i-tabeller/grundskola>, [Använd 24 02 2016].
- Staffansson, L., 2010. *Selecting design fires*, Lund: Brandteknik och riskhantering, LTH.
- Steelss, 2011. *S355J2H*. Webbadress: <http://www.steelss.com/Carbon-steel/s355j2h-.html>, [Använd 31 03 2016].
- Särdqvist, S., 1993. *Initial fires*, Lund: Department of fire safety engineering, Lunds Tekniska Högskola.
- Thor, J., 2006. *Projekteringsanvisningar för stålkonstruktioner*, Brandskyddslaget AB.
- Wikipedia, 2015. *Biografer och teatrar i Sverige*.
Webbadress:https://sv.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Projekt_film/Biografer_och_teatrar_i_Sverige, [Använd 24 02 2016].

Bilaga A- Brandskiss av Gårdsåkra



Figur A 1. Brandskiss av Gårdsåkra (Bricon, 2015)

Bilaga B - Rekommenderade gånghastigheter

Nedan presenteras de riktlinjer Boverket anger för gånghastigheter vid olika förhållande (Boverket, 2006):

Tabell B1. Boverkets riktlinjer för gånghastighet (Boverket, 2006).

	Förbindelse	Gånghastighet längs lutande planet [m/s]
Låg persontäthet	Horisontell	1,3
	Uppför trappa	0,6
	Nedför trappa	0,75
Hög persontäthet	Horisontell	0,6
	Uppför trappa	0,5
	Nedför trappa	0,5

Bilaga C- Underlag för grovriskanalys

För att kunna göra en bedömning av sannolikheter för respektive scenario användes statistiken som presenteras i Tabell C1 nedan. Antal insatser per år är taget från MSBs statistik och analysverktyg IDA (MSB, 2016). Siffrorna var då för 2005-2014, vilket motsvarar en 10 års period. Dessa dividerades med 10 för att få insatser/ år.

Totala antalet verksamheter/startkällor i Sverige togs från olika källor och där statistik saknades gjordes en uppskattning, se Tabell C1.

Frekvensen av en händelse beräknades som antal insatser dividerat med totala antalet verksamheter/startkällor i Sverige. Förväntat antal händelser på Gårdsåkra beräknades sedan genom multiplikation mellan frekvens och antalet verksamheter/startkällor på Gårdsåkra.

Bedömningen av sannolikheten för respektive brandscenario, vilken kan ses i Figur 10 i rapporten, är vår egen bedömning som är gjord med statistiken som stöd, men framförallt med resonemang kring sannolikhet för respektive konsekvens.

Tabell C1. Statistik som ligger till grund för sannolikhet av brandscenarierna i grovriskanalysen.

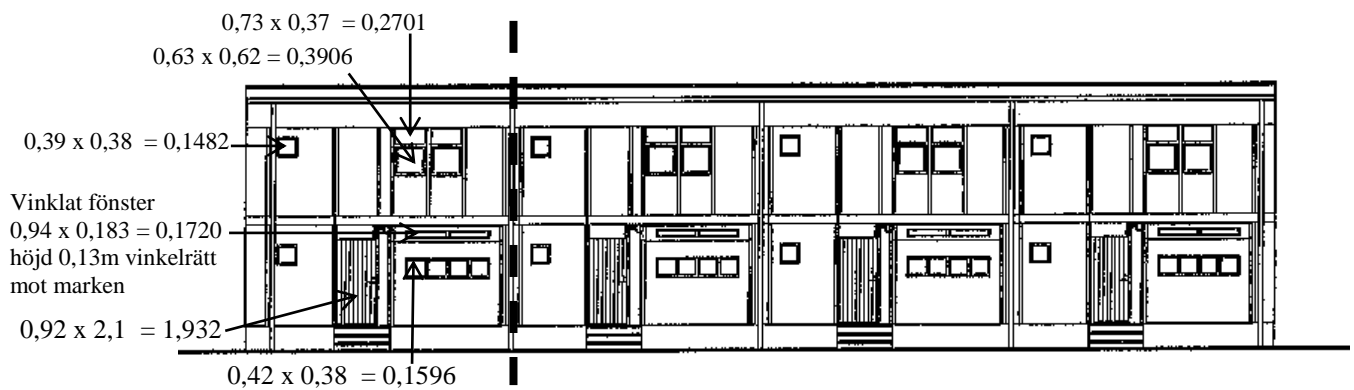
Verksamhet /startkälla	Antal insatser [st/år]	Totala antalet verksamheter/startkällor i Sverige [st]	Frekvens [st/år]	Antalet verksamheter/startkällor på Gårdsåkra [st]	Förväntat antal händelser på Gårdsåkra [st/år]
Skola	656	4.845 (Skolverket, 2016)	0,135	2	0,27
Teater/ biografer	32	800 (Wikipedia, 2015)	0,039	1	0,04
Bostäder	10.386	4.765.600 (SCB, 2015)	0,002	122	0,27
Tvättstuga	364	119.140	0,003	3	0,01
Soptunna	435	-	-	-	-
Lös inredning	918	-	-	-	-
EI-centraler	164	-	-	4	-

Bilaga D-Effektutveckling brandscenario I

I denna bilaga redovisas effektkurvorna samt beräkningar för brandscenario I, lägenhetsbranden.

Beskrivning av lägenhet

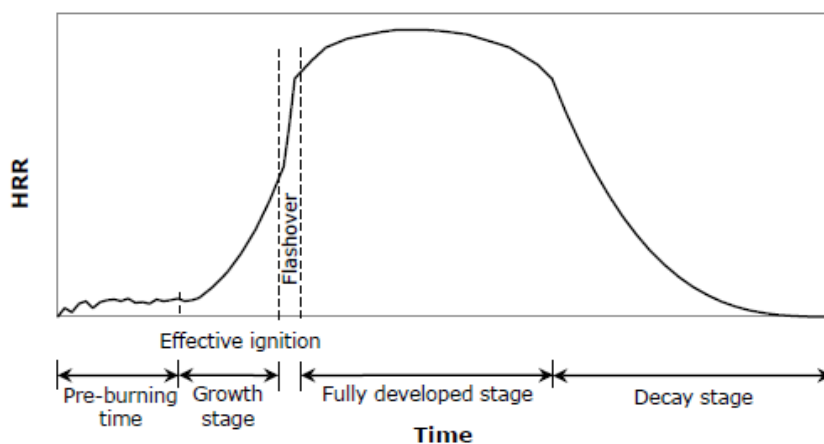
Nedan i Figur D1 presenteras ritningen som visar fasaden samt måtten på öppningar för hus 2, 4, 8, 12, 16. Samtliga mått är i meter och beskrivs som bredd x höjd. Den streckade linjen visar var lägenheten slutar samt avskiljs med brandteknisk klass EI60.



Figur D1. Mått på fasad mot glasgatan, för hus 2,4,8,12 och 16. [m]

Effektkurva - Teori

I detta avsnitt beskrivs hur ett generellt brandförlopp i ett rum ser ut. Följande figur, D2, visar de olika faserna av ett brand i ett rum (Staffansson, 2010).



Figur D 2. Schematisk bild av ett brandförlopp i ett rum (Staffansson, 2010).

Branden börjar med en tillväxtfas där den växer och ökar i styrka med tiden. Hur mycket branden växer beror på vilken typ av förbränning det är, bränsle, ventilationsförhållande och hur branden interagerar med omgivningen. Nästa fas benämns övertändning och är en snabb övergång från lokal brand inom utrymmet till en brand där samtliga brännbara föremål i utrymmet är antända. Detta antas vanligtvis ske då temperaturen i gaslagret är 500-600°C eller då strålningen till golvet är 15-20kW/m². Efter övertändning övergår branden till att bli fullt utvecklad det och det är då den uppnår sin maximala effekt. Branden kan begränsas av mängden bränsle som finns eller mängden syre. Dessa benämns som ventilationskontrollerad samt bränslekontrollerad brand. Slutligen börjar bränslet ta slut och branden börjar därför avta i intensitet, denna fas kallas avsvalningsfasen. (Staffansson, 2010)

Maxeffekt - Teori

Branden är i ett slutet utrymme och förväntas att bli ventilationskontrollerad eftersom tillgången till syre är begränsad. Maximala effekten för en ventilationskontrollerad brand kan beräknas genom

$$\dot{Q}_v \approx 1500A_0\sqrt{H_0} \quad (\text{ekvation 10.12 i } \textit{Selecting design fires})$$

I ekvationen antas att varje kilogram syre producerar 13,1 MJ samt att 23% av luftens massa är syre. Dessutom antas också allt tillgängligt syre konsumeras av branden. Det räknas endast med fönster som är riktade mot glasgatan. Den beräknade effekten antas därför representera den effekt som glasgatan påverkas med. Den skulle kunna bli högre när oförbrända brandgaser förbränns inne i glasgatan, dock är detta inget som tas hänsyn till i beräkningarna och i rapporten. Det antas att hela våningen brinner vid maxeffekt och att alla fönster mot glasgatan är sönder.

Ovanvåningen

Maxeffekt

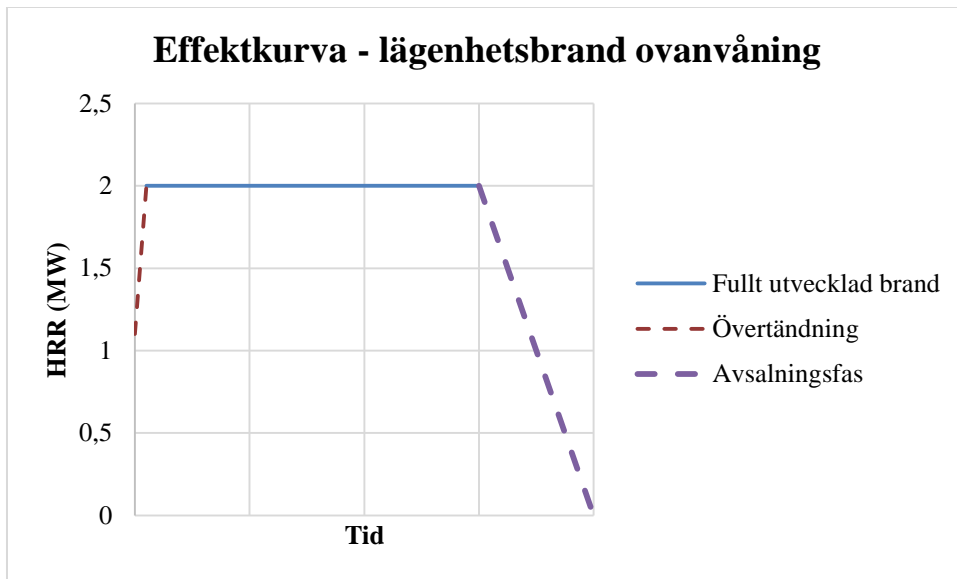
$$A_0 = 2 * 0,2701 + 2 * 0,3906 + 0,1482 = 1,4696 \text{ m}^2$$

$$H_0 = \frac{(2*0,2701*0,37)+(4*0,3906*0,62)+(0,1482*0,38)}{1,1306} = \frac{1,224878}{1,4696} \approx 0,83348\text{m}$$

$$\dot{Q}_v \approx 1500A_0\sqrt{H_0} = 1500 * 1,4696 \sqrt{0,83348} \approx \mathbf{2013 \text{ kW}}$$

Effektkurva

I Figur D3 nedan presenteras hur en brand på ovanvåningen påverkar glasgatan efter att övertändning har skett. Övertändnings- och avsvalningsfasen är av mindre intresse och visas därför endast schematiskt med streckad linje.



Figur D 3. Effektkurva för lägenhetsbrand på ovanvåning.

Bottenvåningen

Maxeffekt med stängd dörr:

$$A_o = 0,1482 + 2 * 0,1720 + 4 * 0,1596 = 1,1306 \text{ m}^2$$

$$H_o = \frac{(0,1482 * 0,38) + (2 * 0,1720 * 0,13) + (4 * 0,1596 * 0,38)}{1,1306} = \frac{0,343628}{1,1306} \approx 0,30393 \text{ m}$$

$$\dot{Q}_v \approx 1500 A_o \sqrt{H_o} = 1500 * 1,1306 \sqrt{0,30393} \approx 935 \text{ kW}$$

Maxeffekt med öppendörr:

$$A_o = 0,1482 + 2 * 0,1720 + 4 * 0,1596 + 1,932 = 3,0626 \text{ m}^2$$

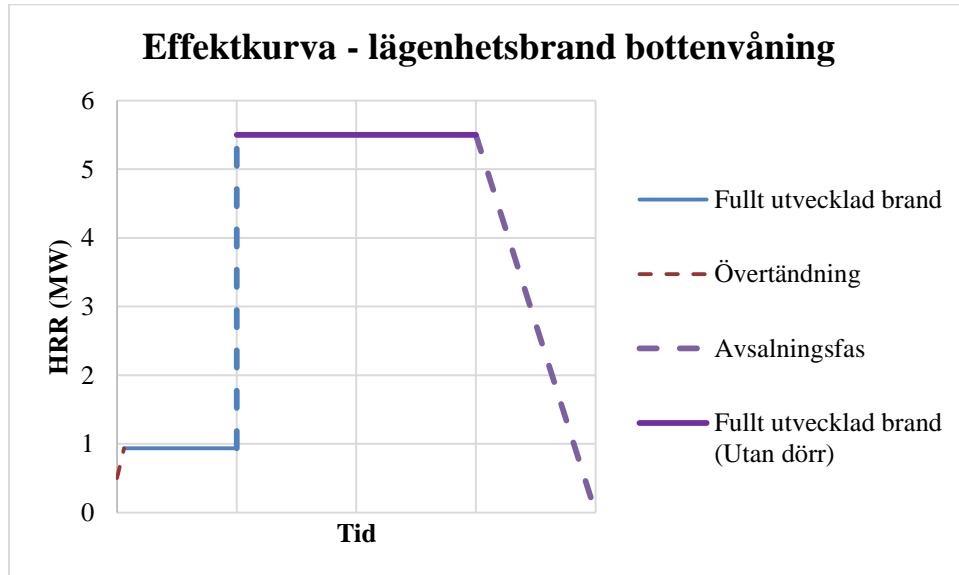
$$H_o = \frac{(0,1482 * 0,38) + (2 * 0,1720 * 0,13) + (4 * 0,1596 * 0,38)}{1,1306} = \frac{4,400828}{3,0626} \approx 1,43696 \text{ m}$$

$$\dot{Q}_v \approx 1500 A_o \sqrt{H_o} = 1500 * 3,0626 \sqrt{1,43696} \approx 5507 \text{ kW}$$

Effektkurva

Nedan i Figur D4 presenteras hur en brand på ovanvåningen påverkar glasgatan efter att övertändning har skett. Övertändnings- och avsvalningsfasen är av mindre intresse och visas

därför endast schematiskt med streckad linje. Bottenvåningen har en dörr mot glasgatan. Denna förväntas tillslut ge vika och ge upphov till att luft kan flöda in.



Figur D 4. Effektkurva för lägenhetsbranden på bottenvåningen.

Bilaga E- Effektutvecklingskurva Brandscenario II

Brandscenario II beskriver uteplatsbranden. Denna bedöms kunna ske på två olika sätt, horisontell spridning åt ett håll eller åt två håll. För de båda scenarierna som kan uppkomma på uteplatserna i glasgatan har nedanstående beräkningsgång använts.

Vid beräkning av strålning från en uteplats till en annan användes ekvation 1.

$$\dot{q} = \frac{X_r \cdot \dot{Q}}{4 \cdot \pi \cdot R^2}, \quad \text{ekvation 1}$$

Kritiska strålningsnivån är den nivå som krävs för att antända närliggande material. Nivån väljs till 20kW/m^2 ur *Selecting Design Fires* (Staffansson, 2010). Detta värde betyder att det krävs minst 20kW/m^2 för att nästa uteplats ska antända. Strålningsformeln bygger på att det strålar mot en punkt.

Formeln används och \dot{Q} sätts som okänd för att få fram effekten som krävs för att närliggande uteplats ska antända. Strålningsandelen sätts till 0,3, vilket kan användas i brist på annat värde (Staffansson, 2010) och avståndet till nästa uteplats sätts till 0,5m.

$$\dot{Q} = \frac{20 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0,5^2}{0,3} = 209\text{kW}$$

På platsbesöket observerades att det fanns fem uteplatser i varje skepp och därför kommer strålningsberäkningarna göras för fem uteplatser. Tiden tills nästa uteplats antänds, tiden som steady- state fasen pågår och tiden tills decay fasen börjar kommer att beräknas för att erhålla en effektkurva.

Vi antar att varje uteplats har bränsletillgång likt en soffa. Ur *Initial fires* hittades en effektkurva för en soffa med maxeffekt på cirka 2MW (Särdqvist, 1993). För detta scenario ökas maxeffekten till 2,5MW eftersom det fanns en viss mängd trämaterial på varje uteplats som troligtvis också kommer antända och brinna samtidigt som soffan. Detta antagande kring materialet på uteplatserna ses som representativt för det sammanlagda materialet på respektive uteplats. Tillväxthastigheten för branden sätts som en fast-brand som har värdet $0,047\text{ kW/m}^2\text{s}^2$. Detta värde bedöms representera det värsta troliga material som finns på uteplatserna.

Tiden till maxeffekt beräknas ur ekvation 2.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2, \quad \text{ekvation 2}$$

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2500}{0,047}} = 230s$$

För att ta reda på hur länge steady-state fasen pågår, beräknas först energin för det brinnande materialet. Vid beräkning av energin används ekvation 3.

$$Q = m \cdot \Delta H_{c,eff}, \quad \text{ekvation 3}$$

Vid beräkning av energin som soffan frigör beräknas även energin för trä, vilka kan ses i Tabell E1. Detta dels för att soffor innehåller trä, och för att de var placerade intill ett staket av trä som troligtvis börjar brinna när soffan brinner i fulleffekt.

Tabell E1. Energimängd för material i bränslepaket.

Material	Massa [kg]	Förbränningsvärme [MJ/kg]	Energi [MJ]
Soffa	10	24,6	246
Trä	15	13,3	200
			$\Sigma 450$

För att ta reda på hur länge steady state fasen pågår används den totala energin som frigörs och maxeffekten 2,5 MW. Energin multipliceras med 80 % eftersom det antas att decay-fasen börjar när 80 % av bränslet brunnit upp.

$$t = \frac{E}{\dot{Q}}$$

$$t = \frac{E}{\dot{Q}} = \frac{450 \cdot 0,8}{2,5} = 140s$$

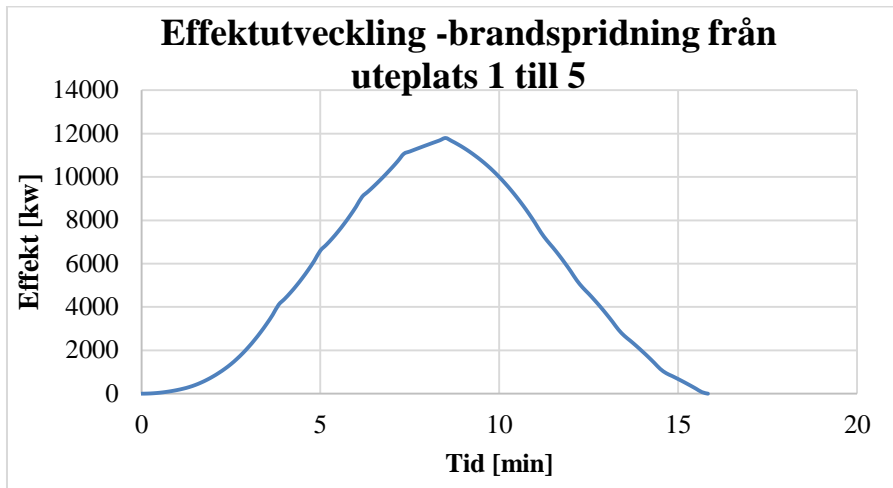
Decay fasen antas pågå i 300s och då är branden slut. Vid beräkning av lutningen för decay fasen i effektutvecklingskurvan används formel ur *Selecting design fires*, ekvation 4.

$$\dot{Q} = 0,027 \cdot (t_{decay} - t)^2, \quad \text{ekvation 4}$$

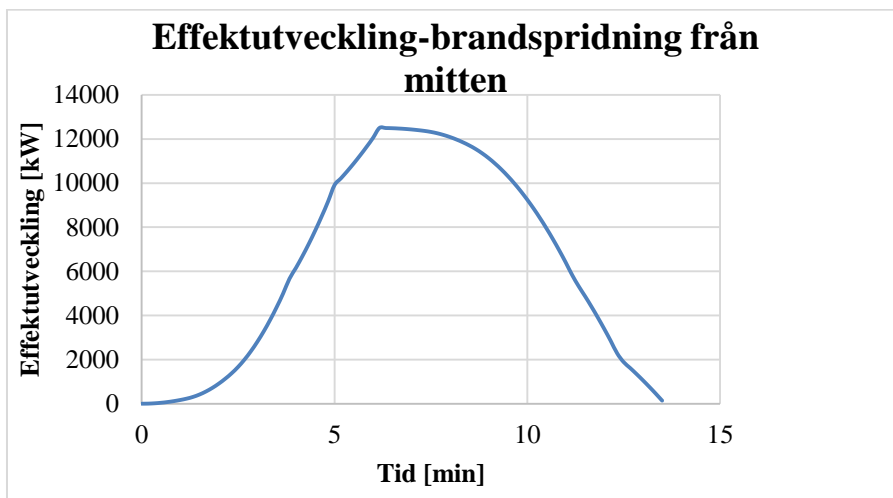
Ur ekvation 1 erhöles informationen om att det krävs 209 kW för antända nästa uteplats. I fallet där branden startar i mitteln kommer det krävas 209 kW för att antända två uteplatser. Ur ekvation 2 kan tiden det tar för att komma upp i 209 kW beräknas.

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{209}{0,047}} = 70s$$

Vi vet att tillväxtfasen kommer vara i 230 s, då adderas 70 s med 230 s för att få reda på när steady state fasen börjar. ($230 + 70 = 300$ s). Steady state fasen pågår i 140 s ur beräkningar ovan, alltså börjar decay efter 440 s ($300 + 140 = 440$ s). Vid beräkning av lutningen för decay används ekvation 2. Denna beräkningsgång görs i ett Excel ark för båda scenarierna. Resultaten av denna beräkningsgång, för respektive scenarie kan ses i Figur E1 och E2 nedan.



Figur E1. Effektutveckling för brand på uteplats, med horisontellspridning åt ett håll.



Figur 19. Effektutveckling för brand på uteplats, med horisontell spridning åt två håll.

Som en del av känslighetsanalysen beräknades en effektkurva för sju respektive nio bränslepaket på samma sätt som beräkning av effektutvecklingen ovan. Detta gav

effektutvecklingarna i Figur E3 och E4 nedan:



Figur 20. Effektutvecklingskurva för 7 bränslepaket.



Figur E4. Effektutvecklingskurva för 9 bränslepaket.

I FDS skulle brandförloppet försöka efterlikna den framräknade effektkurvan för brandstart i mitteln och horisontell spridning åt två håll. Därför sattes de olika bränslepaketen att starta efter tiderna som anges i tabellen nedan:

Tabell E2. Indata till FDS.

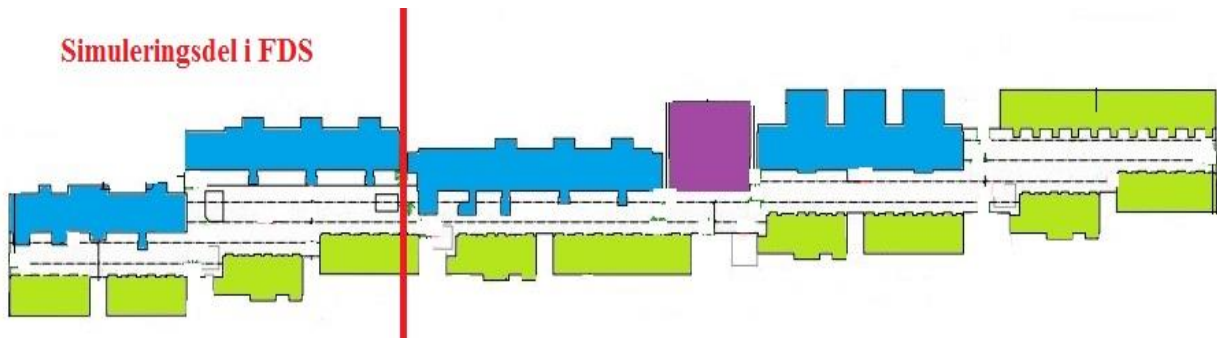
	Maximaleffekt	Tid till start, från 0 sekunder
Bränslepaket 3	2,5MW	0
Bränslepaket 4	2,5MW	70sek
Bränslepaket 2	2,5MW	70sek
Bränslepaket 1	2,5MW	140sek
Bränslepaket 5	2,5MW	140sek

Bilaga F-Information brandanalyssimuleringar

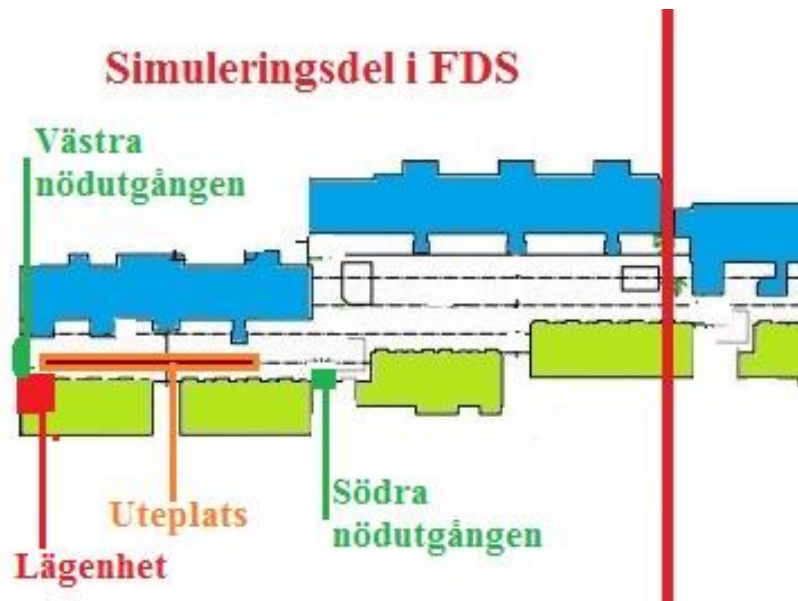
Geometrin ritades upp i Pyrosim, som en förenklad bild av verkligheten. Väggarna ritades helt raka, marken sattes helt plan och andra detaljer som exempelvis växter och möbler förenklades bort. Däremot försöktes taket efterlikna verkligheten så mycket som möjligt, genom att det ritades upp i den speciella M-strukturen. Dock blir taket i FDS koden tolkat som ett sågtak, vilket skapar turbulens i alla hörnor. För att undvika sådan turbulens sattes egenskapen "no-slip" på taket. Materialet för väggarna och golvet antogs vara betong och glastaket sattes till tvåglasfönster, med totalt 0,6 mm glas och 1,2 mm luftspalt. De horisontella gardinerna i taket sattes som helt tät PVC-plast. Rökdetektorer, med standardvärdet 3,28 % / m, placerades under gardinen samt under glastaket. Vid detektion av en rökdetektor placerad under gardinen öppnas gardinerna i hela skeppet. Vid detektion av en rökdetektor precis under glastaket öppnas alla brandgasluckor i taket, i hela byggnadsdelen. I verkligheten tar det en viss tid innan gardinen eller luckorna är helt öppnade. För att simulera detta används en fördröjningstid efter detektionen, 5 sekunder för gardinerna och 7,5 sekunder för rökgasluckorna. 5 sekunder valdes utifrån ett antagande att det tar 10 sekunder för gardinen att öppna helt och 7,5 sekunder valdes för att det tar 15 sekunder för brandgasluckorna att öppna helt. Anledningen till att tiderna det tar för gardinen respektive luckan att öppnas helt dividerats med två är på grund av att öppningen sker succesivt, vilket innebär att rök tar sig ut innan luckan är helt öppen.

För att kunna få specifik information om temperatur och siktförhållanden i resultatfilerna av FDS- simuleringarna sattes även mätinstrument in i simuleringsfilerna. Mätinstrumenten placerades som träd över hela höjden, på olika ställen i glasgatan. Mätinstrumenten sattes främst vid de två nödutgångarna vilka kan ses i Figur F2, eftersom det fanns störst intresse av att veta förhållandena vid dessa.

Endast en del av glasgatan valdes att ta med i simuleringarna, nämligen den yttersta västra delen, se Figur F1. Detta främst för att begränsa simuleringstiden, men också för att den delen var intressantast att titta på. Röken kan bara sprida sig åt ett håll och dessutom är den byggnadsdelen minst till ytan, vilket leder till värre förhållanden snabbare. Om en brand i den yttersta västra delen inte ger kritiska förhållanden, bör det inte heller bli kritiska förhållanden om bränderna skulle placeras någon annanstans i glasgatan.



Figur F1. Principskiss över den del av glasgatan som används för simuleringar i FDS.



Figur F2 Principskiss över den del av glasgatan som använts för simuleringar i FDS, med markerade nödutgångar samt placering av lägenhets- och uteplatsbrand.

Bilaga G-Strålningsberäkningar

I denna bilaga redovisas beräkningar av de avstånd som ger kritiska strålningsnivåer enligt Boverkets riktlinjer, för lägenhetsbranden samt för uteplatsbranden. Strålningen till en punkt kan beräknas med följande formel.

$$\dot{q}_r'' = \frac{X_r * \dot{Q}}{4 * \pi * R^2} \quad \text{Selecting design fires (10.4)}$$

Det kritiska avståndet kan således beräknas med:

$$R = \sqrt{\frac{X_r * \dot{Q}}{4 * \pi * \dot{q}_r''}}$$

Andel av energin som utsänds som strålning ansätts till 0,3, vilket kan användas då inget annat värde finns tillgängligt, enligt *Selecting Design Fires* (Staffansson, 2010). Den kritiska strålningen som människan klarar av att utsättas för utan skador är enligt Boverkets riktlinjer 2,5kW/m² långvarigt eller 10 kW/m² under en kort stund (Boverket, 2013).

Avstånd – lägenhetsbrand

Maxeffekten i lägenhetsbranden uppgår till 2MW. Detta medför att de kritiska avstånden blir följande.

Kritiskt avstånd - långvarig exponering 2,5 kW/m²

$$R = \sqrt{\frac{X_r * \dot{Q}}{4 * \pi * \dot{q}_r''}} = \sqrt{\frac{0,3 * 2000}{4 * \pi * 2,5}} \approx 4,4m$$

Kritiskt avstånd – kortvarig exponering 10 kW/m²

$$R = \sqrt{\frac{X_r * \dot{Q}}{4 * \pi * \dot{q}_r''}} = \sqrt{\frac{0,3 * 2000}{4 * \pi * 10}} \approx 2,2m$$

Avstånd – uteplatsbrand

Maxeffekten vid en brand i en uteplats uppgår till ca 12,5MW. Detta medför att de kritiska avstånden vid denna effekt blir följande.

Kritisikt avstånd – långvarig exponering 2,5 kW/m²

$$R = \sqrt{\frac{X_r * \dot{Q}}{4 * \pi * \dot{q}''}} = \sqrt{\frac{0,3 * 12500}{4 * \pi * 2,5}} \approx 10,9m$$

Kritiskt avstånd – kortvarig exponering 10 kW/m²

$$R = \sqrt{\frac{X_r * \dot{Q}}{4 * \pi * \dot{q}''}} = \sqrt{\frac{0,3 * 12500}{4 * \pi * 10}} \approx 5,5m$$

Tabell 18. Avstånd till de kritiska strålningsnivåerna enligt Boverkets riktlinjer, för respektive brandscenario.

	Långvarig exponering (2,5kW/m ²)	Kortvarig exponering (10kW/m ²)
Brandscenario I- Lägenhetsbrand	4,4 m	2,2 m
Brandscenario II Uteplatsbranden	10,9 m	5,5 m

Bilaga H- Plym-, flammhöjd- och temperaturberäkningar

I denna bilaga presenteras plym-, flammhöjds- samt temperaturberäkningar för brandscenario II-uteplatsbranden. Utgångspunkten för beräkningarna är att branden i en uteplats har effekten 2,5MW och arean $4 \cdot 1 \text{m}^2$.

$$\dot{Q} = 2500 \text{kW}$$

$$A = 4 \text{m}^2$$

Flammhöjd

Flammhöjden kan beräknas med följande formel:

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (\text{Enclosure Fire Dynamics, 4.3})$$

Brandens area är rektangulär i scenariot, men approximeras till cirkulär för att kunna användas i formeln. Diametern i en motsvarande brand som är cirkulär uppgår då till:

$$A = \pi r^2 \rightarrow D \approx 3,1915 \text{m}$$

Detta ger en flammhöjd på

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \approx \mathbf{2,1 \text{m}}$$

Plym

Följande beräkningar utförs för höjden 5m över marken.

$$z = 5 \text{m}$$

Plymtemperatur

Temperaturändringen i centrum av plymen kan beräknas med följande formel

$$\Delta T_0 = 25 \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{z - z_0} \right)^{5/3} \quad (\text{Enclosure Fire Dynamics, 4.25a})$$

z_0 och \dot{Q}_c kan beräknas genom

$$z_0 = 0,083\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (\text{Enclosure Fire Dynamics, 4.23})$$

$$\dot{Q}_c \approx 0,7\dot{Q} \quad (\text{Enclosure Fire Dynamics})$$

Med insättning av data fås

$$z_0 \approx -1,35755 \text{m}$$

$$\dot{Q}_c = 1750 \text{kW}$$

ΔT_0 kan nu beräknas till

$$\Delta T_0 = 25 \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{z - z_0} \right)^{5/3} \approx 166,398 \approx 166K$$

Temperaturen i plymen är därmed på 5 meters höjd

$$T_0 = \Delta T_0 + T_\infty = 166 + 293 = \mathbf{186^\circ C} \approx \mathbf{190^\circ C}$$

Brandeffekt vid maximal plymtemperatur enligt Boverkets riktlinjer

Här beräknas den maximala effekten en uteplats får ha för att skadekriteriet enligt Boverkets riktlinjer på 80°C inte ska uppnås. Temperaturökningen som krävs för att nå kritisk nivå är därmed 60°C, från rumstemperatur 20°C. Således är

$$\Delta T_0 = 60^\circ C.$$

Följande formel används

$$\Delta T_0 = 25 \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{z - z_0} \right)^{5/3}$$

Med insättning av $z_0 = 0,083\dot{Q}^{2/5} - 1,02$, $\dot{Q}_c \approx 0,7\dot{Q}$ fås

$$\Delta T_0 = 25 \left(\frac{(0,7\dot{Q})^{2/5}}{z - 0,083\dot{Q}^{2/5} + 1,02D} \right)^{5/3}$$

Med indata

$$\Delta T_0 = 60^\circ C$$

$$D = 3,1915m$$

$$z = 5m$$

$$\Rightarrow \dot{Q} \approx \mathbf{720kW}$$

Detta ger alltså en maxeffekt på 720kW

Plymradie

Plymradien kan beräknas med följande formel

$$b = 0,12 (T_0/T_\infty)^{1/2} (z - z_0) \quad (\text{Enclosure Fire Dynamics, 4.24})$$

Med insättning av data fås för 5 meters höjd en plymradie på

$$b \approx 0,96 \approx \mathbf{1m}$$

Bilaga I- Temperaturberäkning för stålpelare

I denna bilaga redovisas beräkningar för temperaturen i en stålpelare som är placerad i uteplatsbranden, brandscenario II. Temperaturändringen i stålpelaren kan beräknas genom följande formel.

$$\Delta T_s = \frac{F}{V} \frac{1}{\rho_s c_s} \{h_c (T_f - T_s) + \sigma \varepsilon (T_f^4 - T_s^4)\} \Delta t \quad (\text{Buchanan, 2001})$$

Indata:

Pelaren som är ett kvadratisk fyrkantör antas ha en hålprofil för kvadratiska rör på 100x100x6,3mm

Detta medför

$$F = 0,1 * 0,1 * 4 = 0,04$$

$$V = 0,1 * 0,0063 * 2 + (0,1 * 0,0063 * 2 + 0,2 - 0,0063)0,0063 * 2 = 0,00244062$$

Stålets egenskaper är

$$\rho_s = 7457 \text{ kg/m}^3 \text{ (Bromma Stål, 2014)}$$

$$c_s = 477 \text{ J/kgK (Steelss, 2011)}$$

Indata från *Structural Design for Fire Safety* (Buchanan, 2001), ger

$$h_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

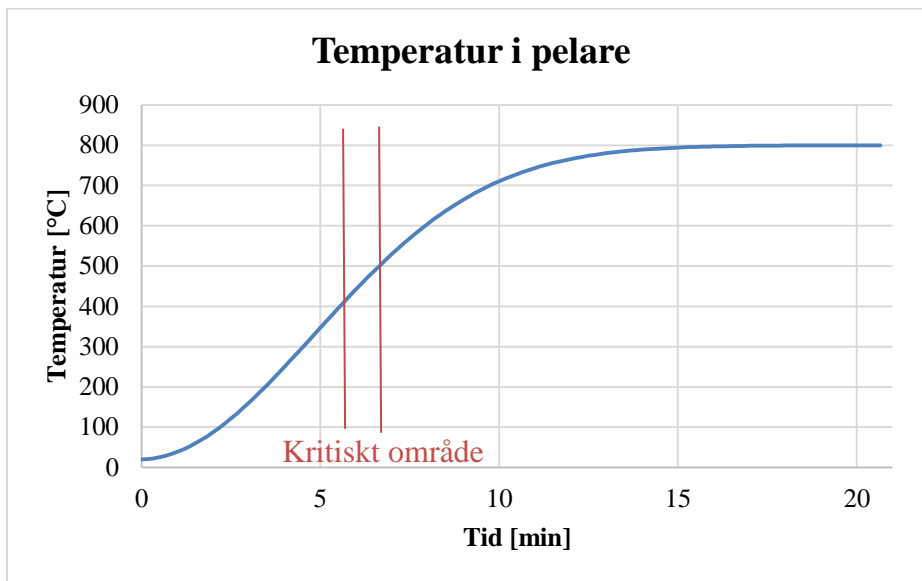
$$\varepsilon = 0,5$$

$$\sigma = 56,7 \times 10^{-12} \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Pelaren antas befinna sig i flamman som antas ha en konstant flamtemperatur på 800°C. Detta antagande baseras på att det vid en fullt utvecklade brand är vanligt att temperaturen ligger på cirka 800-900°C (Bengtsson, 2001).

$$T_f = 800^\circ\text{C} = 1073 \text{ K}$$

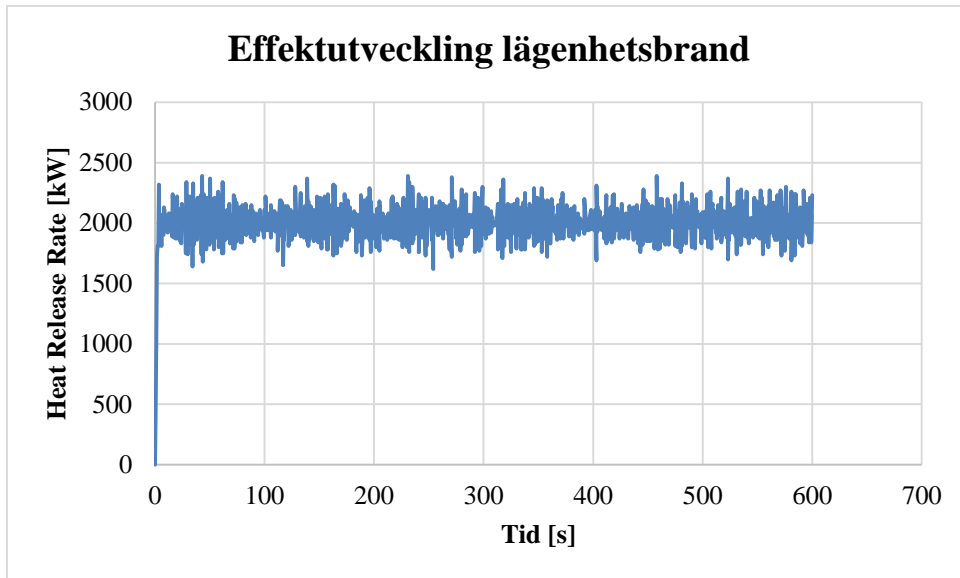
Med ovanstående indata och formel erhålls följande resultat:



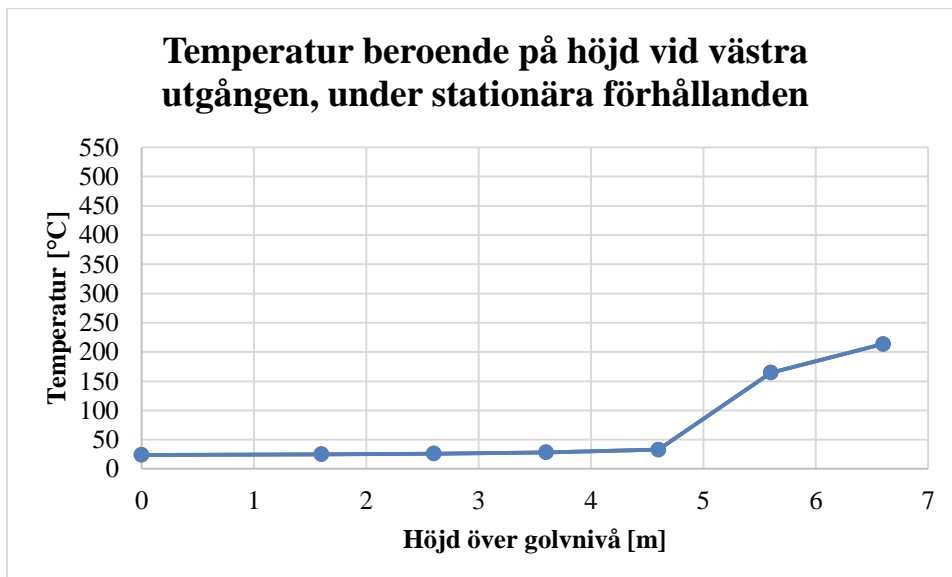
Figur II. Visar hur temperaturen varierar i pelarna då de utsätts för brand. De röda intervallet markerar det område då pelarna börjar tappa sin hållbarhetsförmåga.

Bilaga J-Resultat FDS- Brandscenario I

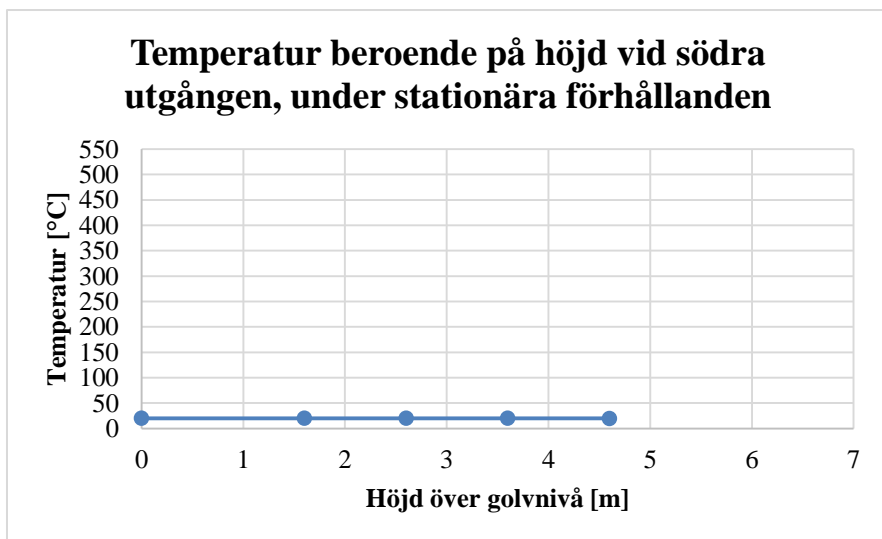
I figurerna nedan visas de diagram som gjorts för resultatet av simuleringarna för lägenhetsbranden. För stationära förhållande, vilket bedöms inträffa efter cirka 1 minut, har mätdata för temperatur samt sikt beräknats om som ett medelvärde för tiden 400-600 sekunder. Vid södra utgången är höjden maximalt 5 meter. Under figurerna med diagram visas också figurer med slice-file stillbilder från FDS simuleringarna.



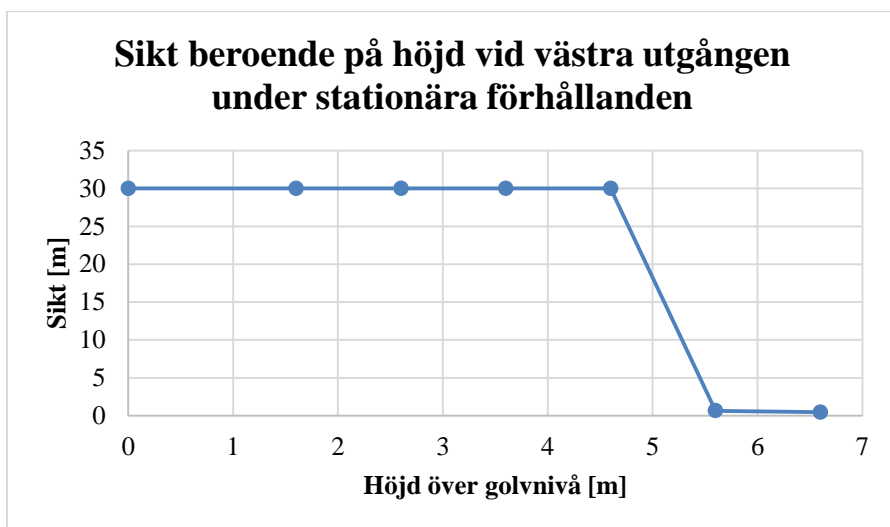
Figur J1. Effektutvecklingskurva för lägenhetsbranden i FDS.



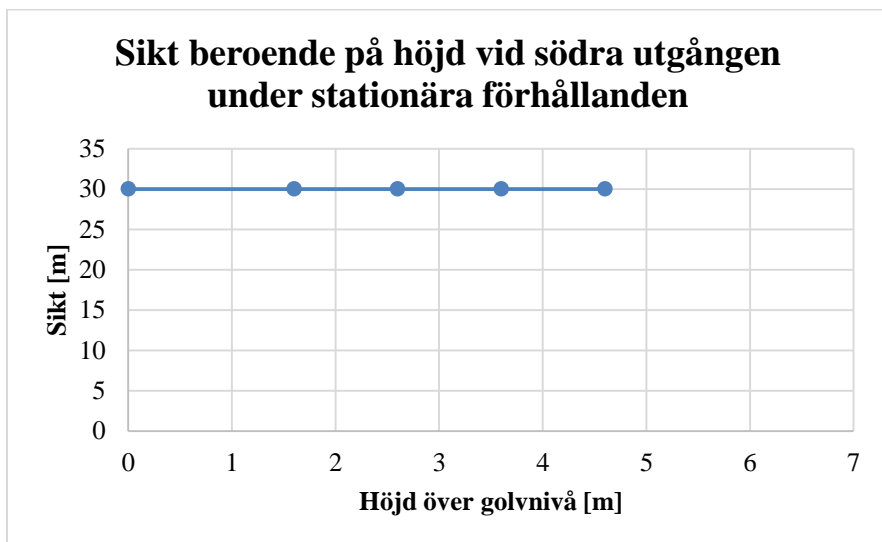
Figur J2. Temperatur beroende på höjd vid västra utgången, från FDS.



Figur J3. Temperatur beroende på höjd vid södra utgången, från FDS.



Figur J4. Sikt beroende på höjd vid västra utgången , från FDS.

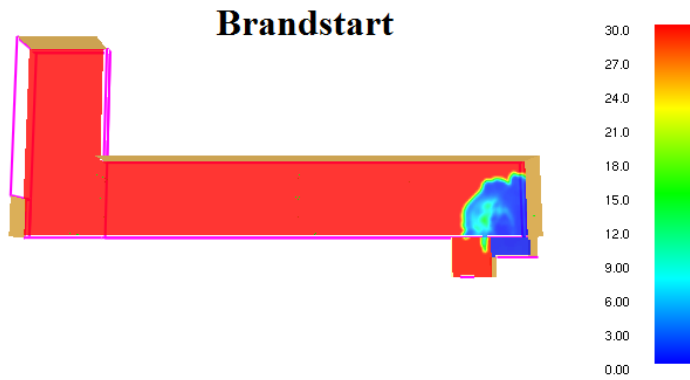


Figur J5. Sikt beroende på höjd vid södra utgången, från FDS.

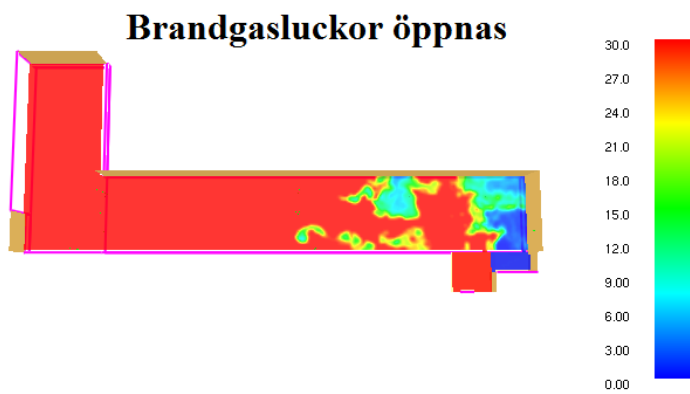
Sot

De tre figurerna nedan visar sot-profilerna vid brandstart, då brandgasluckorna öppnar och det är stationärt förhållande, på 5 meters höjd.

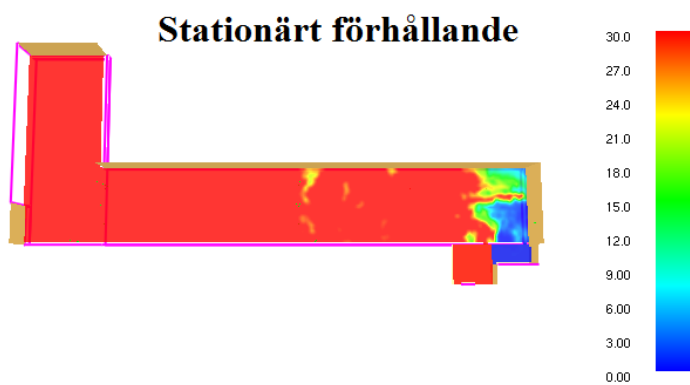
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



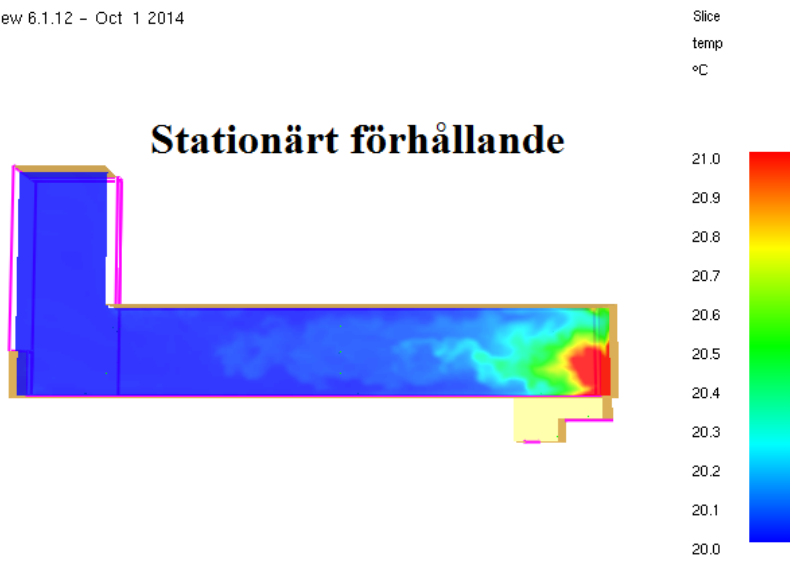
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Temperatur

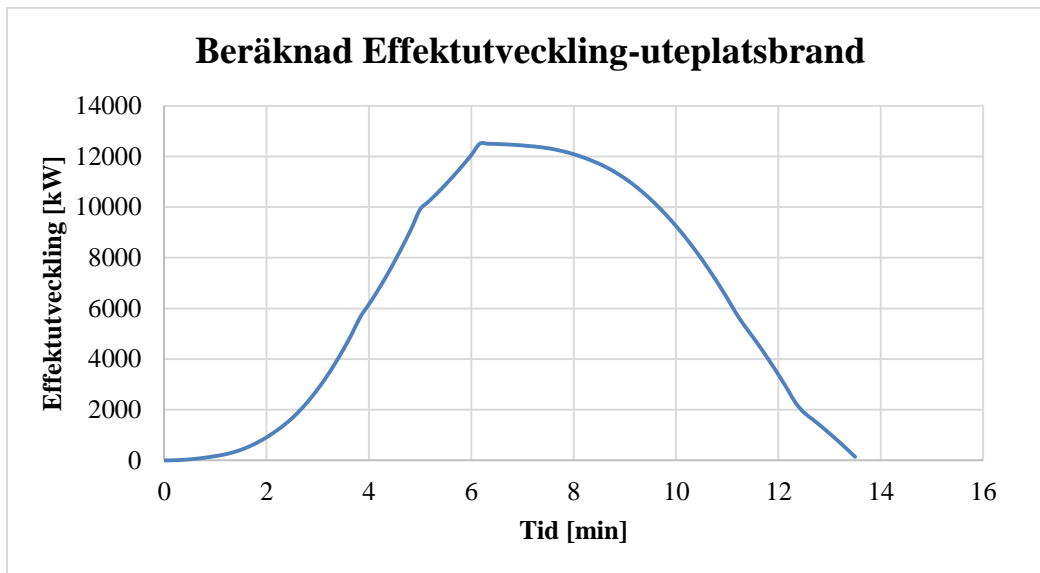
Figuren nedan visar temperaturprofilen vid stationära förhållanden (>400 s), vid 5 meters höjd

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014

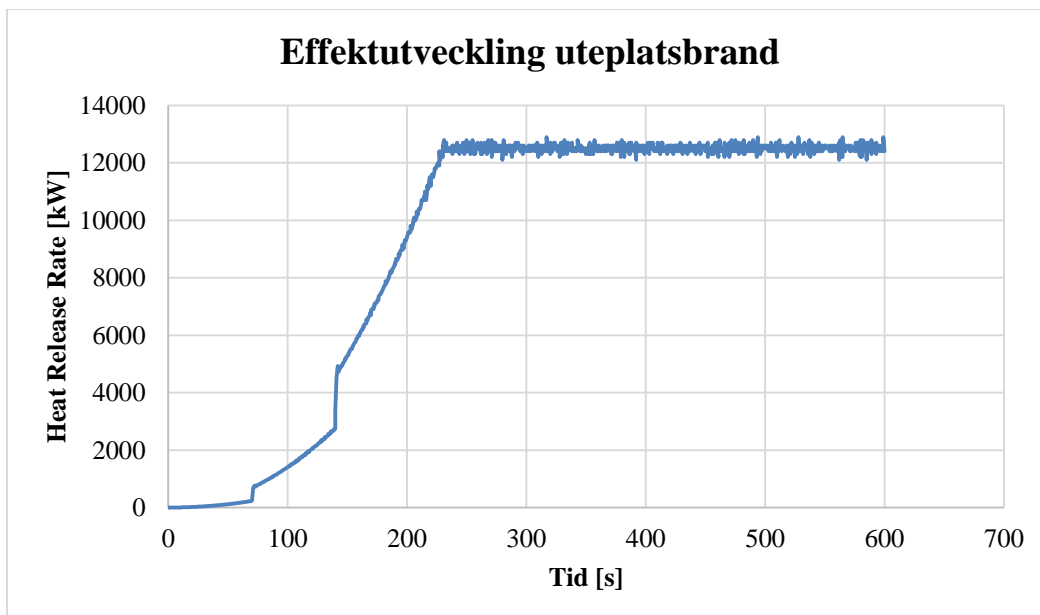


Bilaga K-Resultat FDS- Scenario II

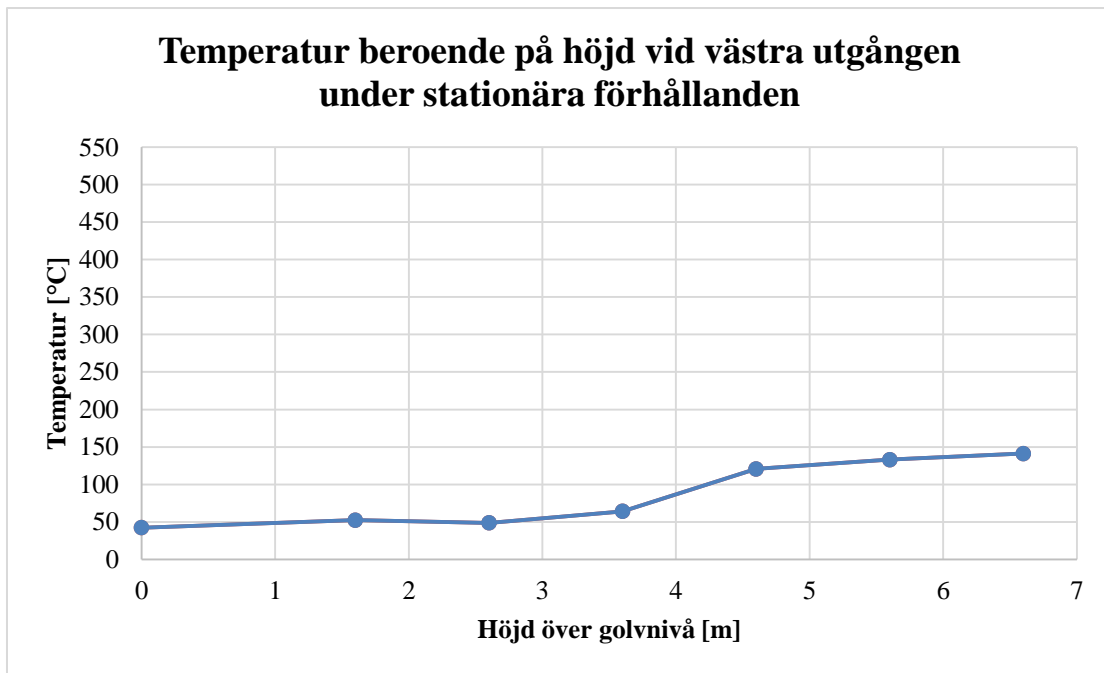
I figurerna nedan visas de diagram som gjorts för resultatet av simuleringarna för uteplatsbranden. För stationära förhållande har mätdata för temperatur samt sikt beräknats om som ett medelvärde för tiden 400-600 sekunder, vilket är då det bedöms vara stationärt förhållande. Under figurerna med diagram visas också figurer med slice-file stillbilder från FDS simuleringarna.



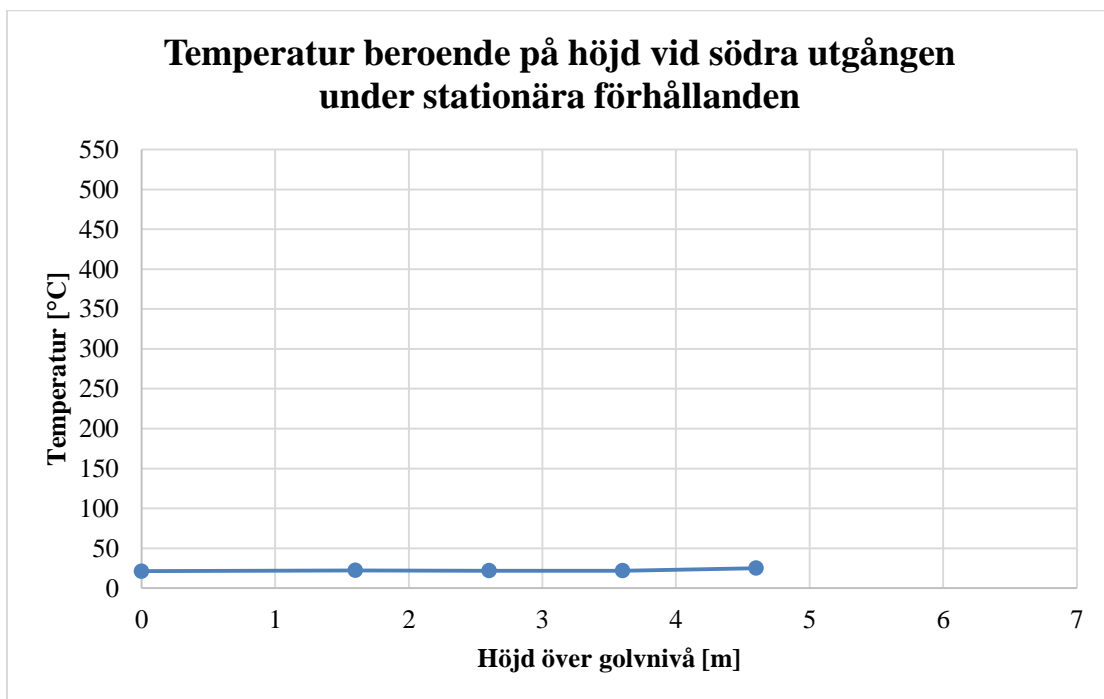
Figur K1. Den beräknade effektutvecklingskurvan för brandscenario II-Uteplatsbranden.



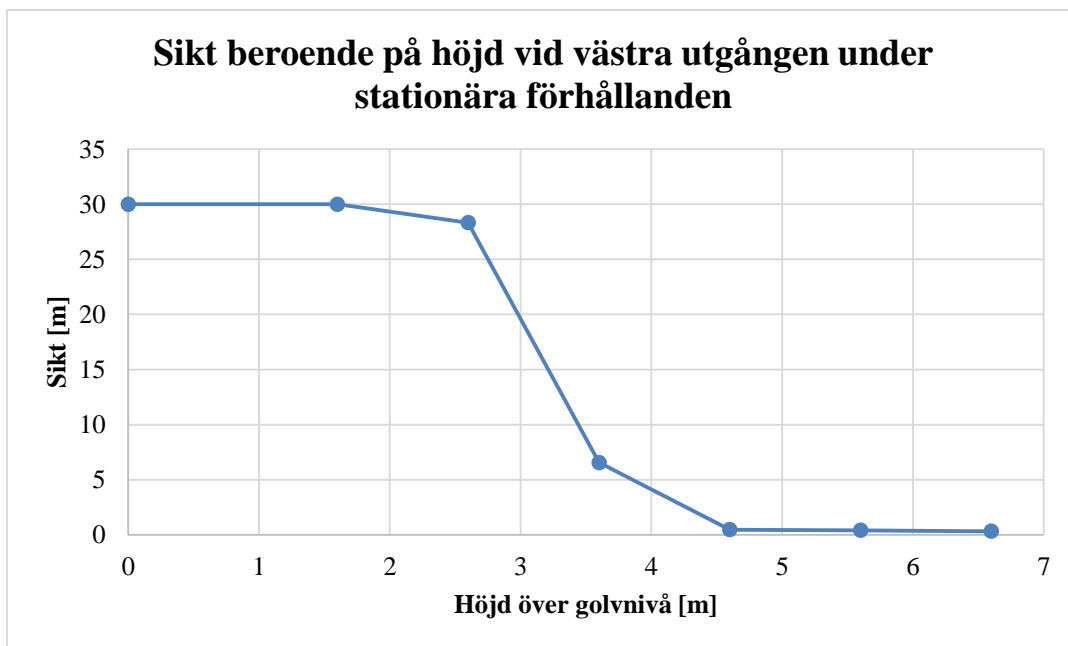
Figur K2. Effektutveckling för uteplatsbranden, från FDS.



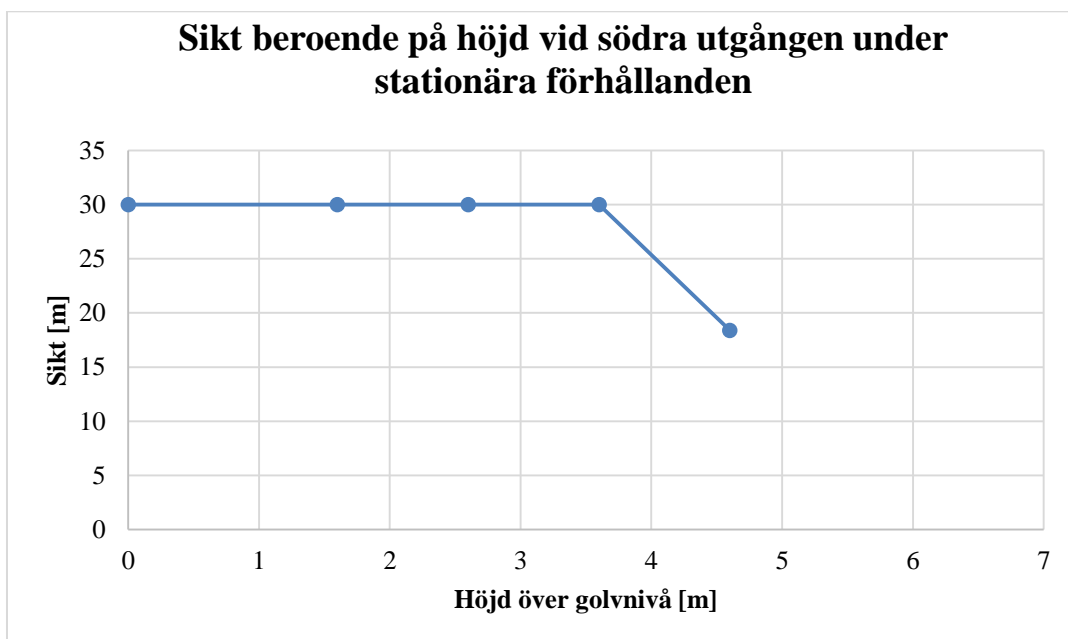
Figur K3. Temperatur beroende på höjd vid västra utgången, från FDS.



Figur K4. Temperatur beroende på höjd vid södra utgången, från FDS.



Figur K5. Sikt beroende på höjd vid västra utgången, från FDS.

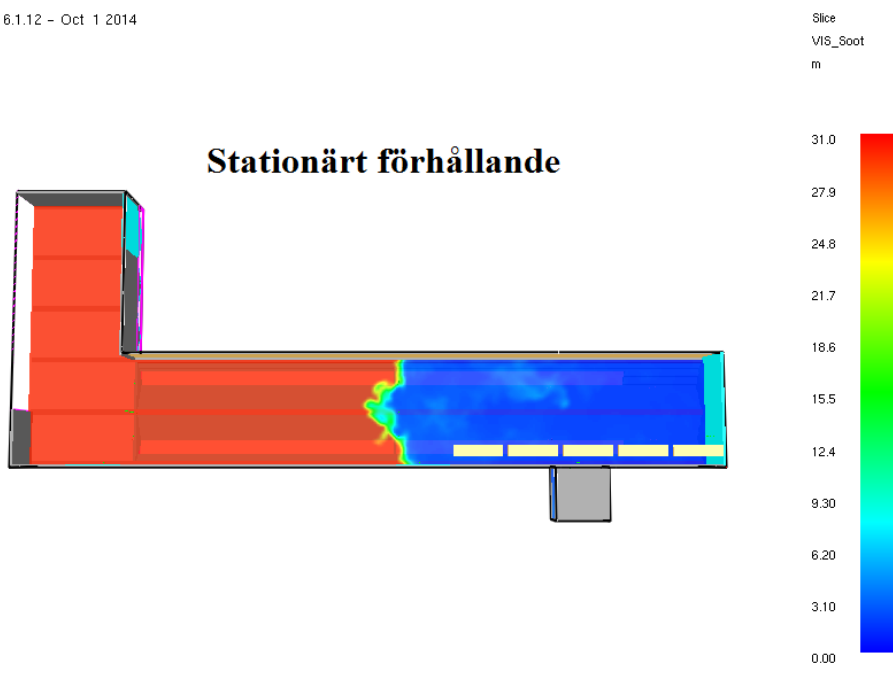


Figur K 6.Sikt beroende på höjd vid södra utgången, från FDS.

Sot

Nedan visas en slice-file för sot-profilen på 5, meters höjd, då förhållandet bedöms vara stationärt (>400s).

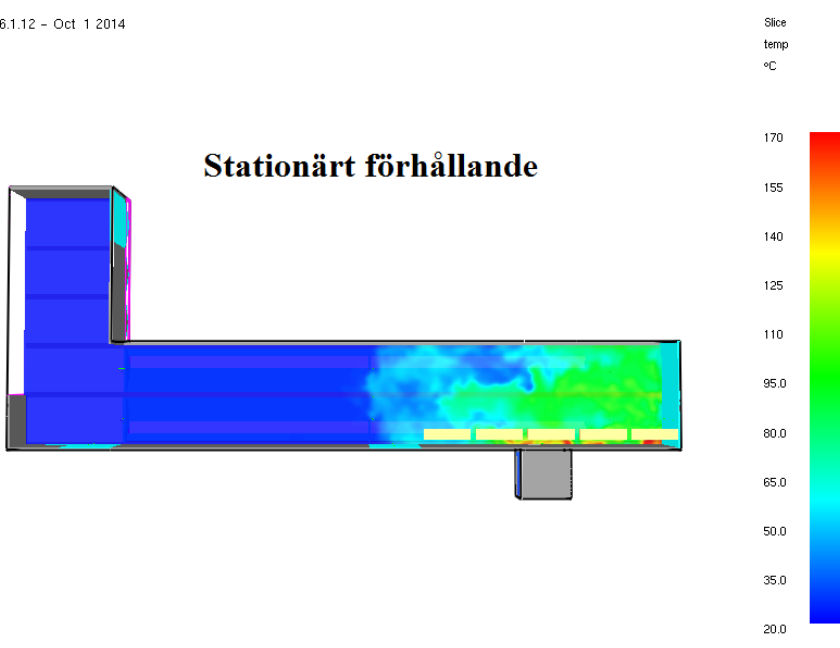
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Temperatur

Nedan visas en figur för temperaturprofilen på 5 meters höjd, vid det bedömda stationära förhållandet.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014

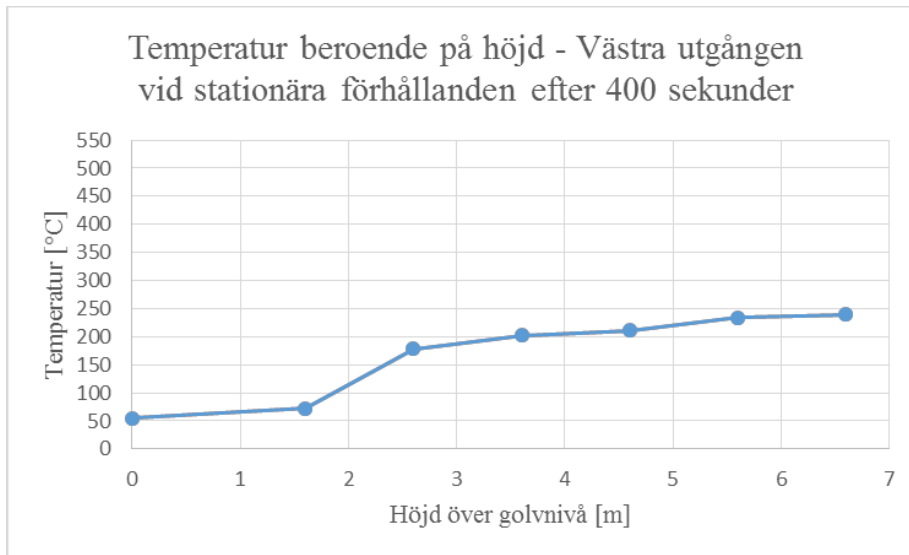


Bilaga L –Känslighetsanalys FDS

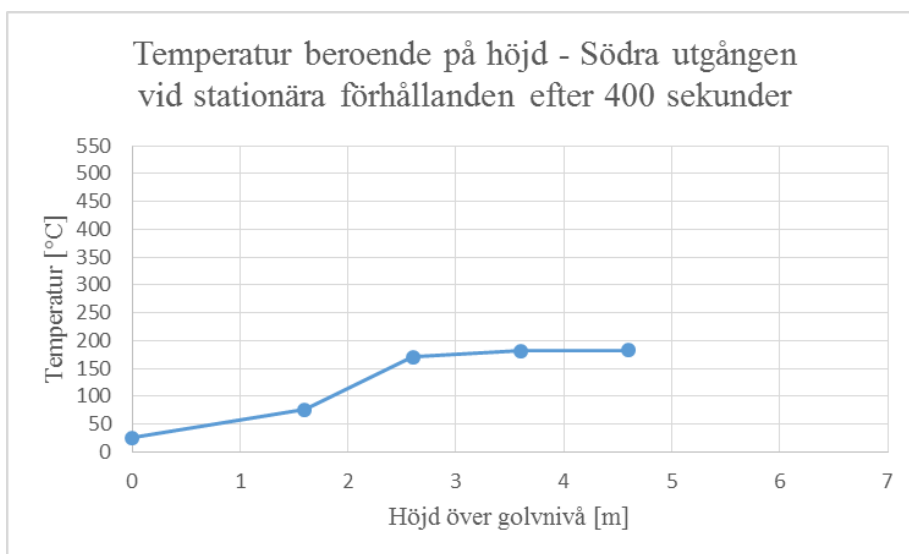
Nedan presenteras de resultatet från FDS simuleringarna för underscenario till ”Brandscenario I-lägenhetsbrand” och ”Brandscenario II-uteplatsbrand”. De följande figurerna beskriver temperaturen och sikten som en funktion av höjden över golvnivån för två olika placeringar, västra utgången och södra utgången. Dessa data är beräknade medeltal från 400-600 sekunder, då förloppet var stationärt. Det finns också figurerna som visar stillbilder av förloppet i smokeview, över temperatur och sikt på 2 och/eller 5 meters höjd över golvnivå. Först presenteras resultatet av delscenariona till brandscenario II och därefter till brandscenario I.

Resultat uteplatsbrand, brandgasluckor ur funktion

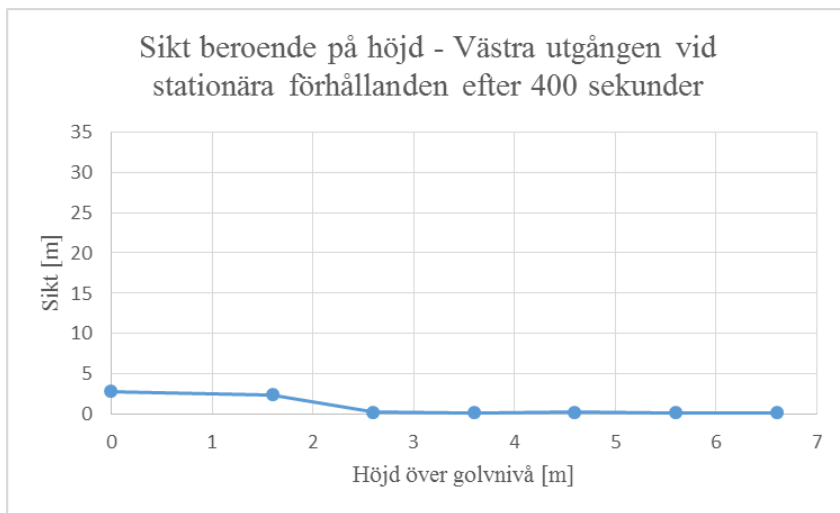
Då brandgasluckorna var ur funktion erhöles följande resultat:



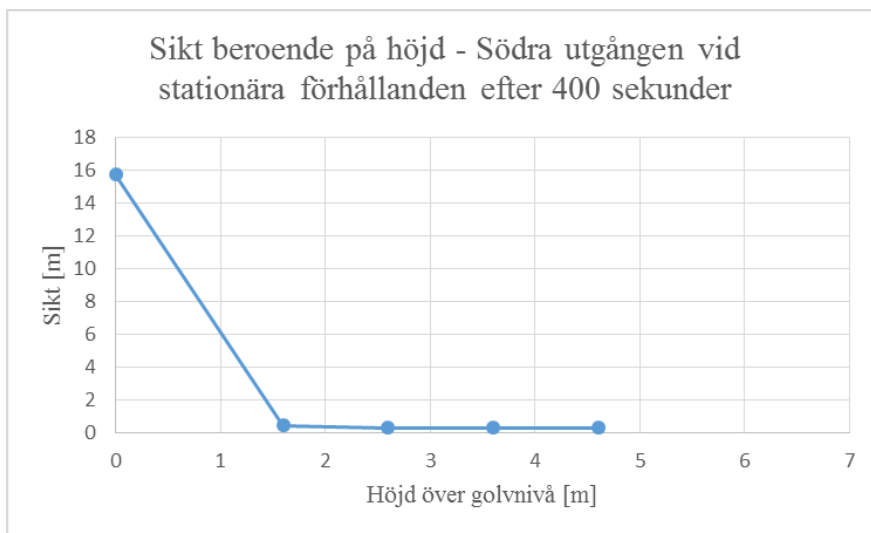
Figur L1. Temperatur över höjden, vid den västra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.



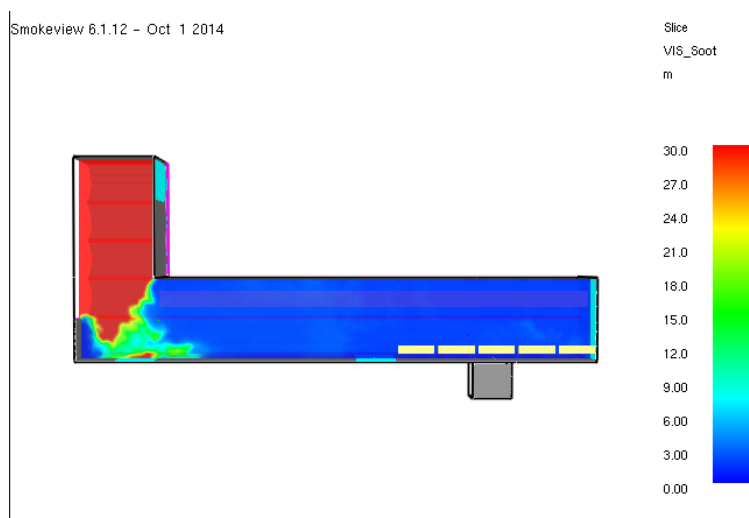
Figur L2. Temperatur över höjden, vid den södra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.



Figur L3. Siktförhållande över höjden, vid den västra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.

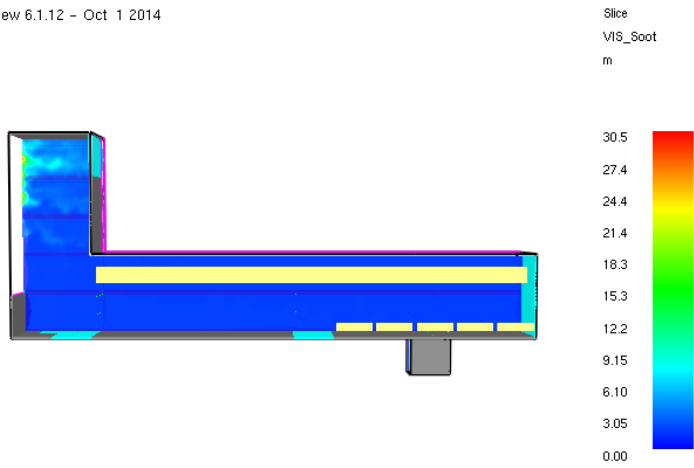


Figur L4. Siktförhållande över höjden, vid den södra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.



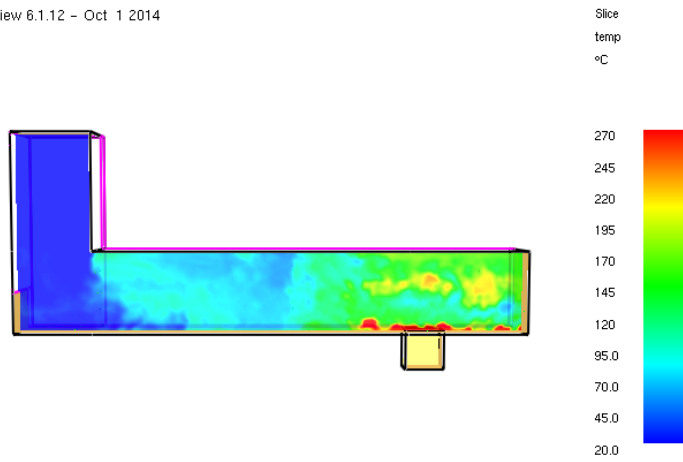
Figur L5. Sikt 2m över golvnivå vid stationärt förhållande då brandgasluckor var ur funktion.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



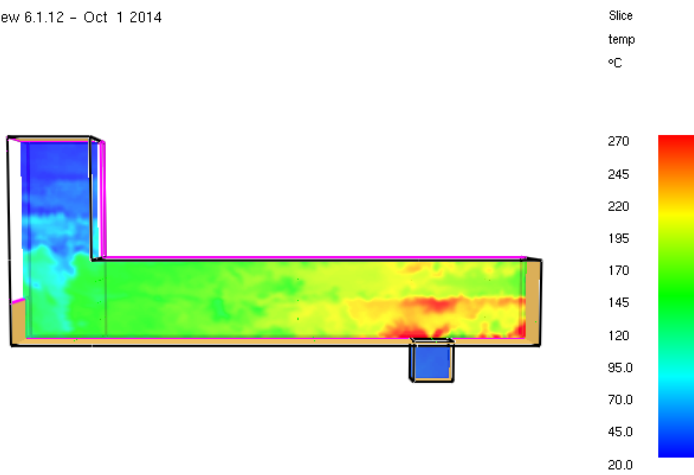
Figur L6. Sikt 5m över golvnivå vid stationärt förhållande då brandgasluckor var ur funktion.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Figur L7. Temperaturförhållande 2m över golvnivå vid stationärt förhållande då brandgasluckor var ur funktion.

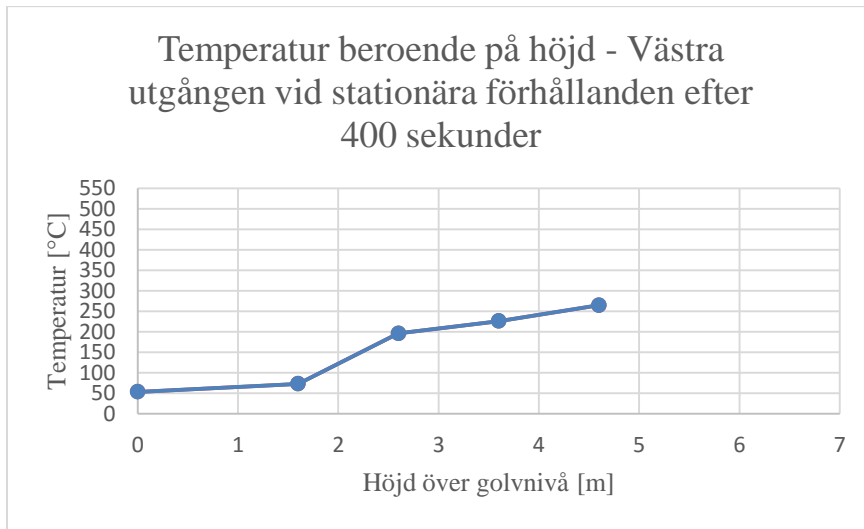
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



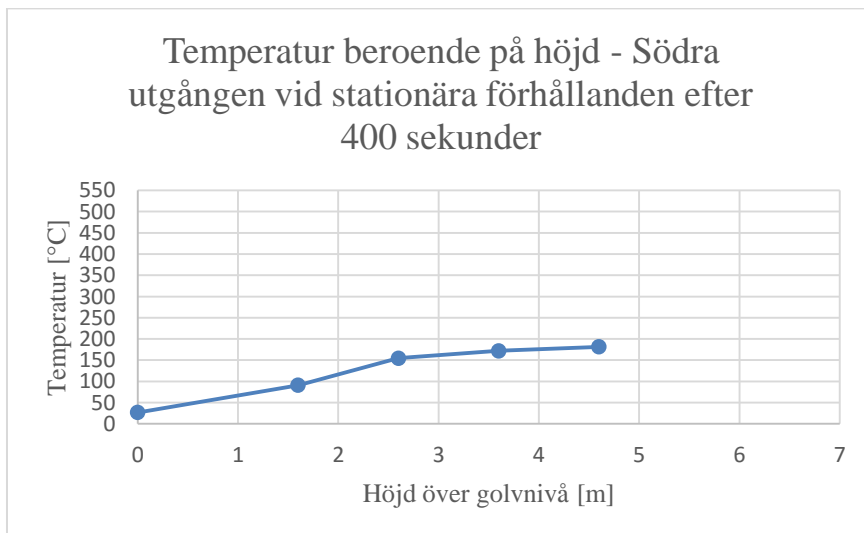
Figur L8. Temperaturförhållande 5m över golvnivå vid stationärt förhållande då brandgasluckor var ur funktion.

Resultat uteplatsbrand, gardiner ur funktion

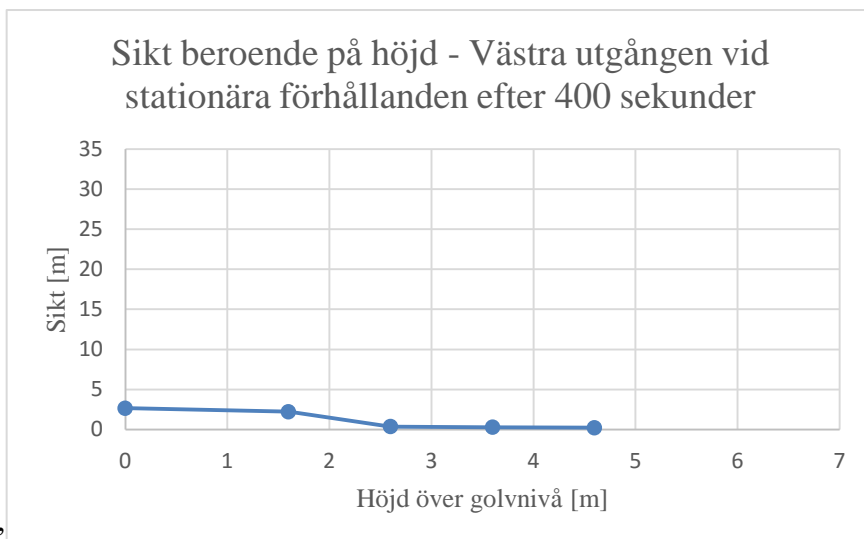
Då skugggardinerna var ur funktion erhöles följande resultat.



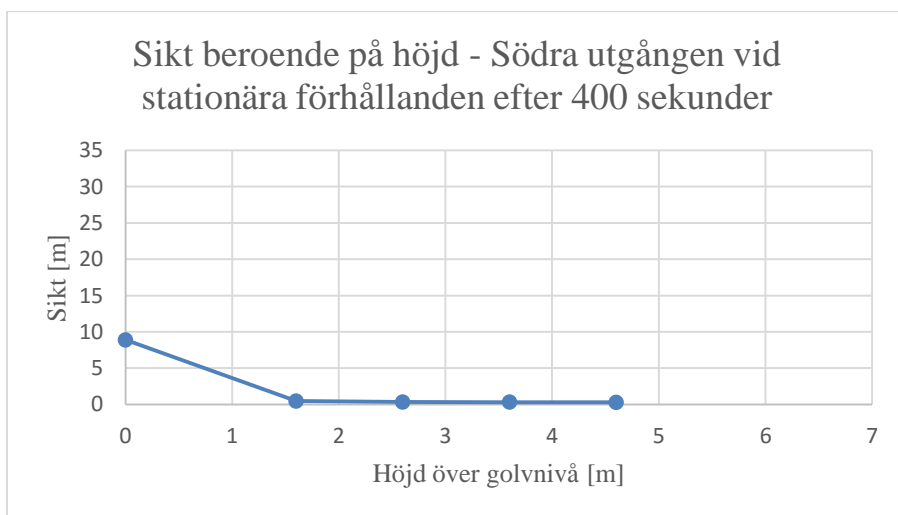
Figur L9. Temperatur över höjden, vid den västra utgången, då skugggardinerna var ur funktion, från FDS.



Figur L10. Temperatur över höjden, vid den södra utgången, då skugggardinerna var ur funktion, från FDS.

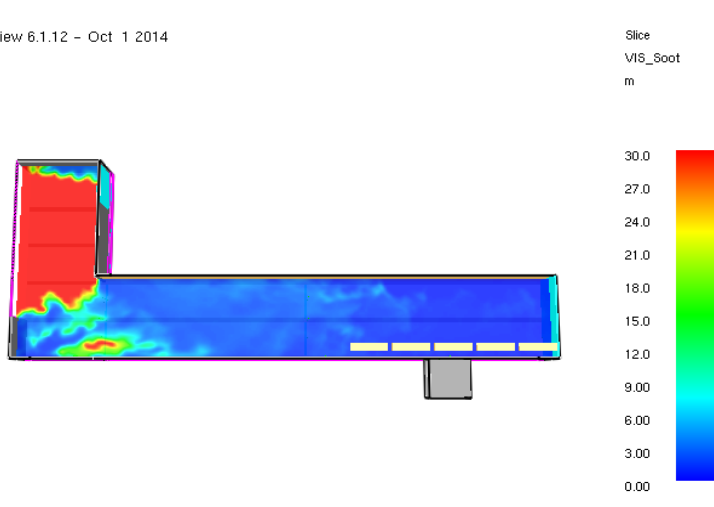


Figur L11 Siktförhållandena över höjden, vid den västra utgången, då skuggardinerna var ur funktion, från FDS.



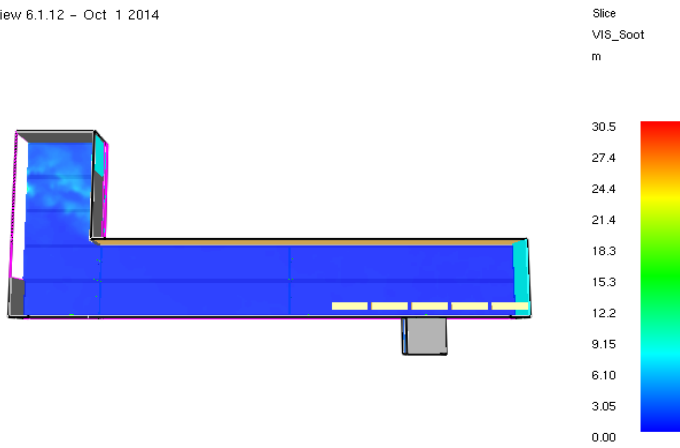
Figur L12. Siktförhållandena över höjden, vid den södra utgången, då skuggardinerna var ur funktion, från FDS.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



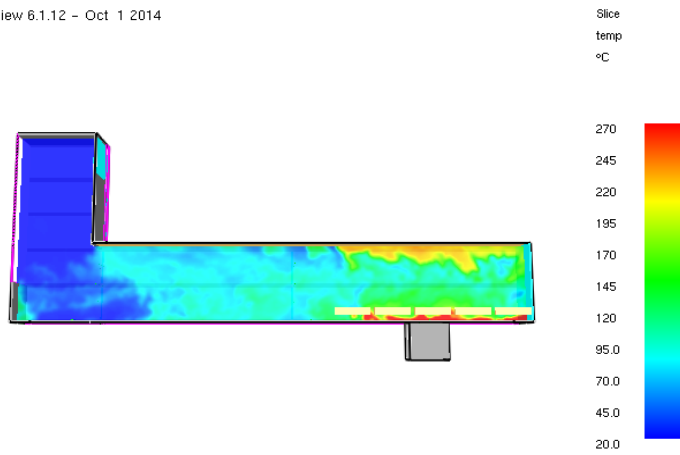
Figur L13. Siktförhållandena 2m ovan golvnivå vid tiden 200s.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



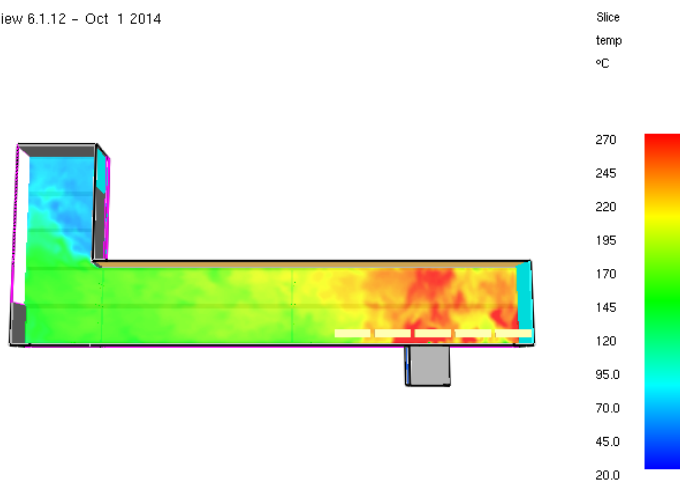
Figur L14. Siktförhållandena 5m ovan golvnivå vid tiden 200s.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Figur L15. Temperaturförhållandena 2m ovan golvnivå vid tiden 200s.

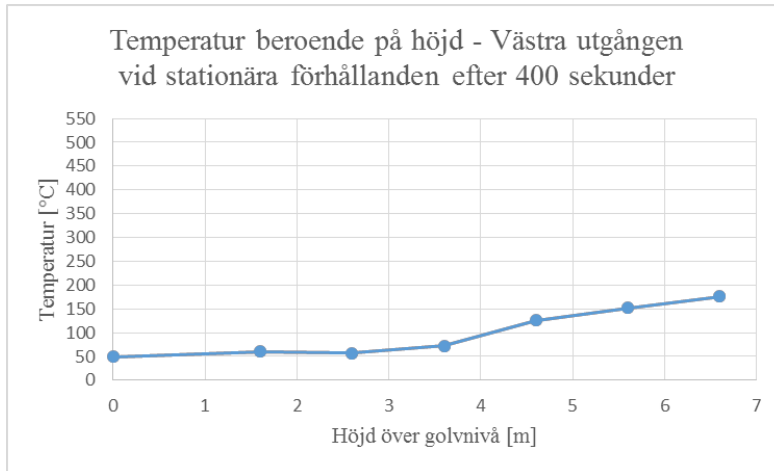
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



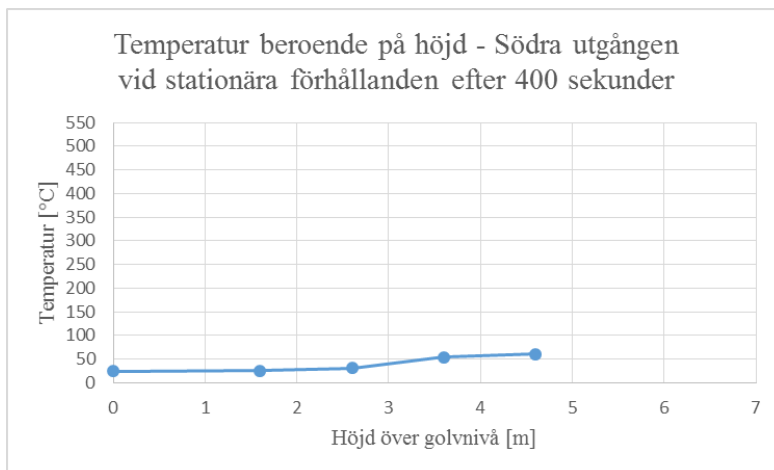
Figur L16. Temperaturförhållandena 5m ovan golvnivå vid tiden 200s.

Resultat uteplatsbrand, begränsad tilluft

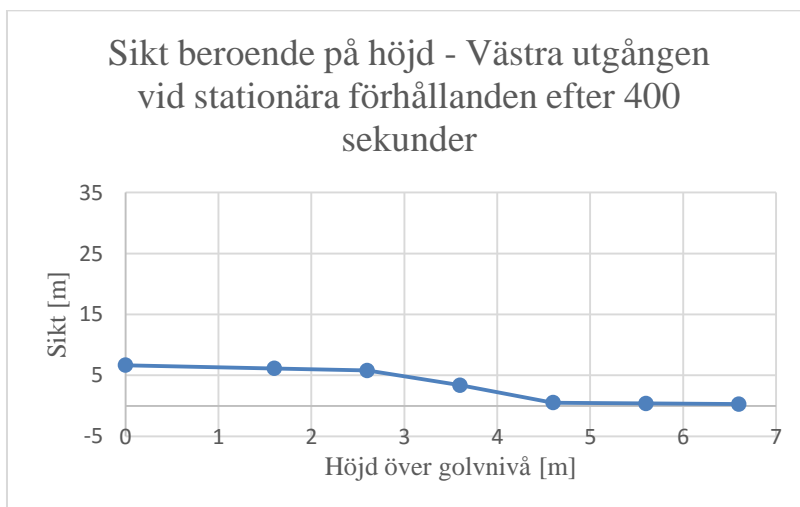
Då tilluften var begränsad erhöles följande resultat.



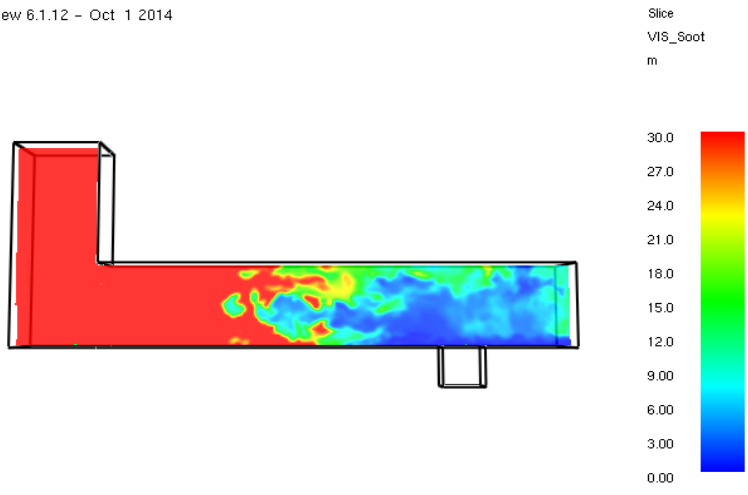
Figur L17. Temperaturhållandena över höjden, vid den västra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.



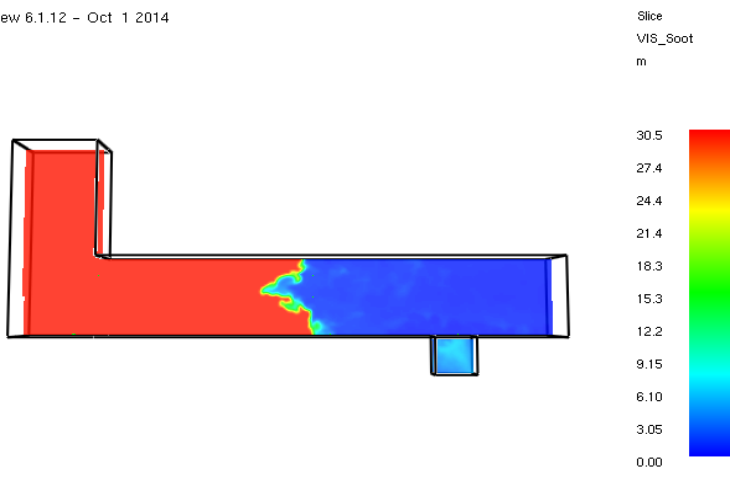
Figur L18. Temperaturhållandena över höjden, vid den södra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.



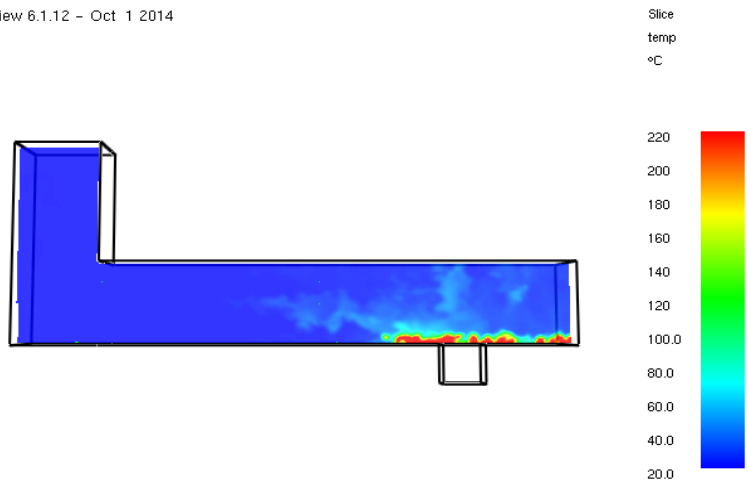
Figur L19. Sikthållandena över höjden, vid den västra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.



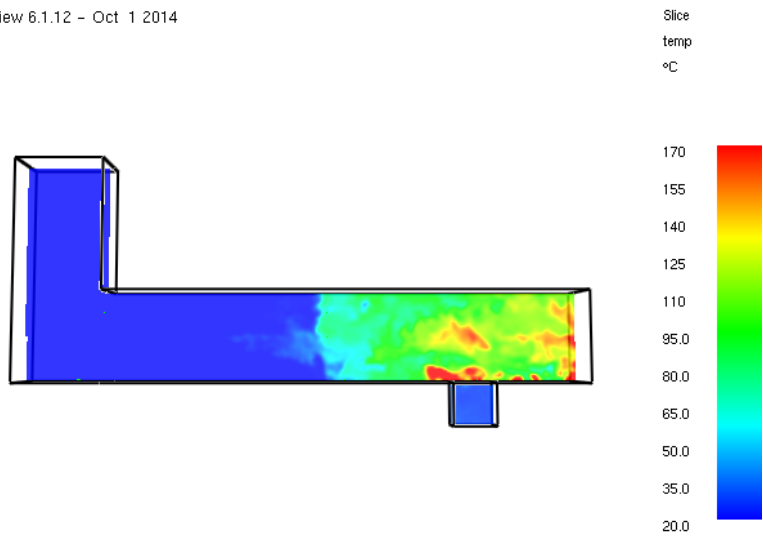
Figur L20. Sikt vid 2m ovan golvnivå vid tiden 200s.



Figur L21. Sikt vid 5m ovan golvnivå vid tiden 200s.



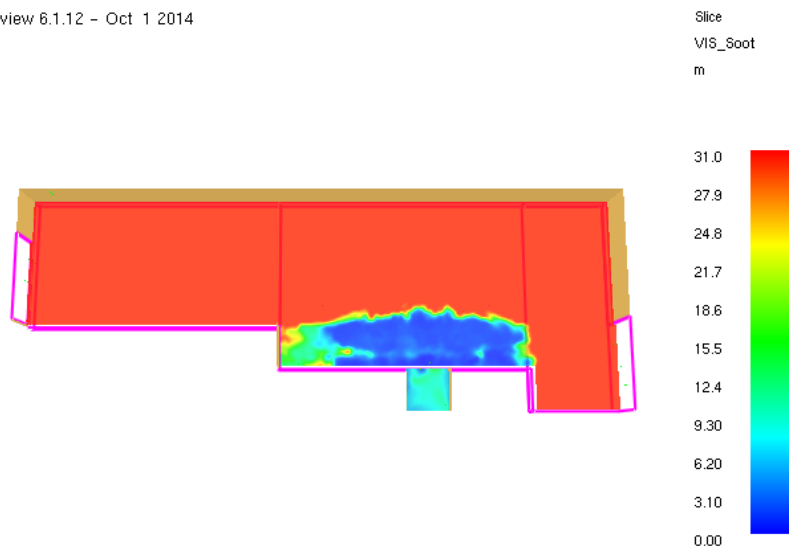
Figur L22. Temperatur vid 2m ovan golvnivå vid tiden 200s.



Figur L23. Temperatur vid 5m ovan golvnivå vid tiden 200s.

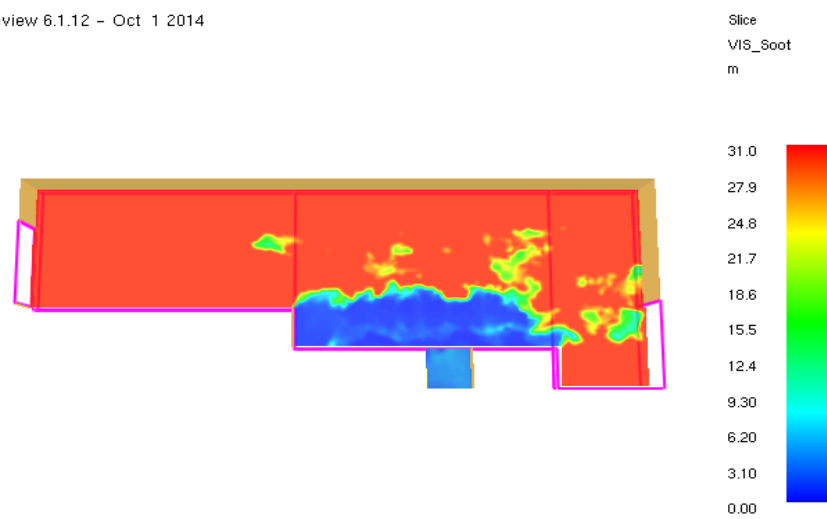
Resultat Uteplatsbrand, alternativ placering

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014

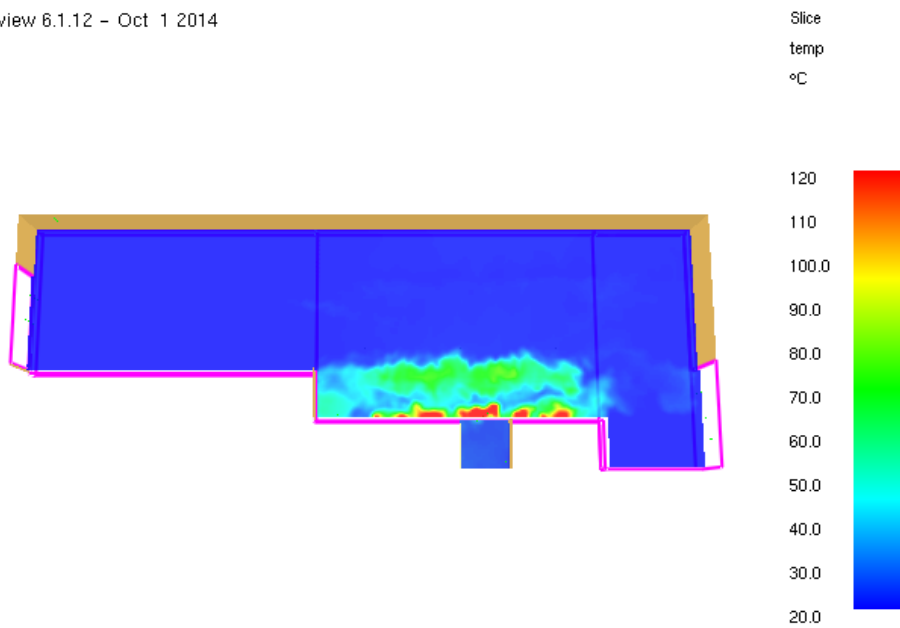


Figur L24. Sikt vid 5m ovan golvnivå vid tiden 150s.

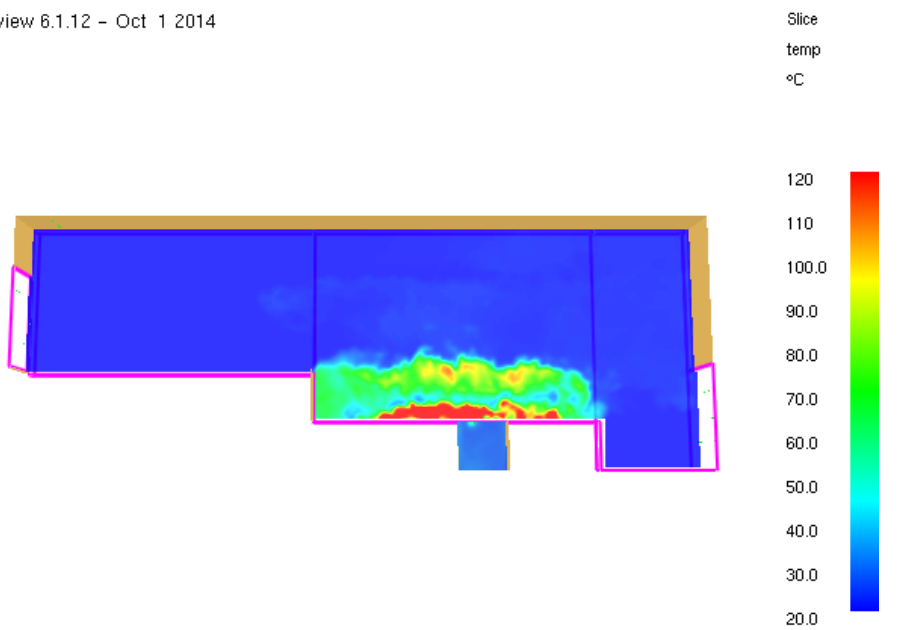
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Figur L25. Sikt vid 5m ovan golvnivå vid tiden 200s.



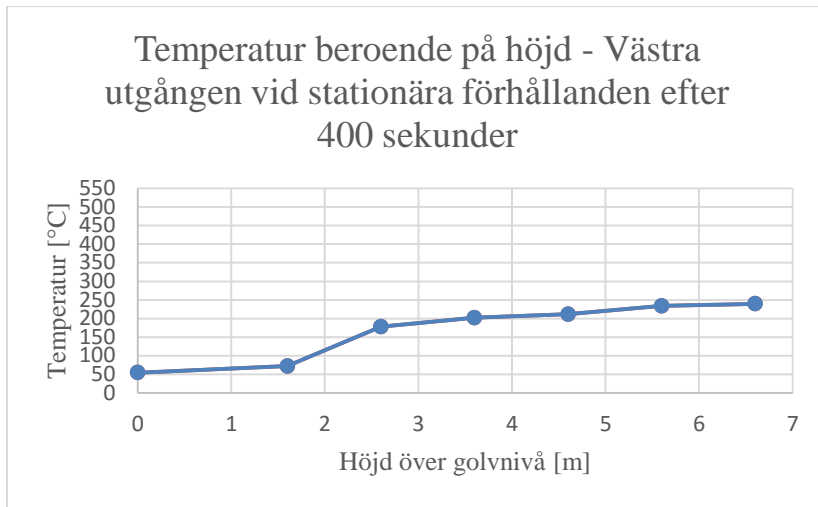
Figur L26. Temperatur vid 5m ovan golvnivå vid tiden 180s.



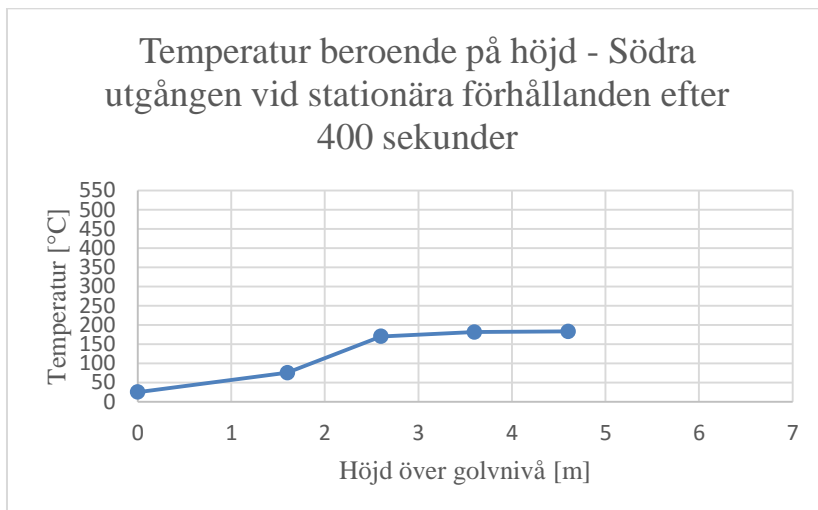
Figur L27. Temperatur vid 5m ovan golvnivå vid tiden 230s.

Resultat lägenhetsbrand, brandgasluckor ur funktion

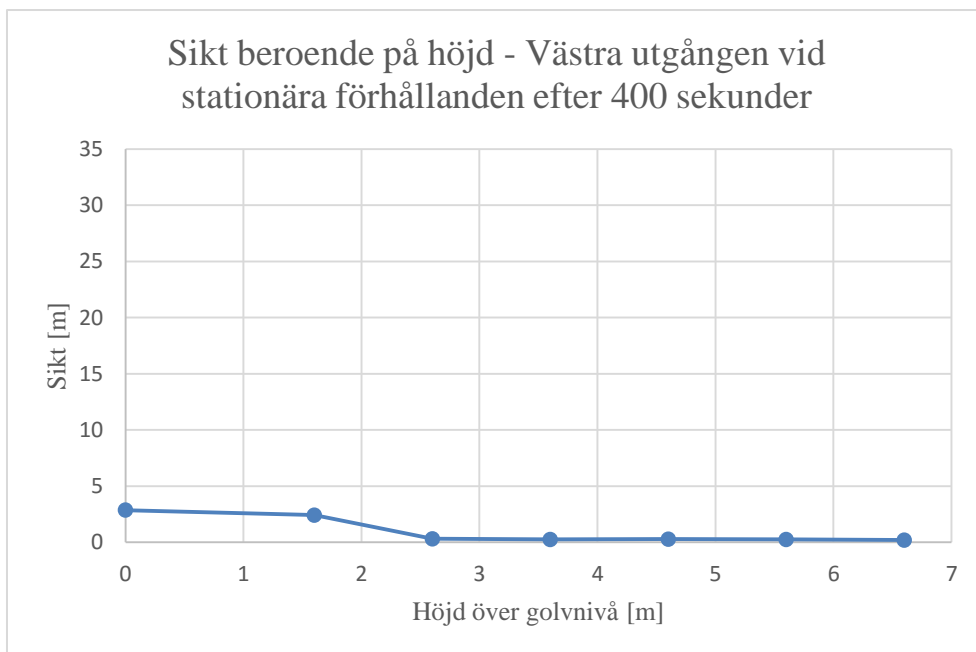
Då brandgasluckorna var ur funktion, för brandscenario I, erhöles följande resultat.



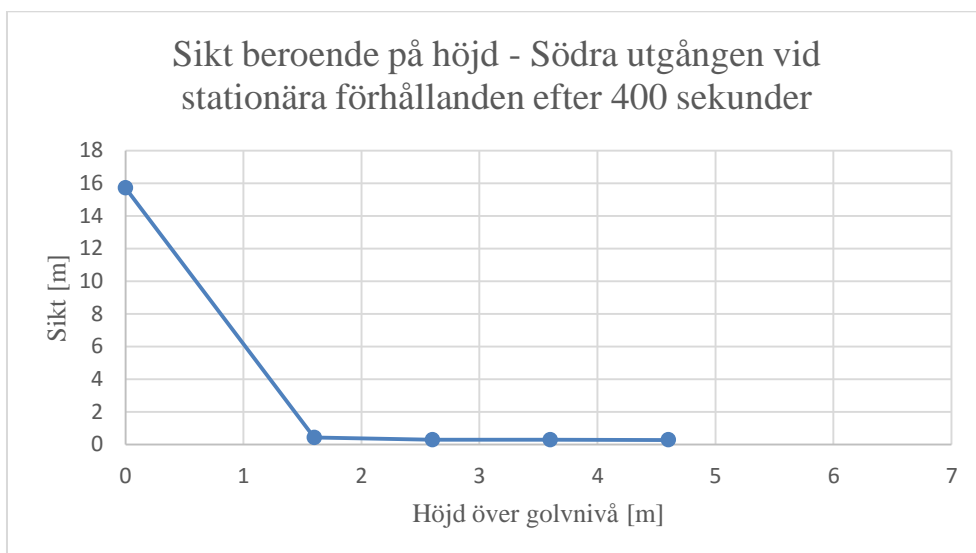
Figur L28. Temperatur över höjden, vid den västra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.



Figur L29. Temperatur över höjden, vid den södra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.

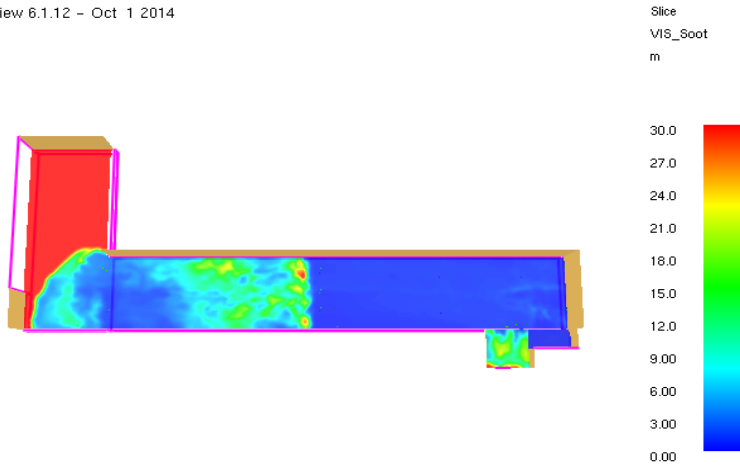


Figur L30 Sikt över höjden, vid den västra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.



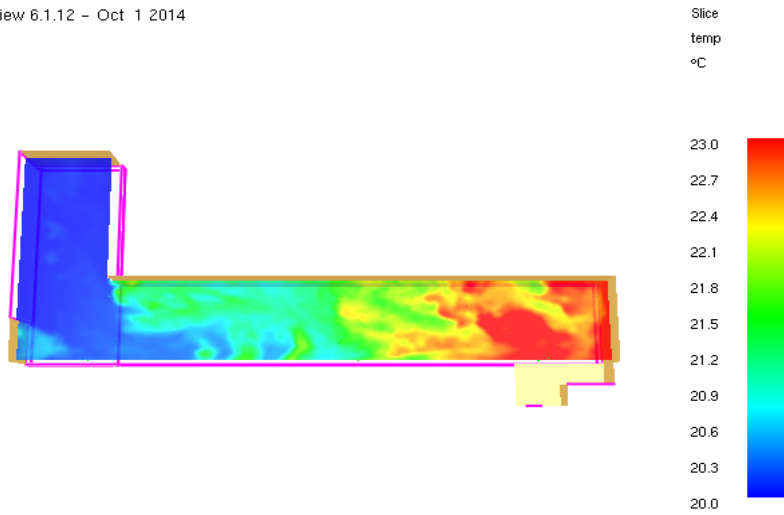
Figur L31. Sikt över höjden, vid den södra utgången, då brandgasluckorna var ur funktion, från FDS.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



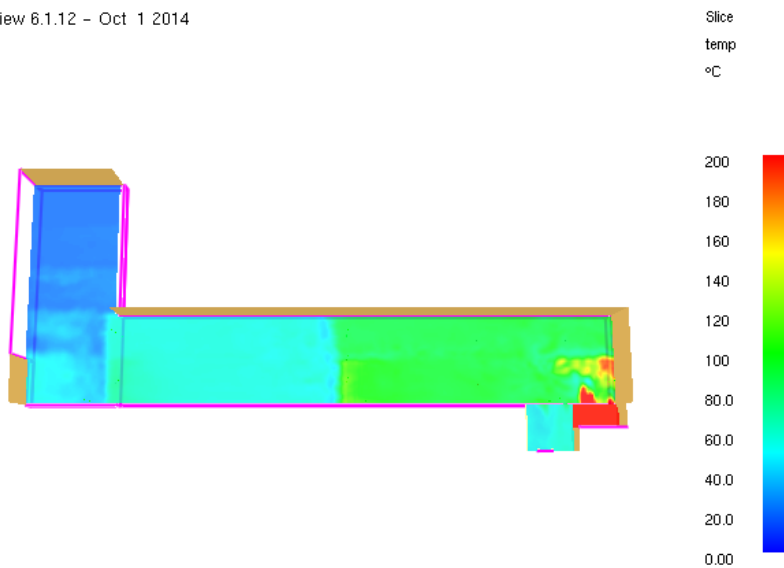
Figur L32. Sikt vid 5m ovan golvnivå vid tiden 70s, då det bedöms vara "kritisk sikt" i lägenheten brevid.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Figur L33 Temperatur vid 2m ovan golvnivå vid tiden 600s.

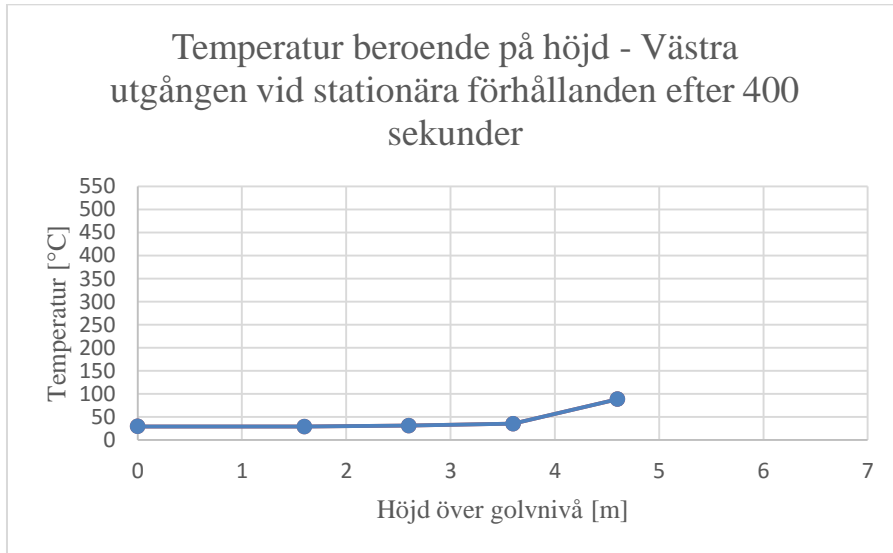
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



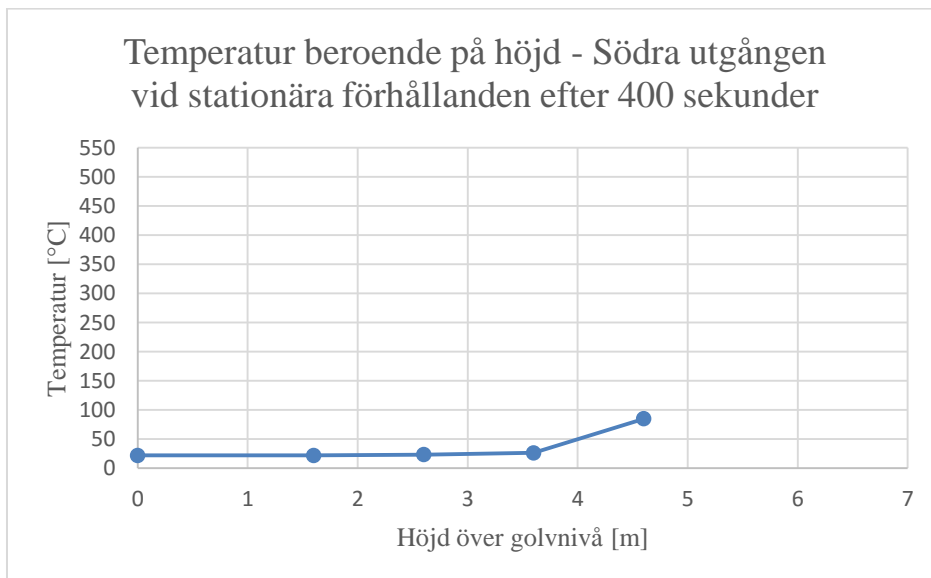
Figur L34. Temperatur vid 5m ovan golvnivå vid tiden 360s.

Resultat lägenhetsbrand, gardiner ur funktion

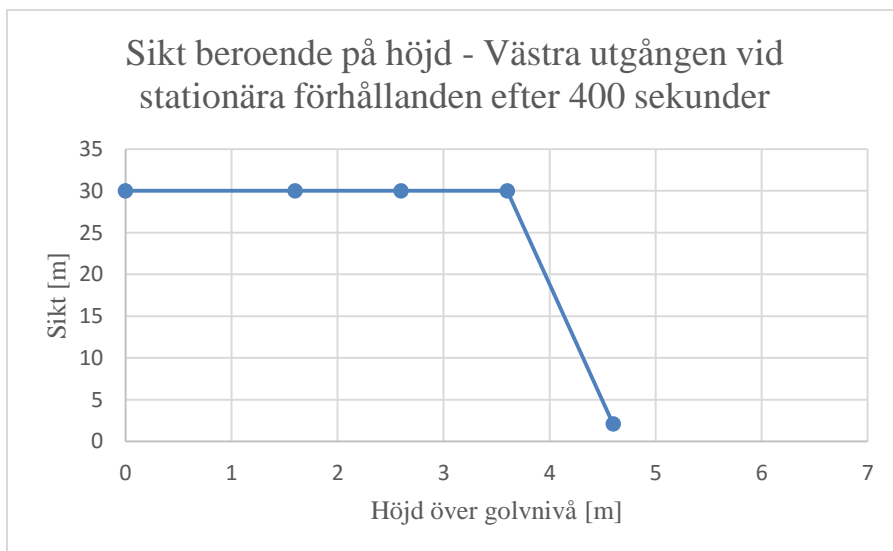
Nedan presenteras de resultat som erhållits fördels scenariot av brandscenario I då gardinerna var ur funktion.



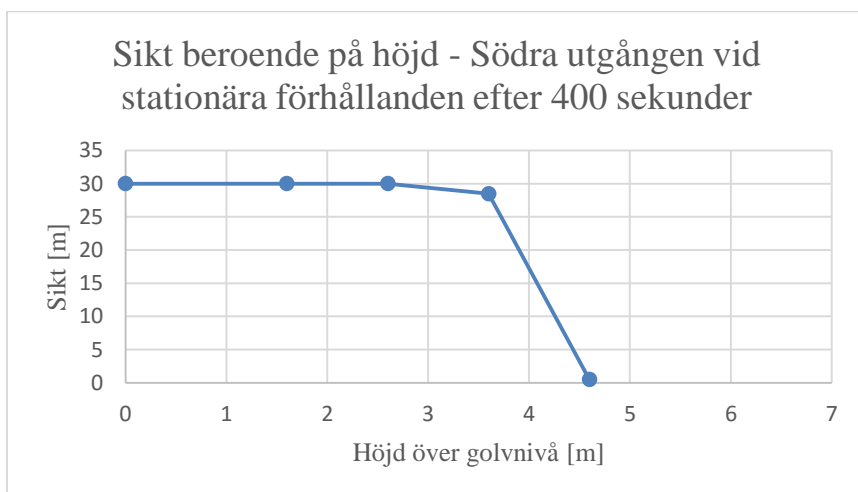
Figur L35. Temperatur över höjden, vid den västra utgången, då skugggardinerna var ur funktion, från FDS.



Figur L36. Temperatur över höjden, vid den södra utgången, då skugggardinerna var ur funktion, från FDS.

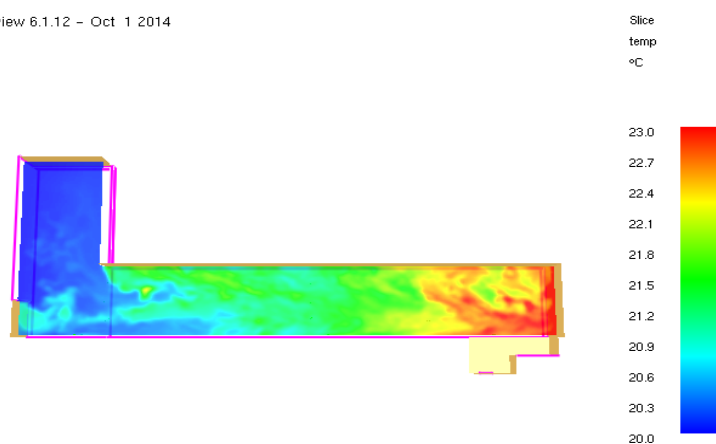


Figur L37. Sikt över höjden, vid den västra utgången, då skuggardinerna var ur funktion, från FDS.



Figur L38. Sikt över höjden, vid den södra utgången, då skuggardinerna var ur funktion, från FDS.

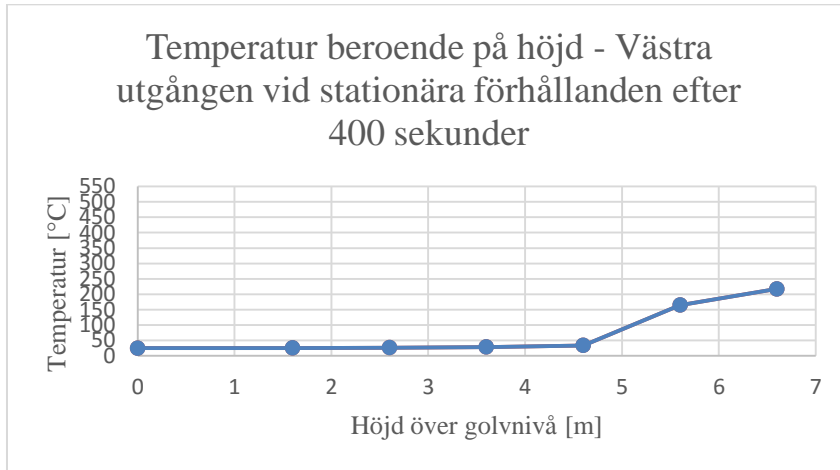
Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



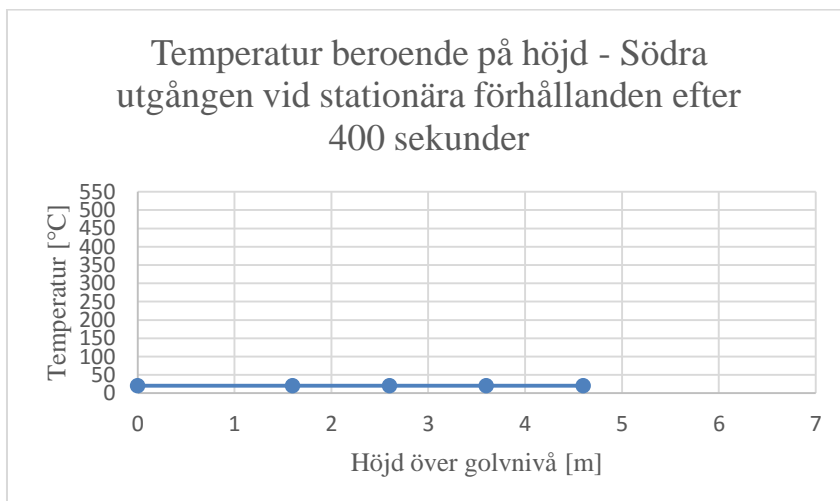
Figur L39. Temperatur vid 2m ovan golvnivå vid tiden 600s.

Resultat lägenhetsbrand, tilluft begränsad

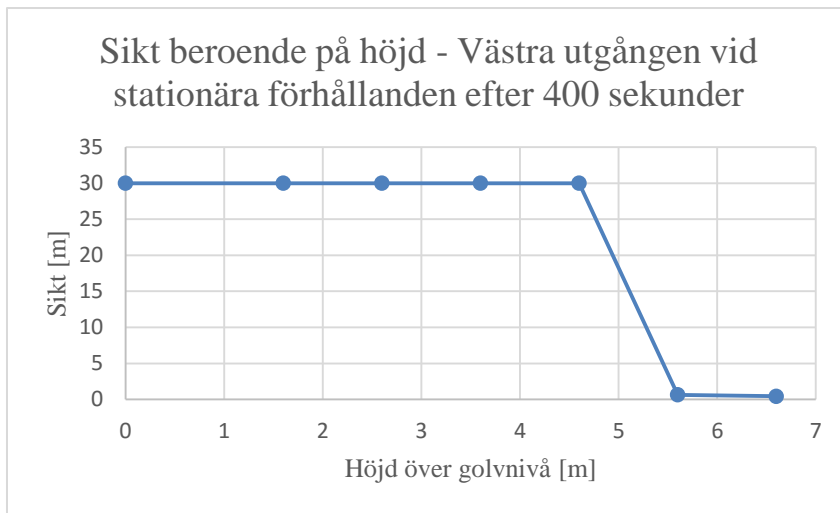
Nedan presenteras de resultat som erhållits vid simulering av delscenariot då tilluften begränsats för brandscenario I



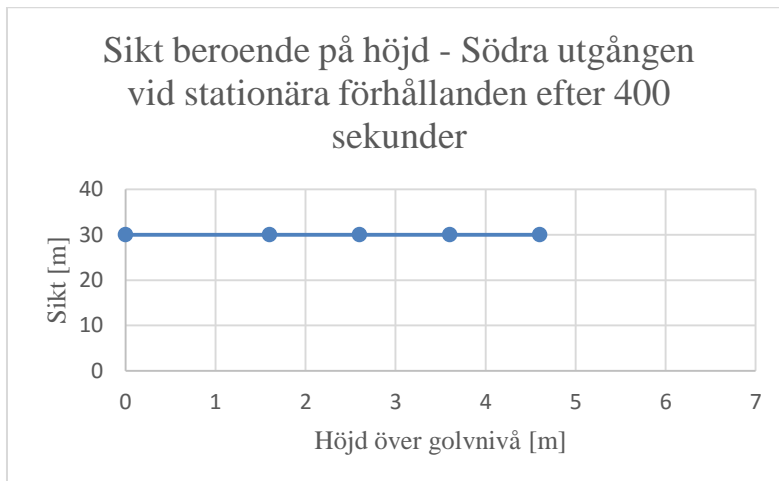
Figur L40. Temperatur över höjden, vid den västra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.



Figur L41. Temperatur över höjden, vid den södra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.



Figur L42. Sikt över höjden, vid den västra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.

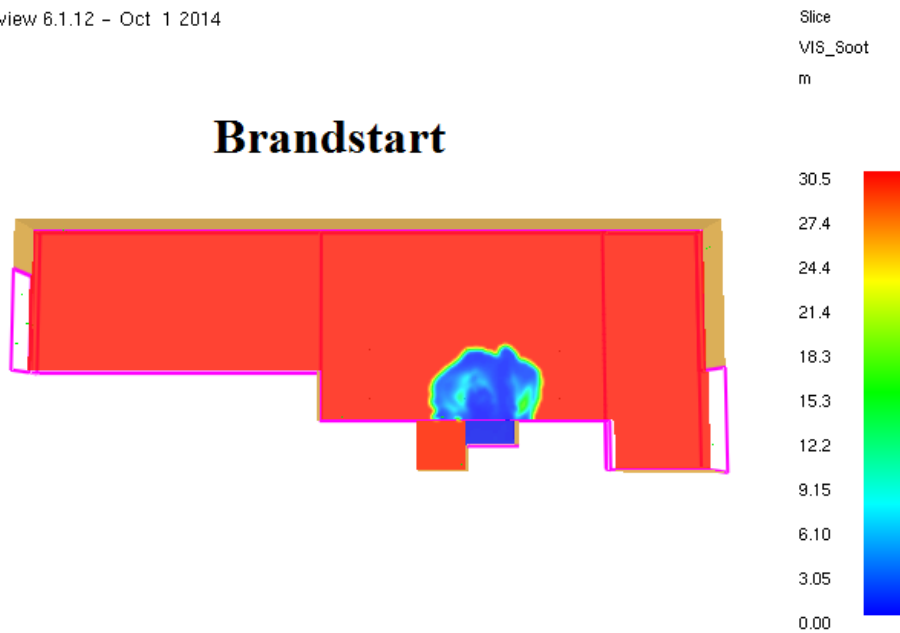


Figur L43. Sikt över höjden, vid den södra utgången, då tilluften begränsats, från FDS.

Resultat lägenhetsbrand, alternativ placering

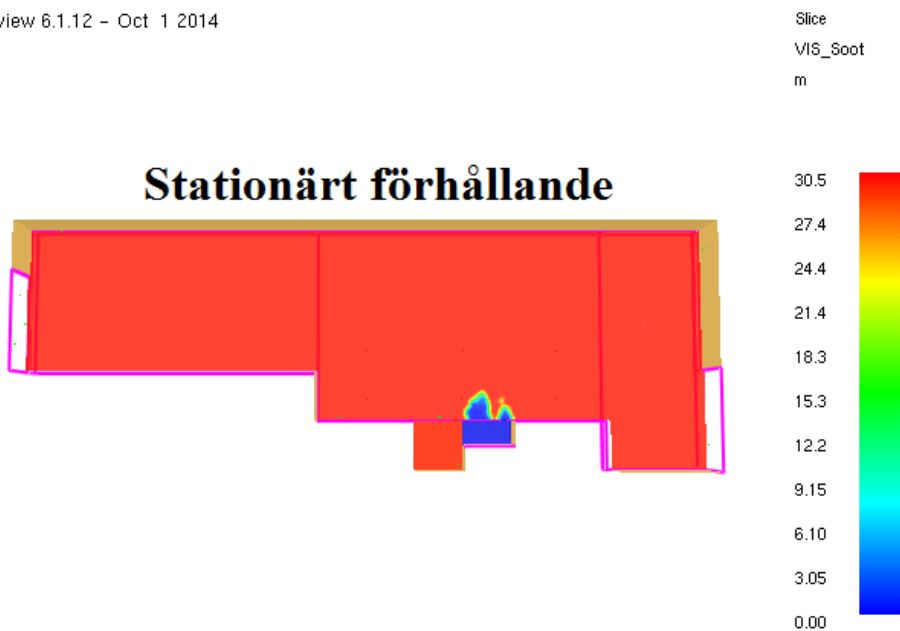
I nedanstående figurer, L44-45, presenteras de smokeview bilder som beskriver sot-profilerna för lägenhetsbranden, då den är placerad i en del av glasgatan där rumsvolymen är större än i grundscenariot.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Figur L44. Sikt vid 5 m ovan golvnivå vid brandstart.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Frame: 255

Time: 153.0

Figur L45. Sikt vid 5m ovan golvnivå vid stationärt förhållande.

mesh: 1

Bilaga M- Känslighetsanalys Pathfinder

Nedan i Tabell M1-M5 kan resultatet av de olika simuleringarna i Pathfinder ses.

Tabell M1. Förflyttningstider samt fördelningar för scenariot "dagtid, normalfall".

Dagtid	Tid [s]	Fördelningar loftgångslägenheter	Fördelningar Glasgata
"Grundtest"	72	50 % vuxna rapport + 50 % barn rapport + 1 äldre par (rapport) på varje loftgång	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport
Test 2	116	50 % vuxna fördelning + 50 % barn fördelning + 1 äldre par (konstant) på varje loftgång	15 % äldre konstant + 40 % vuxna fördelning + 45 % barn fördelning
Test 3	115	50 % vuxna konstant + 50 % barn konstant + 1 äldre par (konstant) på varje loftgång	15 % äldre konstant+ 40 % vuxna konstant + 45 % barn konstant

Tabell M2. Förflyttningstider samt fördelningar för scenariot "natttid, normalfall".

Natttid	Tid [s]	Fördelningar loftgångslägenheter	Fördelningar glasgata
"Grundtest"	94	50 % vuxna rapport + 50 % barn rapport + 1 äldre par (rapport) på varje loftgång	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport
Test 2	105	50 % vuxna konstant + 50 % barn konstant + 1 äldre par (rapport) på varje loftgång	15 % äldre rapport + 40 % vuxna konstant + 45 % barn konstant
Test 3	144	50 % vuxna fördelning + 50 % barn fördelning + 1 äldre par (konstant) på varje loftgång	15 % äldre konstant + 40 % vuxna fördelning + 45 % barn fördelning
Test 4	128	50 % vuxna konstant + 50 % barn konstant + 1 äldre par (konstant) på varje loftgång	15 % äldre konstant+ 40 % vuxna konstant + 45 % barn konstant
Test 5	90	100 % vuxna konstant	100 % vuxna konstant

Tabell M3. Förflyttningstider för blockerade dörrar för scenariot "natttid, normalfall".

Natttid, "Grundtest"	Tid [s]
Alla utrymningsvägar fria	94
Blockerad dörr 1	94
Blockerad dörr 2	94
Blockerad dörr 3	94
Blockerad dörr 4	112
Blockerad dörr 5	132
Blockerad dörr 6	94
Blockerad dörr 7	94
Blockerad dörr 8	94
Blockerad dörr 9	96
Blockerad dörr 10	105
Blockerad dörr 11	114

Tabell M4. Förflyttningstider samt fördelningar för scenariot "dagtid, event".

Event	Tid [s]	Fördelning loftgångslägenheter	Fördelning glasgatan
"Grundtest"	182	50 % vuxna rapport + 50 % barn rapport	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport
Test 2	175	50 % vuxna konstant + 50 % barn konstant	15 % äldre konstant + 40 % vuxna konstant + 45 % barn konstant
Test 3	207	50 % vuxna fördelning + 50 % barn fördelning	15 % äldre konstant + 40 % vuxna fördelning + 45 % barn fördelning
Test 4	156	100 % vuxna konstant	100 % vuxna konstant
Test 5	179	50 % vuxna konstant + 50 % barn konstant	50 % vuxna konstant + 50 % barn konstant
Test 6	139	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport, uniformt fördelade överallt.	
Test 7	124	15 % äldre rapport + 40 % vuxna rapport + 45 % barn rapport, slumpvist fördelade överallt.	

Tabell M5. Förflyttningstider för blockerade dörrar för scenariot "dagtid, event."

Event, "Grundtest"	Tid [s]
Alla utrymningsvägar fria	182
Blockerad dörr 1	186
Blockerad dörr 2	195
Blockerad dörr 3	221
Blockerad dörr 4	221
Blockerad dörr 5	182
Blockerad dörr 7	182
Blockerad dörr 6	193
Blockerad dörr 8	182
Blockerad dörr 9	182
Blockerad dörr 10	182
Blockerad dörr 11	182