

Brandteknisk riskvärdering av Falkenbergs Ishall

Stina Dufva

Johanna Fransson

Andreas Hansen

August Sandgren

Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet

Rapport 9502, Lund 2017



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering

Falkenbergs ishall

Kristineslättshallén 1

311 46 FALKENBERG

Stina Dufva

Johanna Fransson

Andreas Hansen

August Sandgren

Lund 2017-05-31

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

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Falkenbergs Ishall

Rapport/Report

9502

Författare/Authors

Stina Dufva
Johanna Fransson
Andreas Hansen
August Sandgren

Antal sidor/Number of pages

143 (Inklusive bilagor/Including appendices)

Bilder/Pictures

Bilderna i rapporten är fotograferade av författarna själva./The pictures in the report are photographed by the authors.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Handledare

Daniel Nilsson

Kontaktperson

Joakim Karlsson Lauridsen, ÅF

Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046 – 222 73 60

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

brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety

Lund University

P.O. Box118

SE-211 00Lund

Telephone: +46 46 222 73 60

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

brand@brand.lth.se

Abstract

The aim of this report is to perform a fire safety evaluation in terms of personal safety of an ice hockey arena located in Falkenberg. The building consists of an ice hockey rink, bleachers, changing rooms and some storage areas and is used by schools, sport clubs and the public. To identify fire scenarios that would challenge the building an initial risk analysis was performed. Three fire scenarios were chosen for further study from the analysis. These scenarios were analyzed in terms of evacuation time and available time for evacuation. The times were estimated by using computer simulation programs and hand calculations. This report concludes that some measures have to be taken in order to maintain an acceptable level of the fire safety. If these measures are taken the allowed number of persons in the arena could be increased.

Keywords

Ice hockey rink, Arena, Fire safety evaluation, Personal safety, Risk analysis, Evacuation time, Available time, Fire scenario, Human safety, Pathfinder, Argos, Fire Dynamics Simulator

Nyckelord

Ishockeyrink, Ishall, Brandteknisk riskvärdering, Personsäkerhet, Riskanalys, Utrymningstid, Tillgänglig tid, Brandscenario, Pathfinder, Argos, Fire Dynamics Simulator

Förord

Denna rapport ingår i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) som ges av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Ett särskilt tack riktas till *Daniel Nilsson*, Universitetslektor vid Avdelningen för Brandteknik, LTH, som genom sin handledning varit till stor hjälp under arbetets gång. Vi vill även tacka *Joakim Karlsson Lauridsen*, Brandskyddskonsult, ÅF, för det varma mottagandet i Falkenberg och för den hjälp han har gett under arbetets gång.

Ett stort tack riktas också till Avdelningen för Brandteknik på Lunds Tekniska Högskola för hjälp med kunskap och material under arbetets gång.

Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att göra en brandteknisk riskvärdering av Falkenbergs ishall och utvärdera det befintliga brandskyddet med avseende på personsäkerhet. Arbetet ingår i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) som ges av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Falkenbergs ishall är belägen i Kristinebergsområdet i Falkenberg. Byggnaden omfattar 3500 m² och används av idrottsföreningar, skolor och allmänheten.

I rapporten kontrollerades och utvärderades det befintliga brandskyddet i ishallen. Genom en grovanalys identifierades 24 potentiella brandscenarier. Av dessa scenarier valdes tre ut för ytterligare analys. De utvalda scenarierna, även kallat de dimensionerande bränderna, simulerades och beräknades med hjälp av FDS, Argos och handberäkningar för att få tiden till kritiska förhållanden. Med hjälp av Pathfinder erhöles utrymningstiden. Resultaten av analyserna visar att brandskyddet som finns idag inte är tillräckligt. För att uppnå ett tillfredställande brandskydd ges ett antal åtgärdsförslag. Följande åtgärder *ska* genomföras för att brandskyddet ska vara acceptabelt i Falkenbergs ishall:

- ◆ Dörrstängare på kiosken och på samtliga dörrar i korridoren
- ◆ Ingen förvaring i korridoren och framför nödutgångar
- ◆ Alla dörrar ska kunna öppnas till sin fulla bredd
- ◆ Salta eller byta ut materialet på golvet mellan isrinken och förvaringsutrymmet för ismaskinen

Nedanstående åtgärdsförslag *bör* genomföras i syfte att ge brandskyddet en robusthet.

- ◆ En detektor i kiosken

Det finns önskemål om att öka det tillåtna personantalet för att kunna ordna större matcher. I dagsläget får inte personantalet överstiga 250 personer. Genomförs de föreslagna åtgärderna som *ska* göras är brandskyddet tillräckligt säkert för att 320 personer befinna sig i ishallen samtidigt.

Akronymer

Förkortning	Förklaring
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd
BBR	Boverkets Byggregler
BGS	Brandgasspjäll
CAD	Computer-Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
IDA	Indikatorer, Data och Analys
LA	Luftbehandlingsaggregat
LES	Large Eddy Simulation
LUNARC	Lund University Numeric Intensive Computation Application Research Center
NIST	National Institute of Standards and Technology
RTI	Response Time Index
SFPE	Society of Fire Protection Engineers

Nomenklatur

Beteckning	Förklaring	Enhet
A_o	Ventilationsöppningarnas area	m^2
A_t	Total omslutningsyta inklusive ventilationsöppningar	m^2
c_p	Specifik värmekapacitet	J/kgK
E	Strålningsdos	kJ/m^2
D	Avståndet från flamkälla till den punkt vilket strålning beräknas i	m
D	Ekvivalent bränslediameter	m
D^*	Karakteristisk branddiameter	m
$D_{0,10log}$	Optisk densitet	dB/m
g	Tyngdacceleration	m/s^2
H_o	Ventilationsöppningarnas höjd	m
M	Molmassa	g/mol
m	Massa	kg
\dot{m}_a	Massflödet luft	kg/s
L	Längsta avståndet mellan ett samplingshål och detektor	m
L_1	Brandens kortsidas längd	m
L_2	Brandens långsidas längd	m
P	Tryck	Pa
POD	Partikelformig optisk densitet	m^2/g
\dot{Q}	Effekt	kW
\dot{Q}_{fo}	Effekt som krävs för övertändning	kW
\dot{Q}_{fuel}	Den maximala effekten som kan uppnås med bränslet som begränsande faktor	kW
\dot{Q}_{peak}	Maximal effekt	kW

\dot{Q}_{vent}	Den maximala effekten ett utrymme kan uppnå med ventilation som begränsad faktor	kW
Q^*	Dimensionslös effektutveckling	-
\dot{q}''	Strålningsnivå per kvadratmeter	kW/m ²
\dot{q}''_{cr}	Kritisk strålningsnivå per kvadratmeter	kW/m ²
R	Allmänna gaskonstanten	J/molK
S	Faktor för att beräkna synfaktor	-
S_0	Rökpotential	dB/m
T	Temperatur	°C
T_g	Gastemperatur	°C
T_∞	Temperatur för omgivande luft	°C
t	Tid	s
t_{fo}	Tid till övertändning	s
y	Yield	-
α	Faktor för att beräkna synfaktor	-
α	Tillväxthastighet	kW/s ²
ΔH	Förbränningsentalpi för fullständig förbränning	kJ/kg
ΔH_{eff}	Effektiv förbränningsentalpi	kJ/kg
δx	Cellstorlek i FDS	m
ε	Emissivitet	-
v	Lägsta tillåtna flödes hastighet ett samplingsystem	m/s
ρ	Densitet	kg/m ³
ρ_∞	Densitet för omgivande luft	kg/m ³
σ	Stefan Boltzmanns konstant	W/m ² K ⁴
ϕ	Synfaktorn	-
χ	Strålningsfraktion	-

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	- 1 -
1.1 Syfte	- 1 -
1.2 Mål	- 1 -
1.3 Avgränsningar	- 1 -
1.4 Metod	- 2 -
2 Objektbeskrivning	- 3 -
2.1 Verksamhetsbeskrivning	- 3 -
2.2 Utformningen	- 3 -
3 Befintligt brandskydd	- 13 -
3.1 Brandcellsindelning.....	- 13 -
3.2 Utrymning	- 14 -
3.3 Ytskikt	- 15 -
3.4 Ventilationssystem	- 16 -
3.5 Brandtekniska installationer	- 16 -
3.6 Räddningsinsats.....	- 17 -
3.7 Observerade brister	- 17 -
4 Grovanalys	- 19 -
4.1 Statistik.....	- 19 -
4.2 Brandscenarier.....	- 20 -
4.3 Riskvärdering	- 27 -
4.4 Övriga risker.....	- 28 -
5 Funktionella krav av byggnaden	- 29 -
5.1 Utrymningstid.....	- 29 -
5.2 Tillgänglig tid	- 30 -
5.3 Kritiska förhållanden.....	- 30 -
6 Datormodeller.....	- 33 -
6.1 FDS.....	- 33 -
6.2 Argos	- 34 -
6.3 Pathfinder	- 34 -
6.4 DetAct-T2.....	- 34 -
7. Brand i förvaringsutrymme under läktaren	- 35 -
7.1 Beskrivning	- 35 -
7.2 Metod	- 35 -
7.3 Effektkurva.....	- 36 -

7.4 Utrymningstid.....	- 37 -
7.5 Tillgänglig tid.....	- 38 -
7.6 Sammanställning av resultat.....	- 43 -
7.7 Känslighetsanalys.....	- 44 -
7.8 Åtgärdsförslag.....	- 47 -
8. Brand i kiosk.....	- 49 -
8.1 Beskrivning.....	- 49 -
8.2 Metod.....	- 50 -
8.3 Effektkurva.....	- 52 -
8.4 Utrymningstid.....	- 52 -
8.5 Tillgänglig tid.....	- 54 -
8.6 Sammanställning av resultat.....	- 60 -
8.7 Känslighetsanalys.....	- 61 -
8.8 Åtgärdsförslag.....	- 63 -
9. Brand i hockeyförråd.....	- 65 -
9.1 Beskrivning.....	- 65 -
9.2 Metod.....	- 65 -
9.3 Effektkurva.....	- 67 -
9.4 Utrymningstid.....	- 67 -
9.5 Tillgänglig tid.....	- 69 -
9.6 Sammanställning av resultat.....	- 70 -
9.7 Känslighetsanalys.....	- 71 -
9.8 Åtgärdsförslag.....	- 73 -
10. Fallerande system.....	- 75 -
10.1 Brand i förvaringsutrymme under läktaren.....	- 75 -
10.2 Brand i kiosk.....	- 76 -
10.3 Brand i hockeyförråd.....	- 77 -
10.4 Åtgärdsförslag.....	- 77 -
11. Tillåtet personantal.....	- 79 -
12. Diskussion.....	- 81 -
12.1 Osäkerheter.....	- 81 -
12.2 Nuvarande brandskydd och inverkan av åtgärdsförslag.....	- 82 -
13. Sammanfattning av åtgärdsförslag.....	- 85 -
Referenser.....	- 87 -
Bilaga A – Översiktsritning.....	- 89 -

Bilaga B – Statistik.....	- 91 -
Bilaga C – FDS indata.....	- 93 -
Bilaga D – Pathfinder.....	- 105 -
Bilaga E – Framtagning av effektkurva, förvaringsutrymme under läktaren.....	- 109 -
Bilaga F – Känslighetsanalys för läktarbranden.....	- 111 -
Bilaga G – Beräkningar för läktarbranden känslighetsanalys	- 117 -
Bilaga H – Framtagning av effektkurva, kiosk	- 119 -
Bilaga I – Handberäkning på strålning.....	- 123 -
Bilaga J – Framtagning av effektkurva, hockeyförråd	- 125 -
Bilaga K – Argos indata	- 129 -
Bilaga L – Toxiciteten för Argosimuleringar	- 133 -
Bilaga M – Indata Argos efter åtgärdsförslag	- 141 -

1 Inledning

Detta arbete omfattar en brandteknisk riskvärdering av Falkenbergs ishall. Det befintliga brandskyddet utvärderas och vid bristande brandskydd presenteras åtgärdsförslag.

Falkenbergs ishall byggdes år 2009 och konsultföretaget ÅF utförde då en förenklad dimensionering. Det tillåtna personantalet i byggnaden är 250 men den lokala räddningstjänsten har senare godkänt personantalet till 300 om det anmälts i förväg och om brandvakter finns på plats. Det finns önskemål om att öka det tillåtna personantalet för att kunna använda ishallen för större matcher och träningsläger.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att göra en brandteknisk riskvärdering och med hjälp av beräkningar och simuleringar utvärdera det befintliga brandskyddet i Falkenbergs Ishall med avseende på personsäkerhet.

1.2 Mål

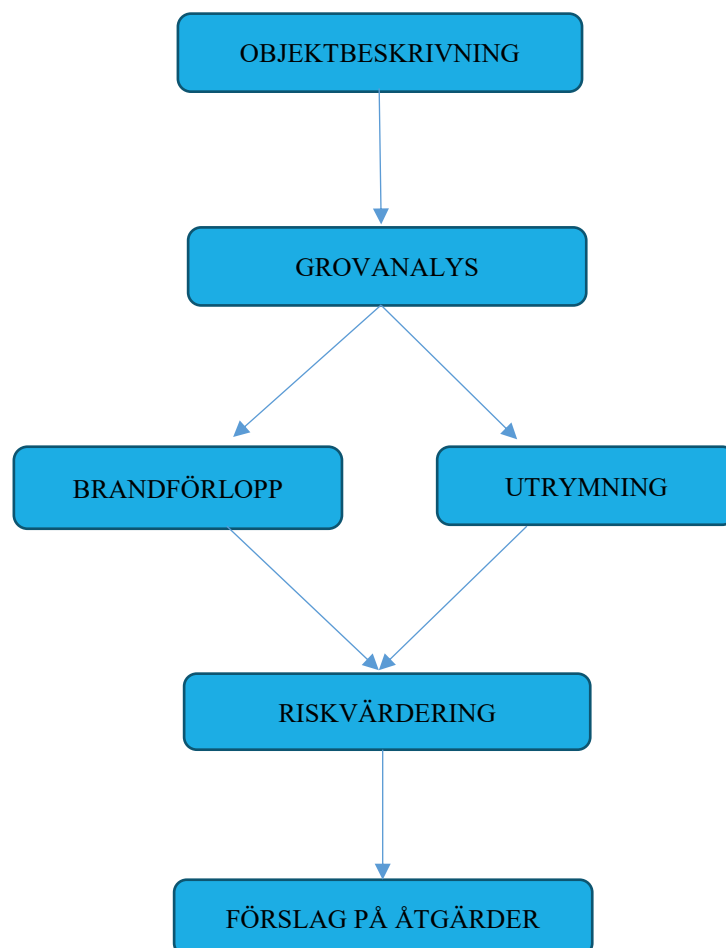
Målet med rapporten är att utvärdera personsäkerheten med avseende på utrymning och fastställa om det är möjligt att öka det tillåtna personantalet. Om säkerhetsnivån i ishallen inte anses vara tillräckligt hög ska förslag på åtgärder läggas fram. Rapporten ska kunna användas som underlag för hur stort det tillåtna personantalet får vara.

1.3 Avgränsningar

I detta arbete ligger fokus på personsäkerhet vilket innebär att skador på miljö och egendom inte har beaktats. Risker för utsläpp av farliga ämnen, till exempel ammoniak, har inte beaktats utan arbetet är inriktat på brandrisker.

1.4 Metod

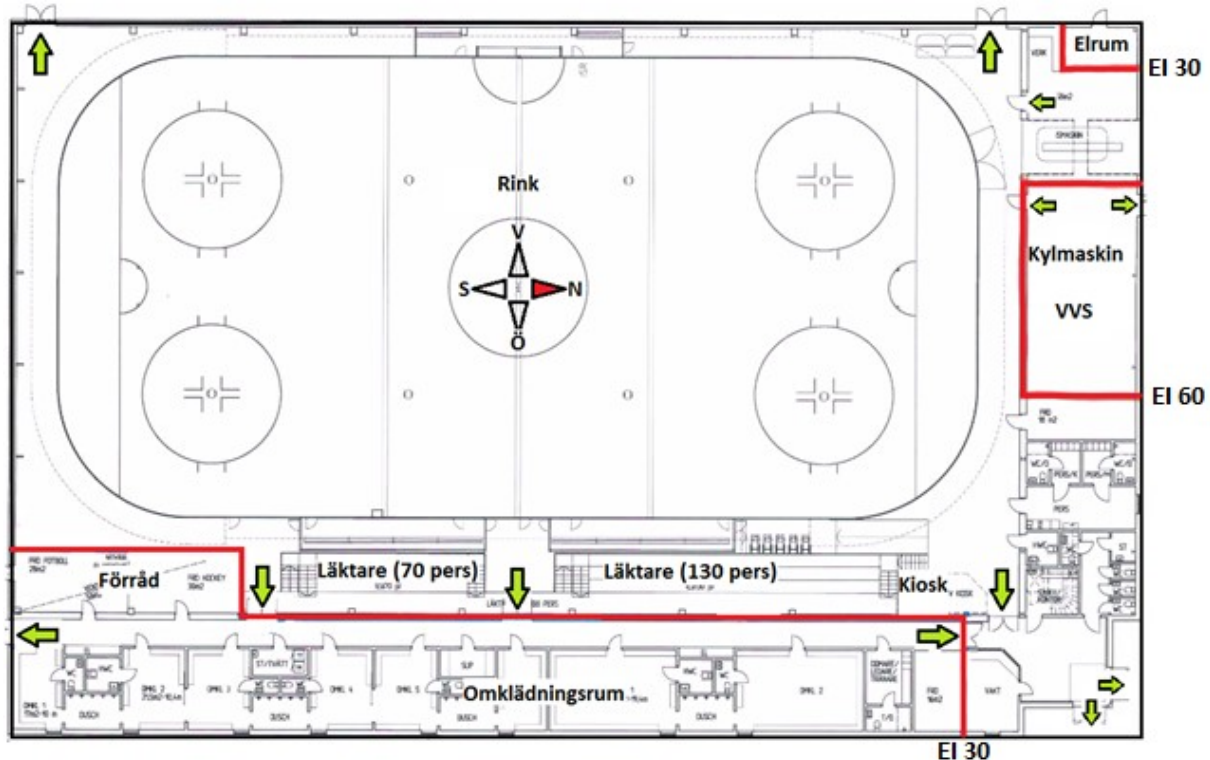
Först genomfördes ett besök på anläggningen för att skapa en uppfattning om utformningen av ishallen och vilka brandscenarier som var de mest troliga och värsta som skulle kunna ske. I Figur 1 beskrivs tillvägagångssättet där det första som gjordes efter besöket var att skriva inledning och objektbeskrivning. I beskrivning av objektet och det befintliga brandskyddet beskrivs ishallen tillräckligt detaljerat för att någon som inte varit där ska förstå dess utformning. När objektbeskrivningen och befintligt brandskydd var klart påbörjades en grovanalys i vilken troliga brandscenarier identifierades. Sedan uppskattades konsekvens och sannolikhet för varje scenario som placerades i en riskmatris. Från grovanalysen valdes brandscenarier som ansågs utmana byggnaden och täcka in många andra scenarier ut för vidare analys. För varje scenario togs effektkurvor fram och sedan användes handberäkningar och datorprogram för att beräkna tillgänglig tid och utrymningstid. För de scenarier där utrymningstiden översteg den tillgängliga tiden togs åtgärdsförslag fram vilka sedan validerades. En känslighetsanalys genomfördes för de parametrar som ansågs vara mest osäkra. I ett ytterligare scenario undersöktes effekten av fallerande system. Tillåtet personantalet bestämdes utifrån resultatet.



Figur 1 - Flödesschema som beskriver arbetsgången genom arbetet.

2 Objektbeskrivning

Falkenbergs ishall är belägen i Kristinebergssområdet i Falkenberg. Byggnaden omfattar 3500 m² och består av ett plan med installationsvind. Ishallen är indelad i fem brandceller och den största brandcellen utgörs av själva ishallen där det även finns en läktare. Korridor med anslutande förråd och omklädningsrum utgör en egen brandcell och i övrigt utgör elektronikrum, fläktrum och kylmaskinrum egna brandceller. I Figur 2 nedan visas en principskiss av ishallens utformning. På figuren finns brandcellsgränser och utrymningsvägar utmärkta, samt en kompassros som visar ishallens orientering. Notera att fläktrummet inte är utmärkt på principskissen då det är beläget på plan två. I Bilaga A finns en större ritning över objektet



Figur 2 - Ishallens utformning, där brandcellsgränser samt utrymningsvägar finns utmärkta.

I avsnitten nedan ges en beskrivning av vilken typ av verksamhet som bedrivs i ishallen. En genomgång görs även för utformningen av varje brandcell.

2.1 Verksamhetsbeskrivning

Falkenbergs ishall är utformad för sportevenemang och brandskyddet har inte dimensionerats med hänsyn till annan verksamhet så som konserter och utställningar. Främst bedrivs idrottsverksamhet för idrottsföreningar och skolor och vid vissa tider är ishallen även öppen för allmänheten. Ibland anordnas större idrottsevenemang så som hockeymatcher. I ishallen finns en kiosk med försäljning av bland annat varmkorv och kaffe. Ingen alkoholförsäljning förekommer då alkoholtillstånd saknas.

2.2 Utformningen

I följande avsnitt görs en genomgång av varje brandcell. Dels beskrivs utformningen av varje brandcell och dels vilka förhållanden som rådde vid tidpunkten för platsbesöket. Med detta avses till exempel placering av lös inredning och tillgänglighet till utrymningsvägar.

2.2.1 Ishallen

Falkenbergs ishall utgörs i huvudsak av en rink och läktare. Rinken är en fullstor ishockeyrink som mäter 60×30 m² och totalt omfattar rinken och läktaren en area på ungefär 65×40 m². Lokalen har ett sadeltak med en takhöjd på ungefär 10 meter i mitten och 6 meter på sidorna. Takstolarna består av limträbalkar och ytskikten runt rinken och läktaren består i huvudsak av stående träpanel. Innertaket utgörs av en täckplåt. I Figur 3 nedan visas ett foto taget i ishallens sydöstra hörn i vilket bland annat rinken, takkonstruktionens utförande samt ytskikt syns.



Figur 3 – Vy från ishallens sydöstra hörn.

Ishallen är dimensionerad för ett personantal på 250 personer och majoriteten av personerna som vistas i ishallen kommer troligen att befinna sig på läktaren. Läktaren är belägen på ishallens östra sida och är uppdelad i två sektioner. Läktaren är utförd i en limträkonstruktion och uppbyggd i fyra nivåer. Vid besöket fanns papperskorgar utplacerade med jämna mellanrum på läktaren. Läktarens utformning framgår av Figur 4 nedan där en del av läktarens norra sektion visas. Varje nivå på läktaren har ett djup på ungefär 0,8 meter förutom den översta nivån som har ett djup på ungefär 1,5 meter. Den södra läktarsektionen är knappt 12 meter lång och den norra knappt 22 meter lång.



Figur 4 - Del av läktarens norra sektion.

Nedanför läktaren finns två spelarbås och mittemot, i ishallens västra del, finns utvisningsbås samt sekretariat. I spelarbåsen finns en heltäckande gummitatta samt bänkar utplacerade. I sekretariatet finns bord och stolar samt en ljudanläggning. I anslutning till den norra läktarsektionen finns även en plattform avsedd för personer med funktionsnedsättning. Plattformen är ungefär 2 meter bred och 4,5 meter lång. Den är upphöjd 0,5 meter och nås via en ramp som är 7 meter lång. Uppskattningsvis får det plats fem rullstolsburna personer på plattformen. I Figur 5 nedan visas plattformen med ett foto taget från ishallens norra del.



Figur 5 - Plattform avsedd för personer med funktionsnedsättning, vy från ishallens norra del.

Under läktaren finns utrymmen som kan nås via dörrar i läktarens kortsidor. Vid besökstillfället användes dessa utrymmen till förvaring och i utrymmena förvarades bland annat fyllda sopsäckar, en julgran av plast, kartonger, plaststolar, bord, kaffekokare och en grill. Under trappor som leder från läktarens södra sektion förvarades även gummitattor. I Figur 6 visas en del av förvaringsutrymmet under den norra läktarsektionen.



Figur 6 - Förvaringsutrymme under den norra läktarsektionen.

I samma brandcell som rink och läktare finns även huvudentré, toaletter, kontor, personalrum, kiosk, förråd samt verkstad och förvaring av ismaskin. Huvudentrén är belägen i byggnadens nordöstra hörn och i anslutning till entrén finns en reception samt toaletter. I receptionen finns bland annat kontorsutrustning så som skrivbord, stolar, bokhyllor dator och kopiator. Från entrén finns det möjlighet att gå genom en dörr in till läktare och rink, eller genom en annan dörr som leder till en korridor med omklädningsrum och förråd. Denna korridor utgör tillsammans med omklädningsrum och förråd en egen brandcell. Mellan entrén och läktaren finns en kiosk byggd i en träkonstruktion. Kioskens utformning och placering framgår av Figur 7. I fotot syns till vänster en nödutgång som leder till huvudentrén och till höger en del av norra läktarsektionen.



Figur 7 - Kiosken som är placerad till höger om huvudentrén och till vänster om den norra läktarsektionen.

I byggnadens norra del finns ett personalrum och förråd. I personalrummet finns ett litet pentry med mikrovågsugn och kaffekokare och bord och stolar finns uppställda i rummet. I det intilliggande förrådet förvaras skridskor och hockeyutrustning och det finns ett litet bord och stolar uppställt. I byggnadens nordvästra hörn finns ett utrymme där ismaskinen förvaras och detta utrymme hänger samman med en mindre verkstad. I verkstaden finns diverse redskap och verktyg och vid besöket förvarades även en grill i utrymmet. I Figur 8 nedan visas ismaskinen när den står i sitt förvaringsutrymme. När ismaskinen ska köras ut på rinkens öppnas en port till höger som inte syns på fotot.



Figur 8 - Ismaskin i sitt förvaringsutrymme.

Vid platsbesöket förvarades ishockeymål och en lastpall med spånskivor vid rinkens södra sida. I anslutning till nödutgången i ishalls nordvästra hörn fanns en soptunna, sopsäckar samt mål utplacerade. Dessa föremål blockerade delvis nödutgången, vilket framgår av Figur 9. Vid rinkens norra sida finns även den öppning som ismaskinen använder för att köra in på isen. Runt om denna öppning hade det bildats is vilket resulterade i att det var halt. Vid en nödsituation finns det risk att utrymning försvåras av detta och att delar av utrymningsvägen inte kan nyttjas.



Figur 9 - Nödutgång i ishalls nordvästra hörn.

Från ishallen kan utrymning direkt ut i det fria ske genom huvudentrén eller genom någon av de två nödutgångar som är placerade i den västra fasaden. Det finns även möjlighet att utrymma genom den brandcell som innefattar omklädningsrummen. Nödutgångarnas placering framgår av Figur 2.

2.2.2 Korridor och omklädningsrum

Den brandcell som omfattar korridor med anslutande omklädningsrum och förråd är belägen i byggnadens östra del. Korridoren är drygt 60 meter lång och längs den finns åtta omklädningsrum med egna toaletter och duschrum. I omklädningsrummen finns bänkar och papperskorgar utplacerade. I Figur 10 nedan visas ett av omklädningsrummen.



Figur 10 - Ett av omklädningsrummen.

Mellan omklädningsrummen finns två elektronikutrymmen, ett rum för städ och tvätt samt ett rum för slipning av skridskor. I rummet för städ och tvätt finns en tvättmaskin, torktumlare och städutrustning. Utöver det förvaras en del rengöringsmedel så som såpa och tvättmedel. I korridorens södra del finns två förråd som används för att förvara hockeyutrustning. I Figur 11 nedan visas ett foto taget i ett av förråden.



Figur 11 - Ett av förråden för hockeyutrustning.

Utrymning från omklädningsrummen kan antingen ske via korridoren ut i det fria genom en utgång i korridorens södra ände, eller via huvudentrén. Vid platsbesöket fanns det metallställ uppställda i korridoren vilka är avsedda för hockeyklubbbar.

2.2.3 Fläktrum

Fläktrummet är beläget ovanför hockeyförråden och nås via en dörr som finns i anslutning till läktarens södra del. Rummet har en yta på knappt 50 m² och utgör en egen brandcell. I utrymmet finns bland annat luftaggregat och mätutrustning för kontroll av ventilationssystemet.

2.2.4 Elrum

Elrummet utgör en egen brandcell och är placerat i byggnadens nordvästra hörn. Rummet har en yta på drygt 10 m² och är endast tillgängligt via en dörr på byggnadens utsida. I rummet finns bland annat proppskåp, kablar på kabelstege och annan elektrisk utrustning som krävs för drift av ishallen. Luften från ett samplande system går till detta rum där luften analyseras i detektorer.

2.2.5 Kylmaskin/vvs

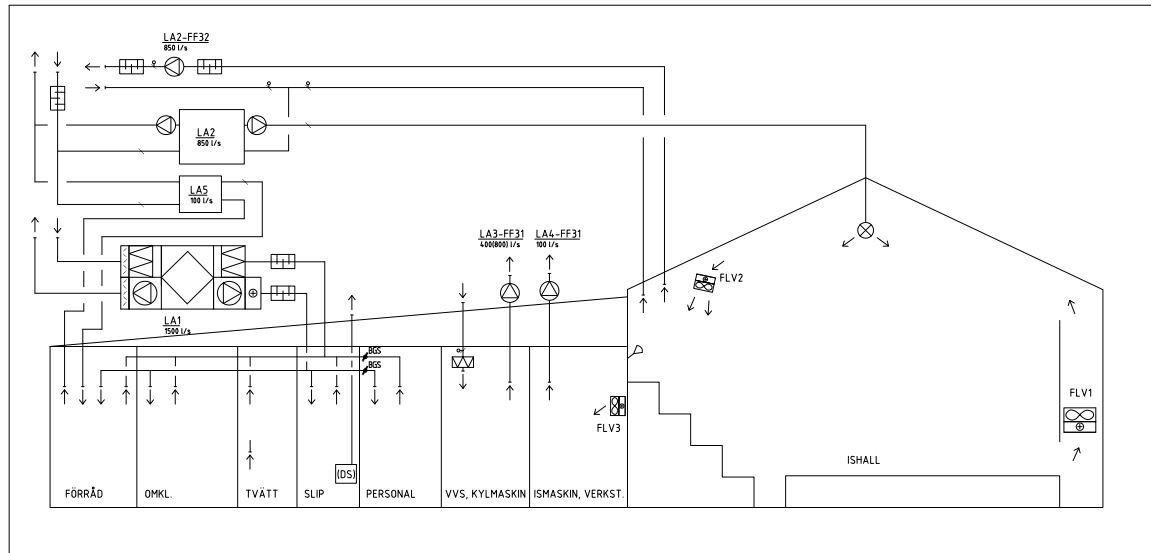
Kylmaskinrummet är utformat som en egen brandcell och utgörs av en yta på drygt 100 m². Rummet är beläget i ishallens norra del och det finns tillgång till två utrymningsvägar, en ut till det fria och en in till ishallen. Rummet har ett flertal installationer i form av varmvattenberedare, påfyllningskärl, expansionskärl, filter, pumpar och en kylanläggning. Kylanläggningen, vilken visas i Figur 12, använder ammoniak som köldmedium.



Figur 12 – Kylanläggning.

2.2.6 Ventilationssystem

Ventilationssystemet består av totalt fem luftbehandlingsaggregat (LA) vilka försörjer olika delar av byggnaden. I detta avsnitt ges en beskrivning av systemet och dess uppbyggnad framgår ur Figur 13.



Figur 13 – Ventilationssystemets utformning.

LA1 försörjer förråd, omklädningsrum, tvätttrum, sliprum och personalrum med luft. Personalrummet ligger i en annan brandcell och därmed försörjer luftaggregatet två olika brandceller med luft. Det finns brandgasspjäll som skiljer brandcellerna åt. Luften hämtas utifrån för att gå igenom en värmeväxlare och in i de tidigare nämnda rummen. Frånluften från dessa rum passerar sedan värmeväxlaren än en gång varpå den lämnar systemet. LA1 har ett totalt luftflöde på 1500 l/s.

LA2 försörjer ishallen genom att dels hämta luft utifrån men även en del av den luft som redan finns i ishallen tillåts återcirkulera. Dess totala luftflöde är 850 l/s. Både tilluft och frånluftskanaler är gemensamma för LA2 och LA5.

LA3 försörjer enbart kylmaskinrummet och har ingen koppling till de andra aggregaten, det totala flödet varierar mellan 400 till 800 l/s.

LA4 försörjer enbart verkstaden och flödet på pumpen är 100 l/s.

LA5 har som tidigare nämnts gemensamma kanaler med LA2, med avseende på till- och frånluft. Aggregatet försörjer enbart förråden i byggnaden med ett totalt flöde på 100 l/s.

3 Befintligt brandskydd

Brandskyddet i Falkenbergs ishall är utfört enligt förenklad dimensionering och inga avsteg har gjorts från Boverkets byggregler. Byggnaden är utförd i byggnadsteknisk klass Br2 vilket motiveras av våningsantal och verksamhet och innebär att byggnaden har ett måttligt skyddsbehov (Brandskyddsföreningen, 2016). Lokaltyperna i byggnaden är samlingslokaler samt utrymningsvägar. De regelverk som användes vid brandskyddsprojekteringen är:

- Boverkets byggregler 13
- Lag om skydd mot olyckor (2003:778)
- Arbetsmiljöverkets författningssamling (2000:42)
- Lag om brandfarliga och explosiva varor (1988:868)
- Boverkets författningssamling (2003:19) HIN 1 avseende brandlarmsinstallation

(ÅF-Infrastruktur AB, 2009).

3.1 Brandcellsindelning

Enligt ovan är ishallen indelad i fem brandceller vilka är avskilda i antingen brandteknisk klass EI 30 eller EI 60. Beteckningen E innebär integritet och I står för isolering. Den brandtekniska klassen EI betecknar att en byggnadsdel är avskiljande och isolerande i minst ett visst antal minuter, vilket anges med ett tal efter beteckningen (Brandskyddsföreningen, 2016). I Tabell 1 nedan anges brandteknisk klass för respektive brandcell i byggnaden.

Tabell 1 - Brandteknisk klass för respektive brandcell.

Lokal	Brandteknisk klass
Kylmaskinrum	EI 60
Ishall inklusive personaldel och verkstad	EI 30
Korridor och omklädningsrum	EI 30
Fläktrum	EI 30
Elrum	EI 30

Samtliga dörrar som förbinder olika brandceller är utförda i brandteknisk klass EI 30-C förutom dörr mellan ishall och rum för kylmaskin/vvs som har klass EI 60-C.

Tilläggsbeteckningen C innebär att dörren är försedd med dörrstängare (Brandskyddsföreningen, 2016).

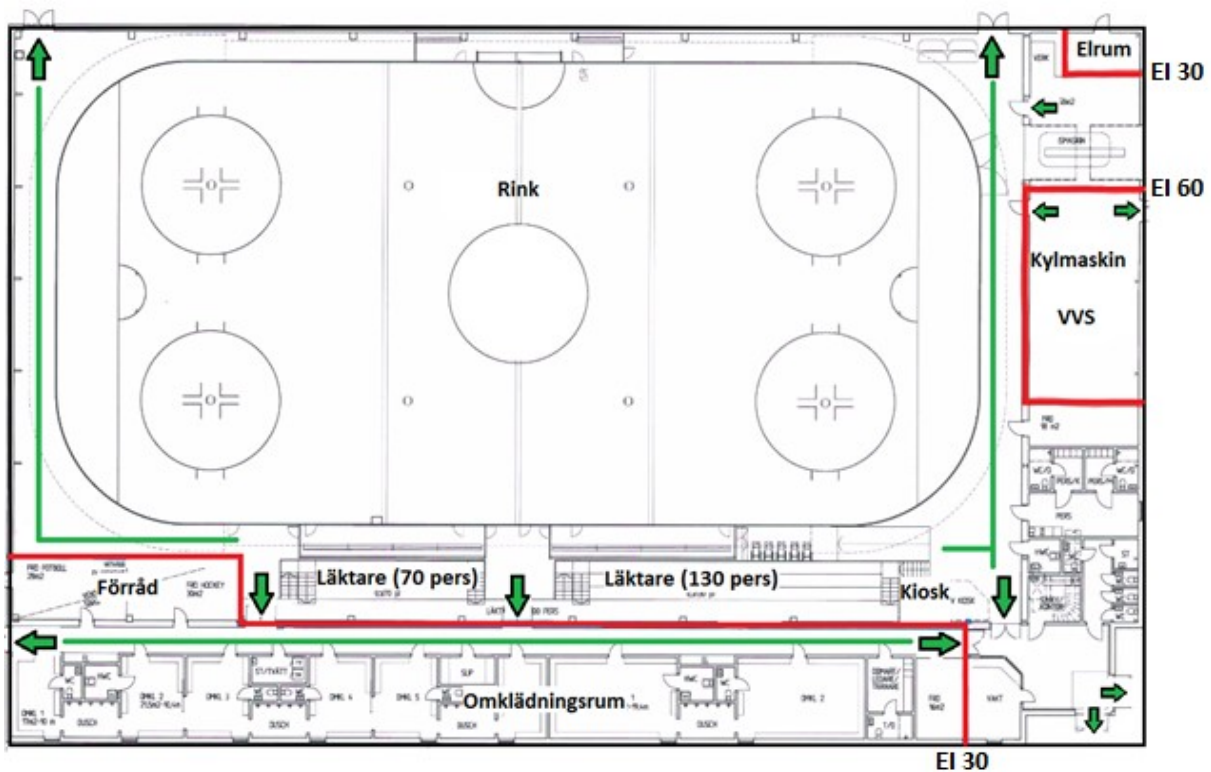
3.2 Utrymning

I Tabell 2 nedan redovisas hur utrymning är tänkt att ske från varje brandcell. I tabellen redovisas även dörrdimensioner för respektive nödutgång.

Tabell 2 - Utrymningsstrategi från varje brandcell.

Lokal	Utrymningsstrategi	Fri bredd
Kylmaskinrum	<ul style="list-style-type: none">– genom dörr in till ishall– genom dörr direkt ut i det fria	<ul style="list-style-type: none">– 0,9 m– 0,9 m
Ishall inklusive personaldel och verkstad	<ul style="list-style-type: none">– genom dörr ut till huvudentré och vidare ut i det fria– genom någon av de två nödutgångar direkt ut i det fria från byggnadens västra del– genom någon av de två nödutgångar som leder till korridor och omklädningsrum	<ul style="list-style-type: none">– 1,8 m– 1,0 m– 1,8 m
Korridor och omklädningsrum	<ul style="list-style-type: none">– utgång till det fria i korridorens södra ände– genom dörr till huvudentré och vidare ut i det fria	<ul style="list-style-type: none">– 0,8 m– 0,9 m
Fläktrum	<ul style="list-style-type: none">– genom dörr ut till ishall och sedan vidare till någon av de tillgängliga nödutgångarna	<ul style="list-style-type: none">– 0,8 m
Elrum	<ul style="list-style-type: none">– genom dörr direkt ut i det fria	<ul style="list-style-type: none">– 0,8 m

I Figur 14 redovisas den tänkta utrymningsstrategin, nödutgångarna är markerade med pilar.



Figur 14 - Utrymningsstrategi och nödutgångar.

Genomlysta vägledande markeringar finns i anslutning till samtliga nödutgångar från de utrymnen vilka klassificeras som samlingslokaler, det vill säga ishallen och omklädningsrummen. I de utrymnen som normalt sätt är låsta, så som kylmaskinrum och fläktrum finns efterlysande vägledande markeringar. Belysningen i genomlysta vägledande markeringar är driftsäkrad i 60 minuter vid brand och kabel till vägledande markering har utförts med funktionsklassad brandkabel (ÅF-Infrastruktur AB, 2009).

Dörrarna i utrymningsvägar är försedda med den beslagning som anges i Tabell 3 nedan.

Tabell 3 - Beskrivning av vilken beslagning som finns på dörrar i utrymningsvägar.

Placering	Beslagning
I ishallens västra fasad	Panikregel (SS-EN-1125)
Dörrar mot entré	Panikregel (SS-EN-1125)
Mot det fria från korridor	Vred

3.3 Ytskikt

Ytskikten inomhus i ishallen är utförda i lägst den klass som anges i Tabell 4 nedan. Vid klassificering av ytskikt bedöms risken för hastig flamspridning samt hur mycket rök som utvecklas. Först anges en bokstav A-F som anger krav på hur brännbart materialet får vara. A innebär obrännbart, B-D brännbart, E innebär att ett visst droppkrav uppfylls och F att inga krav ställs. Efter begynnelsebokstaven anges en rökklass s1-s3 där s1 är den bästa klassen. Slutligen anges en droppklass d0-d2 där d0 innebär att inga brännande droppar får avges (Brandskyddsföreningen, 2016).

Tabell 4 - Ytskiktssklassning för de olika lokaltyperna.

Lokaltyp	Yta	Ytskiktssklass
Samlingslokal och utrymningsväg	<ul style="list-style-type: none"> – Tak – Vägg – Golv 	<ul style="list-style-type: none"> – B-s1,d0 – B-s1,d0 – D_{fl}-s1
Teknikrum	<ul style="list-style-type: none"> – Tak – Vägg – Golv 	<ul style="list-style-type: none"> – B-s1,d0 – B-s1,d0 – D_{fl}-s1
Övriga rum	<ul style="list-style-type: none"> – Tak – Vägg – Golv 	<ul style="list-style-type: none"> – C-s2,d0 – D-s2.d0 – -

3.4 Ventilationssystem

I ventilationssystemet finns rökdetektorer placerade i in- och utlopp. Brandgasspjäll (BGS) är monterade så att personalrum skiljs åt från övriga rum som försörjs av samma luftbehandlingsaggregat. Samtliga rum i korridoren försörjs av samma luftbehandlingsaggregat och det finns inte brandgasspjäll mellan dessa rum. Ventilationssystemets utformning beskrivs i avsnitt 2.2.6.

3.5 Brandtekniska installationer

Det finns flertalet brandtekniska installationer i byggnaden. I följande avsnitt presenteras de olika installationerna.

3.5.1 Brandlarm

I byggnaden finns ett brandlarmsystem installerat som är utformat enligt SBF 110:6. Huvudsakligen används optiska rökdetektorer med undantag för vissa utrymmen så som tvätterum och ett fåtal toaletter där värmedetektorer finns installerade. Med undantag för kiosken finns detektorer placerade i samtliga utrymmen, inklusive utrymmena under läktarna. I ishallen finns ett samplande system installerat. Det samplande systemet är uppbyggt av fyra samplingsrör med fem till åtta samplingshål per rör. Detektorn till systemet finns i elrummet i byggnadens nordvästra hörn. Anledningen till att ett samplande system är lämpligt att ha i en ishall är det finns en risk för isbildning i kalla miljöer. Vid isbildning är det lättare att underhålla ett samplande system än punktdetektorer. Brandlarmet är sektionsvis adresserbart med sex sektioner. Ishallen täcks in av två sektioner, en i den västra delen och en i den östra. Elrum, verkstad och kylmaskinrum utgör en annan sektion. Entrén, omklädningsrummen och fläktrummet utgör egna sektioner. Brandlarmets centralapparat finns placerad i anslutning till huvudentrén och brandlarmet är vidarekopplat till räddningstjänsten. Brandlarmsknapp finns i personalrummet, i anslutning till brandlarmscentralen samt i receptionen.

Om en detektor aktiverar startar utrymningslarmet samt styrning av ventilationssystemet. Vidare tänds nödbelysning samt blixtljus och magnetuppställda dörrar stängs. Om två eller fler detektorer aktiverar stoppas övriga ljudanläggningar och räddningstjänsten larmas.

3.5.2 Nödbelysning

Nödbelysning finns installerat i samtliga utrymmen som allmänheten har tillträde till, det vill säga korridor vid omklädningsrum, entré, gångstråk inom ishallen samt utanför nödutgångar. Nödbelysningen är driftsäkrad under minst 60 minuter och aktiveras vid spänningsbortfall eller vid aktivering av centralt brandlarm (ÅF-Infrastruktur AB, 2009).

3.5.3 Utrymningslarm

Utrymningslarmet är utformat enligt SBF:s rekommendationer om utrymningslarm 2003. Aktivering sker antingen genom aktivering av centralt brandlarm eller med tryckknapp. Signalen är akustisk och det finns inget förinspelat talat meddelande. Förutom akustiska signaler finns optisk signal i hall och toaletter avsedda för personer med funktionsnedsättning. Utrymningslarmets funktion är vid strömbortfall säkerställd under minst 30 minuter. Matningen till utrymningslarmet är utförd i brandteknisk klass EI 30.

3.5.4 Övrigt

Det finns fyra inomhusbrandposter utplacerade i byggnaden. Två av dem är placerade i korridoren vid omklädningsrummen och de andra två är placerade i ishallen. Brandsläckare finns utplacerade i bland annat verkstaden, kylmaskinrummet, personalrummet samt receptionen.

3.6 Räddningsinsats

Brandstationen i Falkenberg är belägen drygt fyra kilometer från ishallen och räddningstjänstens framkomsttid beräknas vara mindre än 10 minuter. Uppställningsplatser finns i sådan omfattning så att avståndet mellan uppställningsplats och angreppspunkt är mindre än 50 meter. Det finns tillgång till brandpostnätet i anslutning till ishallen.

3.7 Observerade brister

Vid besöket upptäcktes några brister med det befintliga brandskyddet. Alla dörrar som går mellan korridoren och ishallen öppnas i motsatt riktning som utrymningsriktningen. Troligen har dörrarna utformats på detta sätt för att korridoren inte ska blockeras när de öppnas. Dörrarnas öppningsriktning skulle kunna påverka utrymningsförloppet negativt men det anses bättre att dörrarna öppnas inåt än att korridoren blockeras. Därför föreslås inget åtgärdsförslag att ändra dörrarnas slagriktning. Dessutom förväntas ingen köbildning uppstå vid dörrarna, eftersom trappor ner från läktarna troligen begränsar flödet av personer. En av dörrarna var även låst åt ett håll vilket måste åtgärdas.

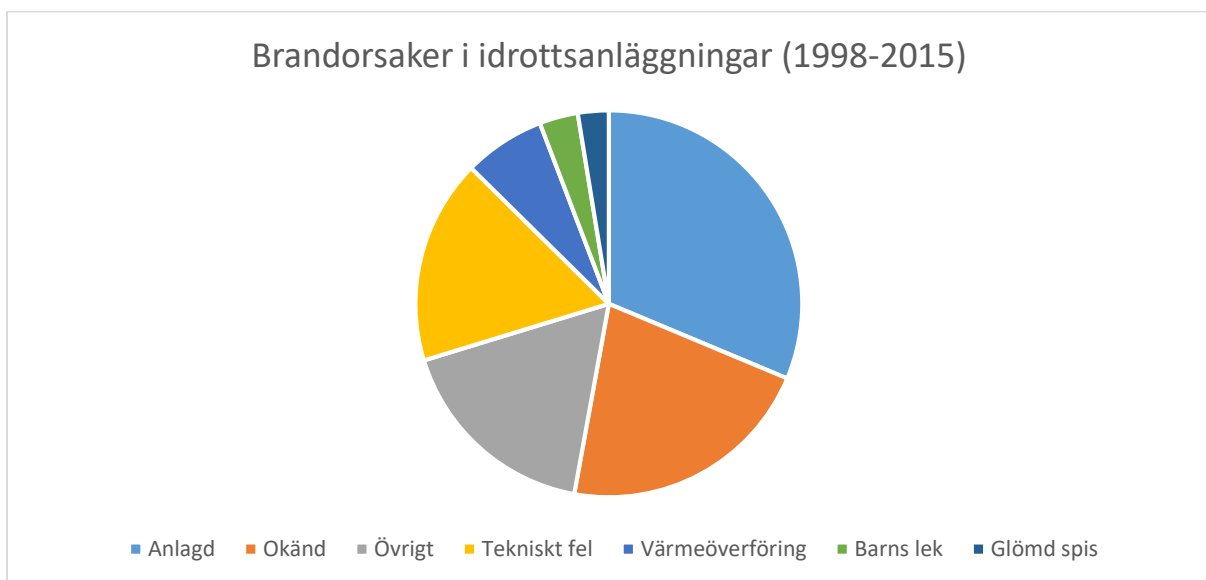
Vid den nordvästra utrymningsdörren i ishallen stod en stor soptunna med sopor runt omkring som gjorde att utrymningsvägen blev betydligt smalare. Det var även is vid den nordvästra nödutgången som gjorde att det blev halt. Samtliga nödutgångar måste vara tillgängliga och användbara till sin fulla bredd. Ett åtgärdsförslag är därför att inga föremål får förvaras vid nödutgångar och att hala golvytor ska åtgärdas.

4 Grovanalys

För att kunna välja ut brandscenarier som utgör en utmaning för byggnaden gjordes en grovanalys. För grovanalysen togs ett antal brandscenarier fram och med hjälp av statistik och analytiskt tänkande rangordnades scenarierna i en riskmatris. För varje brandscenario skattades sannolikheten och konsekvensen på en femgradig skala där fem innebär den högsta konsekvensen eller sannolikheten. Vid bedömningen av konsekvens beaktades främst hur utrymningsmöjligheterna påverkas av varje scenario. Sannolikheten bedömdes relativt mellan de olika scenarierna och är inga absoluta mått på den verkliga sannolikheten.

4.1 Statistik

Vid sannolikhetsbedömningen för varje brandscenario användes statistiskt underlag som hjälpmedel. Statistiken hämtades från statistikverktyget IDA som tillhandahålls av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. I IDA finns statistik från räddningstjänstens insatser mellan åren 1998 och 2015 och i databasen är det till exempel möjligt att hitta statistik för brandorsaker i olika typer av byggnader. I Figur 15 nedan presenteras brandorsakerna vid räddningstjänstens insatser till idrottsanläggningar (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2017). Diagrammet är baserat på medelvärden av antalet insatser per år mellan åren 1998 och 2015. De brandorsaker som i snitt hade mindre än två insatser per år slogs ihop till kategorin övrigt i diagrammet. Exempel på sådana brandorsaker är blixtnedslag, explosion, och självantändning. För fullständig statistik gällande antal insatser per år och brandorsak, se Bilaga B. Ur Figur 15 framgår att de vanligaste kända brandorsakerna i idrottsanläggningar är anlagd brand och tekniskt fel. Statistiken användes främst som ett hjälpmedel till en kvalitativ sannolikhetsbedömning och inga absoluta siffror användes. Anledningen till det är främst att det inte finns någon statistik specifikt för ishallar samt att det finns brister i statistiken från räddningstjänstens insatser. Dels skiljer sig rutinerna för inrapportering av insatsrapporter mellan olika räddningstjänster och dels finns bara statistik för de bränder där räddningstjänsten genomförde en insats.

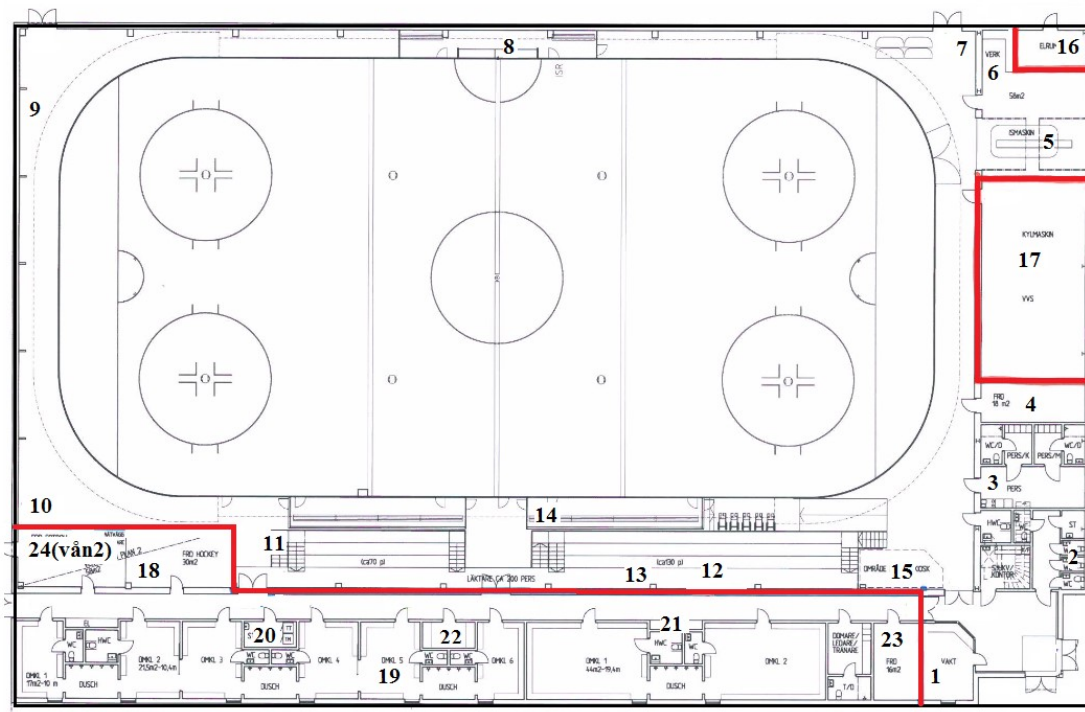


Figur 15 - Brandorsaker vid räddningstjänstens insatser till idrottsanläggningar (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2017).

4.2 Brandscenarier

Olika förutsättningar gäller för olika scenarier. I de bränder som sker i korridorer och omklädningsrum antas scenariot utspelas före eller efter en hockeymatch då det är som mest personer i denna del av bygganden. Övriga scenarier antas utspela sig under pågående hockeymatch eftersom större delen av människorna antas befinna sig på läktaren i en sådan situation. Eftersom rapporten främst ser till personsäkerhet är dessa situationer de mest relevanta.

Då brandlarm finns installerat i hela byggnaden förutsätts att samtliga bränder upptäcks i ett tidigt skede och att utrymning påbörjas därefter. Under varje brandscenario presenteras ett möjligt brandförlopp och hur utrymningen påverkas baserat på en kvalitativ bedömning. Enligt avsnitt 4.1 ovan är de vanligaste brandorsakerna i idrottsanläggningar anlagd brand och tekniskt fel. Vid bedömning av sannolikhet beaktas därför främst dessa brandorsaker. Totalt identifierades 24 brandscenarier. Brandsceniernas placering i byggnaden finns utmärkta i Figur 16.



Figur 16 – Brandsceniernas placering.

Brandscenario 1: Reception

I receptionen finns det kontorsutrustning så som hyllor med pärmar, skrivbord, dator och kopiator. Ett möjligt brandförlopp är att ett föremål i receptionen antänder och branden sprider sig till angränsande kontorsutrustning. En brandorsak i receptionen skulle kunna vara överhettning eller elfel i elektrisk utrustning så som en dator eller kopiator. Då receptionen normalt är låst föreligger ingen större risk för anlagd brand och sannolikheten för en brand i receptionen bedöms således till 3. Rökutvecklingen till följd av branden förhindrar utrymning genom huvudentrén och besökare måste förlita sig på övriga nödutgångar. Därför bedöms konsekvensen av en brand i receptionen till 3.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

Brandscenario 2: Toalett

En papperskorg på en toalett i anslutning till huvudentrén antänds. En brand på toaletten är troligen anlagd, har uppstått på grund av lek med eld eller rökning. Sannolikheten för detta scenario bedöms därför till 5. Brandens sprider sig inte och rökutvecklingen är begränsad. Utrymning via huvudentrén är fortfarande möjlig men några personer kanske väljer alternativa nödutgångar på grund av röken. Då samtliga nödutgångar fortfarande kan användas bedöms konsekvensen till 1. Detta scenario kan appliceras på övriga toaletter.

Sannolikhet: 5

Konsekvens: 1

Brandscenario 3: Personalrum

I personalrummet i ishallen finns ett pentry med bland annat kaffekokare och mikrovågsugn. En brand i personalrummet kan exempelvis uppstå genom ett fel på elektrisk köksutrustning. Då personalrummet normalt är låst är risken för en anlagd brand liten, därför bedöms sannolikheten för att en brand uppstår i personalrummet till 3. Ett brandförlopp skulle kunna börja genom att ett föremål i anslutning till pentryt börjar brinna och köksskåpen ovanför antänds. Det bildas mycket rök som kan komma ut i stora hallen. Röken hindrar inte utrymning men personer på läktaren väljer möjligen att inte utrymma genom huvudentrén eller nödutgången i ishallens nordvästra hörn, vilket gör att konsekvensen av detta scenario bedöms till 3.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

Brandscenario 4: Förråd bredvid personalrum

I förrådet bredvid personalrummet finns hockeyutrustning så som klubbor, skridskor och skyddsutrustning, det finns även bord och stolar i utrymmet. En brand som uppstår i förrådet skulle kunna bero på ett elfel och en anlagd brand är inte särskilt trolig då förrådet normalt är låst. Eftersom det finns begränsat med elektriska installationer i förrådet bedöms sannolikheten för att en brand uppstår till 2. Brandförloppet startar genom att ett föremål i förrådet börjar brinna och branden sprider sig till andra föremål. Rökutvecklingen från förrådet kan resultera i att utrymning inte kan ske genom den nordvästra nödutgången. Personer på läktaren måste utrymma via någon av de andra nödutgångarna och konsekvensen bedöms därför till 3.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3

Brandscenario 5: Ismaskin

Ismaskinen förvaras i verkstaden i ishallens nordvästra hörn. Branden i ismaskinen uppstår troligen på grund av överhettning eller tekniskt fel. Eftersom verkstaden normalt är låst är branden troligen inte anlags. Med detta sammanvägt bedöms sannolikheten till 3. Rökutvecklingen till följd av branden resulterar i att den nordvästra nödutgången inte kan nyttjas. Verkstaden ligger relativt långt bort från läktaren där den största personbelastningen finns och konsekvensen av denna brand bedöms till 3.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

Brandscenario 6: Verkstad

En brand startar i något föremål i verkstaden, till exempel i samband med slipning eller användning av elektriska verktyg. Då verkstaden normalt är låst är en anlagd brand inte särskilt trolig och sannolikheten bedöms till 4. En begränsad rökutveckling sker och rök sprider sig ut till ishallen. Utrymning via den nordvästra nödutgången är ej möjlig och konsekvensen bedöms till 3.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 3

Brandscenario 7: Soptunna

Precis intill den nordvästra nödutgången står en soptunna, sopsäckar samt ishockeymål. Något av dessa föremål antänds, troligen genom anlagd brand då det inte finns några uppenbara tändkällor i anslutning till föremålen. Sannolikheten för denna brand bedöms därför till 4. Då branden sker i direkt anslutning till den nordvästra nödutgången förhindras utrymning denna väg. Utrymning kan fortfarande ske genom övriga nödutgångar och konsekvensen för detta scenario bedöms till 3.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 3

Brandscenario 8: Sekretariat

Ett föremål i sekretariatet antänder och branden sprider sig eventuellt till angränsande föremål. Ljudanläggningen eller en dator kan utgöra en möjlig brandorsak. Då personer vistas i sekretariatet vid till exempel hockeymatcher bedöms risken för anlagd brand vara liten och sannolikheten bedöms därför till 2. Då sekretariatet inte ligger i anslutning till läktare eller nödutgång kan utrymning ske obehindrat genom samtliga nödutgångar vilket medför att konsekvensen bedöms till 1.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 1

Brandscenario 9: Spånskivor

Spånskivorna som ligger längs med den södra väggen av ishallen börjar brinna. Avsaknaden av elinstallationer vid spånskivorna innebär att branden troligen är anlagd. Då spånskivorna förmodligen är relativt svåra att antända bedöms sannolikheten till 3. Branden orsakar rökutveckling i det sydvästra hörnet, vilket innebär att nödutgången som är belägen i detta hörn inte går att nyttja. Utrymning kommer kunna ske via andra utrymningsvägar och konsekvensen bedöms till 3.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

Brandscenario 10: Målutrustning

Hockeymålet som är till för träning och som står i det sydöstra hörnet av ishallen börjar brinna. Branden är troligen anlagd då det inte finns någon elutrustning i anslutning till målet. Sannolikheten för branden bedöms därför till 4. Vägen till nödutgången i ishallens sydvästra hörn blockeras men andra nödutgångar förblir opåverkade och konsekvensen bedöms till 3.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 3

Brandscenario 11: Gummimattor

Gummimattorna som ligger under trappan vilken leder upp till den södra delen av läktaren börjar brinna. Avsaknaden av tändkällor innebär att branden troligen är anlagd och sannolikheten bedöms därför till 3. Det bildas tät rök och branden upptäcks eventuellt inte lika snabbt som en brand som är synlig från läktarplats. Personer som sitter på den södra läktarsektionen tvingas att utrymma norrut och utrymning via den sydvästra nödutgången och den södra utgången till korridoren omöjliggörs vilket gör att konsekvensen för detta scenario bedöms till 4.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

Brandscenario 12: Förvaringsutrymme under läktare

Något av de föremål som förvaras under läktaren börjar brinna och branden sprider sig till andra föremål i förvaringsutrymmet. Då utrymmet normalt är låst är ett elfel en troligare brandorsak än att branden är anlagd och därför bedöms sannolikheten för en brand under läktarna till 2. Branden kommer drabba hela den läktarsektion som det brinner under och rök kommer att spridas ut på läktaren genom de springor som finns i läktaren. Vid brand under den södra läktaren kommer utgången mellan den södra och norra läktaren inte vara tillgänglig. Detta baseras på att personer antagligen inte kommer välja att utrymma genom rök när andra utrymningsvägar är tillgängliga. Personer på den södra läktarsektionen kommer antagligen utrymma via den södra nödutgången eller nödutgången i ishallens sydvästra hörn. Personer på den norra läktarsektionen kommer antagligen gå från branden och utrymma via huvudentrén eller ishallens nordvästra nödutgång. På grund av den nödutgång som inte kommer vara tillgänglig samt att branden sker i nära anslutning till personerna på läktaren så bedöms konsekvensen till 5.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 5

Brandscenario 13: Papperskorg på läktare

En papperskorg i anslutning till läktaren börjar brinna och branden sprider sig till väggen. En sådan brand skulle troligen vara anlagd och sannolikheten bedöms därför till 3. Branden ger upphov till begränsad rökutveckling. Även om branden sker i nära anslutning till personer på läktaren bedöms konsekvensen till 2 eftersom inga nödutgångar blockeras av branden.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2

Brandscenario 14: Spelarbås

En brand i spelarbåsen skulle troligen vara anlagd då det inte finns några uppenbara tändkällor. Då endast spelare kommer att vistas i båsen under en match bedöms risken för anlagd brand vara liten och sannolikheten bedöms till 1. Ett möjligt brandförlopp är att något i spelarbåsen antänds och branden sprider sig till närliggande föremål. Rökutvecklingen förhindrar inte utrymning och konsekvensen av branden bedöms vara 2.

Sannolikhet: 1

Konsekvens: 2

Brandscenario 15: Kiosk

Kiosken som står i anslutning till läktaren används till försäljning av fika och lättare mat såsom varmkorv. En brand skulle kunna uppstå i någon av de uppvärmningsanordningar som troligen finns i kiosken. En anlagd brand är mindre trolig då allmänheten inte har tillträde till kiosken. Sannolikheten för att en brand uppstår beror på vilken typ av utrustning som finns i kiosken. Då det är oklart vad som finns i kiosken görs ett konservativt val av sannolikheten som bedöms till 4. Då kiosken är byggd i en träkonstruktion finns det en risk att hela kiosken börjar brinna och att det blir kraftig rökutveckling. Kioskens placering gör att utrymning via huvudentrén skulle omöjliggöras och utrymning genom den nordvästra nödutgången skulle kraftigt försvåras. Personer som befinner sig på läktaren skulle troligen kunna utrymma genom alternativa utrymningsvägar. Utrymning för personer med funktionsnedsättning blir problematisk då de måste passera nära kiosken vid utrymning och konsekvensen bedöms till 5.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 5

Brandscenario 16: Elrum

Ett elfel skulle kunna uppstå vilket leder till att en brand startar i elrummet. Då elrummet är låst är risken för anlagd brand liten och sannolikheten bedöms till 3. Då elrummet utgör en egen brandcell och saknar förbindelse med ishallen skulle en brand där inte orsaka rökspridning in till ishallen. Det finns en risk att den nordvästra nödutgången eventuellt är olämplig att utrymma genom men eftersom det inte är en nödutgång som är förstahandsvalet för åskådarna bedöms konsekvensen till 1.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 1

Brandscenario 17: Kylmaskin

Kylmaskinen börjar brinna på grund av tekniskt fel. Då utrymmet är låst är en anlagd brand osannolik och sannolikheten för detta scenario bedöms därför till 3. Det rum som kylmaskinen står i utgör en egen brandcell i klass EI60 och en brand där bör inte påverka ishallen nämnvärt. Detta innebär att utrymning kan ske obehindrat från alla nödutgångar så konsekvensen bedöms till 1.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 1

Brandscenario 18: Hockeyförråd

Då hockeyförråden normalt är låsta är en anlagd brand osannolik. En brand skulle däremot kunna uppstå till följd av ett elfel i något av förråden och därför bedöms sannolikheten till 3. Rökutvecklingen till följd av branden skulle kunna försvåra utrymning via korridorrens södra utgång. Utrymningen kan försvåras för personer som vistas i omklädningsrummen eftersom korridoren riskerar att bli rökfylld vilket gör att konsekvensen av detta scenario bedöms till 4.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

Brandscenario 19: Omklädningsrum

Något i ett omklädningsrum börjar brinna, troligen på grund av anlagd brand eller lek med smällare eller tändstickor och sannolikheten för detta scenario bedöms till 4. Branden kan sprida sig till kläder och väskor som förvaras i omklädningsrummet och brandgasspridning kan dels ske ut i korridoren genom dörren och dels till intilliggande utrymmen via ventilationssystemet. Då korridoren riskerar att bli rökfylld kan utrymning från omklädningsrummen försvåras. Då brandbelastningen förmodligen inte är särskilt stor bedöms konsekvensen till 3.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 3

Brandscenario 20: Tvättrum

En brand i tvättrummet skulle kunna uppstå genom överhettning av en tvättmaskin eller torktumlare. Då utrymmet normalt är låst bedöms risken för anlagd brand vara liten och sannolikheten bedöms till 3. Rökutvecklingen resulterar i att rök kan spridas ut i korridoren genom dörren men rökspridning skulle även kunna ske till intilliggande utrymmen via ventilationssystemet. Utrymning från omklädningsrummen försvåras om korridoren blir rökfylld. Då brandbelastningen är relativt liten bedöms utrymning kunna ske från omklädningsrummen på ett säkert sätt och konsekvensen bedöms till 3.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

Brandscenario 21: Elektronikutrymme

Det börjar brinna i ett av elektronikutrymmena i korridoren på grund av elfel. Då utrymmet normalt är låst bedöms risken för anlagd brand vara liten vilket gör att sannolikheten för en brand i ett elektronikutrymme bedöms till 3. Branden begränsas då det inte finns mycket i närheten som branden kan sprida sig till. Dock kan en del rök spridas till korridoren vilket skulle försvåra utrymning. Personer som befinner sig i omklädningsrummen kommer troligen att kunna nyttja samtliga nödutgångar. Därför bedöms konsekvensen för detta scenario till 2.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2

Brandscenario 22: Sliprum

I sliprummet finns en slipmaskin som används för att slipa skridskor. En brand i sliprummet skulle kunna uppstå genom att slipmaskinen blir överhettad, och en brand är troligen inte anlagd då utrymmet normalt är låst vilket gör att sannolikheten för en brand i detta utrymme bedöms till 3. Röken från branden kan dels sprida sig ut i korridoren genom dörren och dels till andra utrymmen via ventilationssystemet. Utrymning genom korridoren kan komma att försvåras av röken, men bör fortfarande kunna ske och konsekvensen av detta bedöms till 3.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3

Brandscenario 23: Förråd i korridorens norra del

En brand uppstår i förrådet i korridorens norra del. Då förrådet normalt är låst är det mer troligt att till exempel ett elfel orsakar en brand än att branden är anlagd, därför bedöms sannolikheten till 2. Branden resulterar i att förrådet blir rökfyllt och röken sprider sig sedan vidare ut i korridoren. Röken kan även sprida sig via ventilationssystemet till intilliggande utrymmen. Utrymning från omklädningsrummen kan försvåras, särskilt genom korridorens norra del, så konsekvensen av detta scenario bedöms till 3.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3

Brandscenario 24: Fläktrum

Någon komponent i fläktrummet blir överhettad och börjar brinna. Då rummet är låst är risken för anlagd brand liten och sannolikheten bedöms till 2. Det finns inte mycket som är brännbart i fläktrummet men röken kan sprida sig via ventilationen till andra delar av byggnaden. Då fläktrummet utgör en egen brandcell kommer förmodligen rökspridningen genom dörren att vara begränsad. Inga nödutgångar sätts ur funktion av branden, därför bedöms konsekvensen till 2.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 2

4.3 Riskvärdering

Scenarierna har vägts mot varandra för att bedöma hur sannolikt det är att de ska inträffa och hur stora konsekvenserna förväntas vara. För att bedöma sannolikheten för att ett brandscenario ska inträffa har den framtagna statistiken i avsnittet ovan använts samt kvalitativa antaganden gjorts. För att rangordna konsekvensen har endast kvalitativa bedömningar gjorts. I Tabell 5 finns brandscenarierna utplacerade i en riskmatris. I riskmatrisen anses scenarier som hamnar inom det röda området utgöra en stor risk, medan de i det gröna området utgör en liten risk.

Tabell 5 - Riskmatris där framtagna brandscenarier har placerats med avseende på sannolikhet och konsekvens.

Konsekvens	5		12		15	
	4		18	11		
	3		4,23	1,3,5,9, 20,22	6,7,10,19	
	2	14	24	13,21		
	1		8	16,17		2
		1	2	3	4	5
	Sannolikhet					

4.3.1 Val av scenarier

Eftersom brandscenario 15, brand i kiosk, har en hög konsekvens och sannolikhet valdes det ut för vidare analys. Om kiosken brinner får personer med funktionsnedsättning som befinner sig på plattformen precis bredvid kiosken problem att utrymma. Även utrymning genom huvudentrén skulle kunna blockeras från läktaren om kiosken brinner. Scenario 12, brand i förvaringsutrymmet under läktaren, och 11, brand i gummimattor, vägdes mot varandra. De ansågs likvärdiga men då scenario 12 har högre konsekvens valdes det. Brandscenario 18, brand i hockeyförrådet, valdes ut som det tredje scenariot eftersom det dels ligger i en annan brandcell och dels för att det uppskattas till att ha högst brandbelastning av brandscenerierna i korridor och omklädningsrum. Därmed antas att byggnaden klarar av alla bränder i korridoren om den klarar av en brand i hockeyförrådet. En brand i hockeyförrådet skulle eventuellt kunna spridas via ventilationssystemet om den är tillräckligt stor.

De tre scenarier som valts för vidare analys kan anses representativa då flera andra scenarier täcks in av dessa. Scenariot med brand i kiosk täcker in och representerar scenario 1, 2, 3 och 4 då de är placerade på ungefär samma ställe. Scenariot med brand i förvaringsutrymmet under läktaren täcker in och representerar scenario 11, 13 och 14 då de alla är placerade vid läktaren. Scenariot med brand i hockeyförrådet täcker in och representerar scenario 19, 20, 21, 22 och 23 eftersom de är i samma brandcell, ligger relativt nära varandra och skulle kunna orsaka ungefär lika stora konsekvenser. Elrum, fläktrum och rum för kylmaskin/VVS är egna brandceller och anses därför inte vara något problem för personerna på läktaren och deras utrymning. Scenario 5-10 uppstår långt ifrån läktarna där personer befinner sig och anses inte påverka utrymningen nämnvärt och därför analyseras dessa scenarier inte vidare.

Eftersom brandlarm finns installerat i hela byggnaden förutsätts att samtliga bränder upptäcks i ett tidigt skede och att utrymning påbörjas därefter. Det kan dock hända att brandskyddssystemet fallerar och slutar fungera. Det system som finns i Falkenbergs ishall som skulle kunna falla är brandlarmet. Om brandlarmet slutar fungera skulle det ta längre tid för personerna i byggnaden att upptäcka branden och då skulle varseblivningstiden bli längre. Detektorerna eller utrymningslarmet skulle kunna sluta fungera och därför görs tre nya scenarier där systemet fallerar.

4.4 Övriga risker

I samband med ammoniakhanteringen finns en risk för olyckor och utsläpp. Ett utsläpp kan leda till att människor, inte bara i ishallen utan även i områden runt omkring, kan behöva evakueras. Då denna rapport syftar till att utvärdera brandskyddet hamnar denna risk utanför området och kommer inte studeras vidare. Det kan dock vara motiverat att ta in sakkunnig person som analyserar denna risk.

5 Funktionella krav av byggnaden

Målet med arbetet är att utvärdera brandskyddet i ishallen med avseende på personsäkerhet och med hjälp av beräkningar och simuleringar avgöra om utrymning kan ske på ett säkert sätt. För att personer ska kunna utrymma byggnaden krävs att den tillgängliga tiden överstiger tiden för utrymning, vilket framgår av uttrycket nedan.

$$t_{\text{tillgänglig}} > t_{\text{utrymning}}$$

Den tillgängliga tiden är den tid det tar innan kritiska förhållanden uppstår och tiden för utrymning är den tid det tar för samtliga personer att utrymma lokalen. I avsnitten nedan beskrivs den tillgängliga tiden och utrymningstiden närmare.

5.1 Utrymningstid

Utrymningstiden är den tid det tar för personer att ta sig till en säker plats efter det att en brand har uppstått. Något förenklat kan utrymningstiden delas upp i varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningstid, vilket framgår av uttrycket nedan (Frantzich, 2001).

$$t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{förberedelsetid}} + t_{\text{förflyttning}}$$

Nedan ges en kort beskrivning av var och en av de olika komponenterna.

5.1.1 Varseblivningstid

Den tid det tar från det att en brand uppstår till dess att den blir upptäckt kallas varseblivningstid. Varseblivningen kan till exempel ske genom att ett utrymningslarm aktiveras eller att en person upptäcker branden och varnar andra (SFPE, 2016). I detta arbete har beräkningar gjorts för att uppskatta vid vilken tid detektoraktivering sker. Denna tid har sedan likställts med varseblivningstiden.

5.1.2 Förberedelsetid

Även om en person mottagit en varning i form av exempelvis ett utrymningslarm eller en varning från en annan person så påbörjas inte utrymning omedelbart. Först och främst måste larmet uppfattas och tolkas som en nödsituation vilket inkluderar utredning och utforskning för att få information om vad som har hänt. När personer väl har uppfattat att utrymning bör ske finns det en ytterligare fördröjning till dess att personer faktiskt börjar utrymma. Under denna tid genomförs aktiviteter så som att varna andra personer, bekämpa branden samt samla ihop familjemedlemmar och personliga ägodelar (SFPE, 2016).

Förberedelsetiden är unik för varje person och det är därför problematiskt att använda ett punktvärde för denna tid i utrymningsberäkningar. I stället kan någon form av fördelning användas för att representera att personer kommer påbörja utrymningen vid olika tidpunkter. Resultat från olika utrymningsförsök visar på att en lognormalfördelning relativt väl kan representera en fördelning på förberedelsetiden. En förklaring till att förberedelsetiden kan representeras av denna fördelning är att några personer tidigt bestämmer sig för att utrymma och att en stor del av personerna sedan följer detta exempel och också påbörjar utrymning. Svansen på fördelningen representerar personer som av någon anledning väljer att påbörja utrymning senare (Purser & Bensilum, 2001).

5.1.3 Förflyttningstid

När utrymning väl har påbörjats återstår tiden det tar för en person att sätta sig själv i säkerhet vilket kallas förflyttningstiden. Denna tid beror till exempel på egenskaper hos personen så som rörelseförmåga och lokalkännedom. Tiden beror även på platsförhållanden, exempelvis orienterbarhet, persontäthet samt utformning och placering av utrymningsvägar (Frantzich, 2001).

5.2 Tillgänglig tid

Tiden till dess att utrymning inte längre är möjlig kallas den tillgängliga tiden för utrymning. Utrymning är inte längre möjlig då branden har gett upphov till sådana förhållanden att det är direkt skadligt för människor att vistas i miljön. För att kunna utföra beräkningar och uppskattningar av den tillgängliga tiden har ett funktionskrav definierats vilket beskriver vilka förhållanden som innebär att utrymning inte kan ske. Funktionskravet är att personer ska kunna utrymma utan att utsättas för kritiska nivåer av siktbarhet, temperatur, värmestrålning, värmedos samt toxiska nivåer av syre, koldioxid och kolmonoxid. I BBRAD anges även ett krav för brandgaslagrets höjd. I detta arbete har hänsyn inte tagits till brandgaslagrets höjd vilket motiveras med att brandgaslagrets höjd till stor del korrelerar med nivåerna av ovan givna parametrar. Funktionskravet har kvantifierats i form av kritiska förhållanden vilka beskriver vid vilken nivå av ovan givna parametrar utrymning inte längre är möjligt. De kritiska förhållandena presenteras nedan.

5.3 Kritiska förhållanden

De kritiska förhållanden som har definierats i detta arbete har sin utgångspunkt i de kritiska förhållanden som anges av Boverket (2013) i BBRAD. Dock har förhållandena inte tagits rakt av utan jämförts med annan litteratur samt diskuterats utifrån logiska resonemang. Den litteratur som främst stått till grund för definitionen av de kritiska förhållandena är SFPE (2002).

5.3.1 Siktbarhet

Kravet på siktbarhet som ställs i BBRAD är att sikten minst måste vara 5 meter på en höjd av 2 meter ovan golvnivån i lokaler med en yta mindre än 100 m². Korridoren är 60 meter lång, men endast 1,5 meter bred. Eftersom korridoren är lång och smal så att det bara går att gå åt två håll antas 5 meters sikt vara tillräckligt för att kunna utrymma. Människor som befinner sig i korridoren kommer kunna följa väggarna och alltid komma till en utgång. Egentligen skulle det kunna fungera med ännu kortare siktbarhet då människorna ändå kommer kunna se de två långsidorna. Anledningen till att 5 meter ändå anses som ett rimligt kriterium är att personer kan uppleva obehag med alltför dålig sikt.

I BBRAD anges att för lokaler med en yta större än 100 m² måste siktbarheten vara 10 meter på en höjd av 2 meter över golvnivå. Det anges även att om det snabbt bildas köer i en stor lokal kan siktbarhetsgränsen sänkas till 5 meter även för stora lokaler. Det kommer att bildas köer snabbt i och med att nästan alla människor befinner sig på läktaren. I och med att rinken är placerad mitt i hallen kommer vägarna som leder till utrymning kunna jämföras med en smal väg liknande en korridor. Dock kommer personerna i lokalen fortfarande kunna se ut i över rinken och rummet upplevs inte som en korridor. Siktbarheten i ishallen sätts till 10 meter eftersom ishallen inte till fullo anses uppfylla kraven som ställs för att enbart 5 meters sikt ska godtas. Noterbart är att när personer står upp högst upp på läktaren befinner de sig mer än 2 meter över golvnivån. Därför är det även av intresse att studera sikten 2 meter ovan läktarhöjd.

5.3.2 Värmestrålning och värmedos

En person som utsätts för värmestrålning kan uppleva smärta, få brännskador eller till och med bli medvetlös beroende på vilken intensitet som personen utsätts för. Då personer kan känna ett stort obehag av att bli utsatta för värmestrålning anses det rimligt att de i en utrymningssituation inte ska behöva uppleva smärta på grund av värmestrålning. Det krav som anges i BBRAD är att personer får utsättas för en strålningsnivå på högst 2,5 kW/m² och en maximal värmedos på 60 kJ/m² vid en strålningsnivå över 1 kW/m².

Enligt SFPE (2016) är en strålningsnivå på 2,5 kW/m² ett tröskelvärde för när människor börjar uppleva smärta. För nivåer som är mindre än 2,5 kW/m² anges att människor kan vistas längre än fem minuter utan att uppleva smärta, men smärta upplevs efter 30-60 sekunder vid en nivå på 2,5 kW/m². Vid händelse av brand är det troligt att utrymningen fullbordas på en tid i storleksordningen fem till tio minuter. Därför anses det också tillräckligt att personer inte får utsättas för en strålningsnivå på 2,5 kW/m² eller högre. Enligt BBRAD tillåts en strålning på 10 kW/m² vid kort exponeringstid. Enligt SFPE (2016) upplevs kraftig smärta efter enbart ett fåtal sekunder vid denna strålningsnivå. Det är svårt att uppskatta exponeringstid med så små marginaler och därför används inget kriterium för kortvarig strålning i denna analys.

I Drysdale (2011) anges att den högsta strålningsnivå som en människa kan utsättas för under en obegränsad tid är 1 kW/m². Givet att den högsta nivån som en person tillåts utsättas för är 2,5 kW/m² så kan en värmedos beräknas enligt sambandet nedan:

$$E = (\dot{q}'' - \dot{q}''_{cr})t$$

Där E är strålningsdos [kJ/m²], \dot{q}'' är strålningsnivå [kW/m²], \dot{q}''_{cr} är kritisk strålningsnivå [kW/m²] och t är tiden [s]. Med $\dot{q}'' = 2,5 \text{ kW/m}^2$, $\dot{q}''_{cr} = 1,0 \text{ kW/m}^2$ och tiden till smärta sätts till 30 eller 60 sekunder fås värmedoser enligt nedan:

$$E = (2,5 - 1,0) * 30 = 45 \text{ kJ/m}^2$$

$$E = (2,5 - 1,0) * 60 = 90 \text{ kJ/m}^2$$

Med beräkningarna fås en maximal värmedos på 45-90 kJ/m² beroende på vilken tid till smärta som används. Värdet på 60 kJ/m² som anges i BBRAD anses rimligt att använda då det ligger inom det beräknade intervallet men ändå inte är alltför konservativt.

5.3.3 Temperatur

Den kritiska temperaturen är satt till 80 °C i BBRAD. Enligt SFPE (2016) drabbas en människa av hypertermi om den vistas i 120 °C torr luft i 15 minuter eller mer. Om en person drabbas av hypertermi innebär det att personens kärntemperatur ökar efter långvarig exponering av temperaturer som är för låga för att ge brännskador. Går temperaturen ner till 110 °C i torr luft blir toleranstiden 25 minuter. Noterbart är dock att dessa värden enbart gäller vid vila och med bar exponerad hud. Detta kommer inte vara fallet för besökarna av Falkenberg's ishall i en utrymningssituation. Dessutom saknas uppgifter om hur hög luftfuktighet som finns i ishallen före brand. Temperaturen människor drabbas av hypertemi, i vila men vid 100 % luftfuktighet, är 80 °C vid en exponering i 15 minuter. Vid en brand kommer luftfuktigheten vara betydligt lägre än 100 % och därför anses den kritiska temperaturen på 80 °C som anges i BBRAD vara rimlig för Falkenberg's ishall.

5.3.4 Toxicitet

För att förlora sin arbetsförmåga ska en person utsättas för en koncentration på 1400-1700 volym-ppm kolmonoxid om den exponeras för halten i 30 minuter. Förlorad arbetsförmåga definieras som att den som utsätts för detta inte längre är kapabel att utrymma (SFPE, 2016). Detta är något lägre än det kritiska förhållandet på 2000 volym-ppm som BBRAD har satt upp. Det kritiska förhållandet som sätts upp för Falkenbergs ishall utgår från SFPE:s försök. Kriteriet sätts till 1200 ppm av luftvolymen, eftersom en säkerhetsmarginal är önskvärd.

Koldioxidhalten i luften får inte överstiga 5 volym-% enligt BBRAD. I SFPE (2016) står det att människor förlorar sin arbetsförmåga vid en koldioxidhalt på 6-7 volym-% efter 30 minuters exponering (SFPE, 2016). För att ha en säkerhetsmarginal antas den kritiska halten vara 5 % av luftvolymen i den här rapporten.

BBRAD har angett att syrgaskoncentrationen inte får understiga 15 volym-%. SFPE (2016) har däremot angett att människor blir inkapabla att utrymma vid en syrgaskoncentration lägre än 12 volym-%. Kriteriet för Falkenbergs ishall grundar sig på värdet SFPE (2016) angett. Syrgaskoncentrationen får inte understiga 12 % av luftvolymen för byggnaden i denna rapport.

5.3.5 Sammanfattning av kritiska förhållanden

För att få en överblick över de kritiska förhållandena som har satts upp i Falkenbergs ishall återfinns kriterierna i Tabell 6.

Tabell 6 - De kritiska förhållanden som har satts upp för att utrymning ska kunna ske i Falkenbergs ishall.

Kriterium	Nivå
Siktbarhet, 2 meter ovan golv	> 10 meter inne i ishallen > 5 meter i korridoren
Värmestrålning	<2,5 kW/m ²
Värmedos	<60 kJ/m ² vid strålningsnivå över 1 kW
Temperatur	< 80 °C
Toxicitet	Kolmonoxidkoncentration (CO) < 1200 ppm Koldioxidkoncentration (CO ₂) < 5 % Syrgaskoncentration (O ₂) > 12 %

6 Datormodeller

I detta avsnitt presenteras teorin för datormodellerna FDS, Argos och Pathfinder vilka har använts i analysen.

6.1 FDS

För att uppskatta om och när kritiska förhållanden uppstår användes CFD-modellen FDS för att simulera brandförloppen för branden i kiosken och branden under läktaren.

FDS är en LES-modell och programmet löser Navier-Stokes ekvationer för att beräkna mass- och energibalans mellan små kontrollvolym, eller celler. Cellerna bygger upp rätlinjiga rutnät, så kallade *mesher*. Kvaliteten och tillförlitligheten på resultat från FDS bygger till stor del på hur små celler som används. Ju mindre celler, desto bättre blir resultatet eftersom FDS då inte tvingas interpolera över lika stora avstånd. En begränsning i FDS är att geometrin måste anpassas efter den rätlinjiga meshen. Detta innebär att de minsta detaljer som kan upplösas har samma storlek som en cell och att alla konstruktioner måste byggas upp med hjälp av kuber. En CFD-simulering kräver stor processorkapacitet vilket också begränsar hur små celler som kan användas. En halvering av cellstorleken skulle i teorin öka simuleringstiden 16 gånger eftersom det blir åtta gånger så många celler, och tidsstegen mellan varje beräkning halveras (NIST, 2014).

För att veta om cellstorleken är lämplig för ett givet brandscenario kan flera simuleringar köras där cellstorleken minskas efter varje simulering. Den cellstorlek där resultatet inte ändras nämnvärt vid en ytterligare minskning av storleken är den cellstorlek som bör användas, detta kallas nodkonvergens. Då det inte alltid finns möjlighet att köra flera simuleringar finns det andra metoder för att uppskatta vilken cellstorlek som är rimlig att använda. Bland annat kan förhållandet nedan användas:

$$\frac{D^*}{\delta x}$$

Där D^* är brandens karakteristiska diameter [m] och δx är cellstorleken [m]. Denna kvot bör vara i storleksordningen 10-20 nära branden. Brandens karakteristiska diameter kan beräknas enligt ekvationen nedan:

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

Där \dot{Q} är brandens effekt [W], ρ_{∞} är densiteteten på den omgivande luften [kg/m^3], c_p är värmekapaciteten för luft [J/kgK], T_{∞} är temperaturen på omgivande luft [K] och g är tyngdaccelerationen [m/s^2] (BIV, 2013).

En annan parameter som bör beaktas är storleken på brandkällan. En för liten storlek i förhållande till effektutvecklingen kan ge upphov till en jetflamma, medan en för stor yta kan resultera i att flammen bryts upp. För att kontrollera storleken på brandkällan kan den dimensionslösa effektutvecklingen beräknas enligt ekvationen nedan

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

Där D är ekvivalent bränslediameter [m]. Den dimensionslösa effektutvecklingen bör ha ett värde mellan 0,3 och 2,5 (BIV, 2013).

För att bedöma om resultatet från FDS är rimligt bör flamtemperatur och flödes hastighet kontrolleras. Flamtemperaturen bör vara mellan 700–1200°C och strömnings hastigheter bör inte överstiga 10–15 m/s (BIV, 2013).

FDS kan ge goda uppskattningar av bland annat temperatur och höjd på brandgaslagret, syrekoncentration och tryck. Däremot bör värden på flammhöjd, rökkoncentration och strålning användas med försiktighet. FDS tenderar att överskatta rökkoncentration vilket innebär att resultaten blir konservativa (BIV, 2013).

Under arbetet fanns det tillgång till datorklustret Aurora som är en del av LUNARC. Aurora består av 180 noder där varje nod är uppbyggd av två Intel Xeon-processorer med tio kärnor vardera (LUNARC, 2017).

6.2 Argos

För att uppskatta om och när kritiska förhållanden uppstår användes tvåzonsmodellen Argos för att simulera brandförloppet för branden i hockeyförrådet. Det grundläggande antagandet som görs för tvåzonsmodeller är att rummet kan delas upp i två zoner, en varm övre zon som innehåller brandgaser och en kall undre relativt opåverkad zon där energiutbytet endast sker via plymen. Tvåzonsmodellen beräknar en enda temperatur i brandgaslagret och en annan i det undre lagret. För att simuleringen ska fungera behövs värdena för rumsgeometrin matas in, alla öppningar ska beskrivas och en beskrivning av bränslets värmeutveckling behövs (DIFT, 2003).

6.3 Pathfinder

För att uppskatta hur lång tid en utrymning skulle kunna ta för en brand i kiosken, hockeyförrådet eller i utrymmet under läktaren användes simuleringsprogrammet Pathfinder. Pathfinder kan användas i utrymningssammanhang till att uppskatta tiden för utrymning. Geometrin för den byggnad som ska utrymmas byggs upp i 3D och därefter placeras människor ut där de kan tänkas vara vid ett verkligt scenario. Egenskaper som till exempel människornas längd, bredd och gånghastighet går att ställa in efter de förutsättningar som förväntas råda. Fördelningar över egenskaperna kan användas för att få en mer verklighetstrogen simulering. Geometrin kan dels byggas upp genom att importera CAD- eller FDS-filer, dels genom att bygga upp geometrin förhand. I versionen av Pathfinder som har använts i denna rapport finns inte stöd för bland annat komplexa beteenden, exempelvis familjegruppering (Thunderhead Engineering, 2017).

6.4 DetAct-T2

DetAct-T2 använts för att uppskatta tid till detektion för värmedetektorer. Det kan användas för att förutsäga aktiveringstid för värmedetektorer och sprinkler för bränder som tillväxer enligt en α^2 -kurva. Den indata som krävs är omgivningens temperatur, response time index (RTI), vid vilken temperatur eller temperaturhöjning detektorn aktiveras, rumshöjd, med vilket avstånd detektorer är placerade samt tillväxthastigheten för branden. Den utdata som erhålls är tiden till detektion (NIST, 2017).

7. Brand i förvaringsutrymme under läktaren

Från grovanalysen valdes att vidareundersöka brandscenario 12 där en brand uppstår i förvaringsutrymmet under läktaren. Scenariot valdes då det bedömdes kunna medföra stora konsekvenser. I detta avsnitt redovisas en framtagen effektkurva för en brand under läktaren samt resultat från simuleringar i FDS och Pathfinder. Vidare redovisas också en genomförd känslighetsanalys och åtgärdsförslag.

7.1 Beskrivning

Vid tillfället för platsbesöket användes utrymmena under läktarna för förvaring av bland annat sopsäckar, möbler och träskivor. I detta brandscenario börjar något av föremålen under den södra läktarsektionen att brinna. Då utrymmet normalt är låst är till exempel ett elfel en mer trolig brandorsak än att branden är anlagd. Branden kommer att påverka hela den läktarsektion som det brinner under och rök kommer att spridas genom de springor som finns i läktaren. När ishallen utryms kommer personerna som vistas på läktarna troligen att röra sig bort från branden och i så stor utsträckning som möjligt undvika nödutgångar i nära anslutning till branden.

7.2 Metod

I följande avsnitt presenteras metoderna som använts för att ta fram en effektkurva samt bedöma utrymningstid och tillgänglig tid.

7.2.1 Effektkurva

När effektkurvan togs fram beräknades först den maximala effekten för en ventilationskontrollerad brand, \dot{Q}_{vent} , vilken beror av bland annat area och höjd på öppningar. Efter det beräknades effekten som krävs för att övertändning ska ske, \dot{Q}_{fo} , vilken beror av omslutningsarean i utrymmet samt area och höjd på öppningarna. Det fanns en stor variation bland de föremål som förvarades i utrymmet och för att representera dessa valdes staplade träpallar som bränsle. Det motiveras med att träpallarna medför en snabb tillväxtfas samt att träpallarnas maximala effektutveckling, \dot{Q}_{fuel} , överstiger den ventilationskontrollerade effekten, \dot{Q}_{vent} . Detta innebär att den maximala effekten under läktaren uppnås. Det antas att branden tillväxer enligt en αt^2 -kurva fram till dess att övertändning sker. Med hjälp av α -värdet kunde tiden till övertändning beräknas. Effektkurvan redovisas i avsnitt 7.3 nedan.

7.2.2 Pathfinder

För att uppskatta utrymningstiden från ishallen användes datorprogrammet Pathfinder. På grund av begränsningar i programmet byggdes ishallens geometri upp med vissa förenklingar. För gånghastigheten och förberedelsetiden användes fördelningar istället för punktvärden för att representera skillnader mellan olika individer. Förberedelsetiden motiverades utifrån tidigare utförda utrymningsförsök och antaganden. Varseblivningstiden likställdes med tiden till detektoraktivering och beräknades med datorprogrammet DetAct-T2. Varseblivningstiden inkluderades inte i Pathfinder utan adderades till resultaten i efterhand. Eftersom några indataparametrar definierats som fördelningar gjordes 15 simuleringar för att inkludera effekten av dessa. För att undersöka om 15 simuleringar var tillräckligt gjordes en ytterligare simulering för att jämföra medelvärdet mellan 15 och 16 simuleringar. Om skillnaden var mindre än 1 % ansågs antalet simuleringar vara tillräckligt.

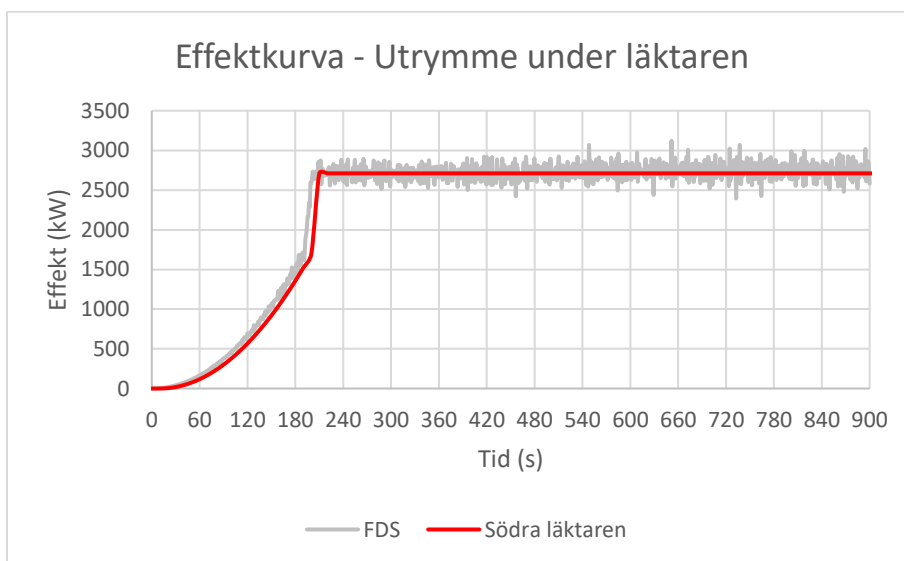
7.2.3 FDS

För att uppskatta den tillgängliga tiden som finns för utrymning användes datorprogrammet FDS för att simulera brandförloppet. Målet med simuleringen var att studera om och när kritiska förhållanden uppstår genom att ta fram mätdata för temperatur, strålning, siktförhållanden samt koncentration av syre, koldioxid och kolmonoxid. Brandscenariot simulerades under 900 sekunder och 20 cm stora celler användes med undantag för området runt branden där 10 cm stora celler användes. För att minska simuleringstiden delades geometrin upp i flera mesher vilket innebär att beräkningarna kunde delas upp mellan olika processorkärnor. Beräknade värden för $\frac{D^*}{\delta x}$ och Q^* redovisas i avsnitt 7.5 nedan.

De utrymmen som inkluderades i simuleringen var ishallen, entrén och korridoren eftersom dessa utrymmen är av intresse i en utrymningssituation. Strukturer som förväntades ha en inverkan på turbulens och rökspridning inkluderades i simuleringen och ett exempel på detta är takstolarna. Vissa förenklingar gjordes vid uppbyggnaden av väggarna. I ishallen finns ett tiotal olika väggar med varierande kombinationer av material men endast materialskikt som antas ha betydande roll för värmeledningen inkluderades. Istället för att ha många olika väggar definierades två väggar i FDS vilka anses vara representativa för hela ishallen. Ishallens södra och västra vägg angavs som betongväggar med isolering och övriga väggar angavs som lättbetongväggar med isolering. För att kunna representera effektkurvan i FDS byggdes två brännare upp. Den ena brännaren representerade tillväxtfasen av branden och den andra brännaren övertändningen. Då det har antagits att det är träpallar som brinner användes trä som bränsle i FDS. Egenskaper för träslaget douglasgran hämtades från SFPE (2002). Soot yielden sattes till 0,015 g/g och yielden på kolmonoxiden sattes till 0,004 g/g. Utvalda delar av indatafilen till FDS redovisas i Bilaga C.

7.3 Effektkurva

I Figur 17 presenteras effektkurvan som togs fram för brinnande träpallar under läktaren. Den röda kurvan motsvarar den beräknade effektkurvan medan den gråa kurvan är effektutvecklingen från FDS. Från figuren framgår att den maximala effekten som uppnås är 2700 KW och övertändning sker efter 190 sekunder vid en effekt på 1700 kW. Beräkningar av effektkurvan redovisas i Bilaga E.



Figur 17-Kurvan beskriver effektutvecklingen för en brand under läktaren.

7.4 Utrymningstid

Tidigare har det nämnts att utrymningstiden delas upp i de tre komponenterna varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. Nedan redovisas resultat för var och en av komponenterna.

7.4.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid det tar till dess att personer får information om att en brand har utbrutit. I denna analys har varseblivningstiden likställts med tiden till detektoraktivering och därmed tiden till att utrymningslarmet aktiverar. I utrymnet under läktaren fanns en rökdetektor vars aktiveringstid beräknades med datorprogrammet DetAct-T2. Tiden till detektoraktivering beräknades till 60 sekunder.

7.4.2 Förberedelsetid

Som nämnts tidigare i rapporten approximeras förberedelsetiden till en lognormalfördelning. För att motivera en fördelning användes data från tidigare studier kring utrymning. I en studie gjord av Bayer och Rejnö (1999) undersöktes hur olika typer av utrymningslarm påverkar utrymningstiden i en biograf. För akustisk larmsignal framgår att förberedelsetiden låg i intervallet 40-120 sekunder. Personerna som vistas i en biograf skulle kunna liknas med personer som vistas i ishallen då de sitter ner och har sin uppmärksamhet riktad åt samma håll. I ett annat försök undersöktes utrymning från ett varuhus och Frantzich (2001) anger att medeltiden för förberedelsetiden var 80 sekunder, standardavvikelsen 30 sekunder och den maximala tiden 150 sekunder. De värden som använts för förberedelsetiden i denna analys visas i Tabell 7 nedan. Medelvärdet på 60 sekunder motiveras med att vid händelse av en riktig brand bör förberedelsetiden vara något kortare än i en utrymningsövning. Då personerna på läktaren är samlade bör den sociala påverkan vara något större än i varuhus vilket motiverar standardavvikelsen på 20 sekunder. Vidare antas att när övertändning sker bör samtliga personer reagera och börja utrymma. Övertändning sker efter 190 sekunder och varseblivningstiden är 60 sekunder. Maxvärdet för förberedelsetiden har därför satts till 140 sekunder vilket innebär att de sista personerna börjar utrymma när övertändning sker eller några sekunder efter det.

Tabell 7 - Förberedelsetid som använts för simuleringarna.

	Medel [s]	Standardavvikelse [s]	Max [s]
Förberedelsetid	60	20	140

7.4.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden beräknas av Pathfinder men beror av ett antal parametrar som användaren definierar. Parametrar som påverkar förflyttningstiden är gånghastighet och axelbredd för personerna som utrymmer. Dessa värden redovisas i Bilaga D. Förflyttningstiden beror även av vilka nödutgångar som finns tillgängliga. För detta scenario gjordes antagandet att nödutgången mellan den norra och södra läktarsektionen inte kommer att användas. Detta motiveras med att personer troligen kommer att vilja röra sig bort från branden i så stor utsträckning som det är möjligt. I simuleringarna väljer därför personer på den norra läktarsektionen att utrymma genom huvudentrén och personer på den södra läktaren utrymmer ut till korridoren via den södra utgången. Det högsta tillåtna antalet personer på läktarna är 250 personer vilket också användes i simuleringarna. Det antogs att fördelningen på publiken

är 40 % vuxna, 40 % barn och 20 % seniorer. Fem rullstolsburna personer har inkluderats i simuleringarna.

7.4.4 Total utrymningstid

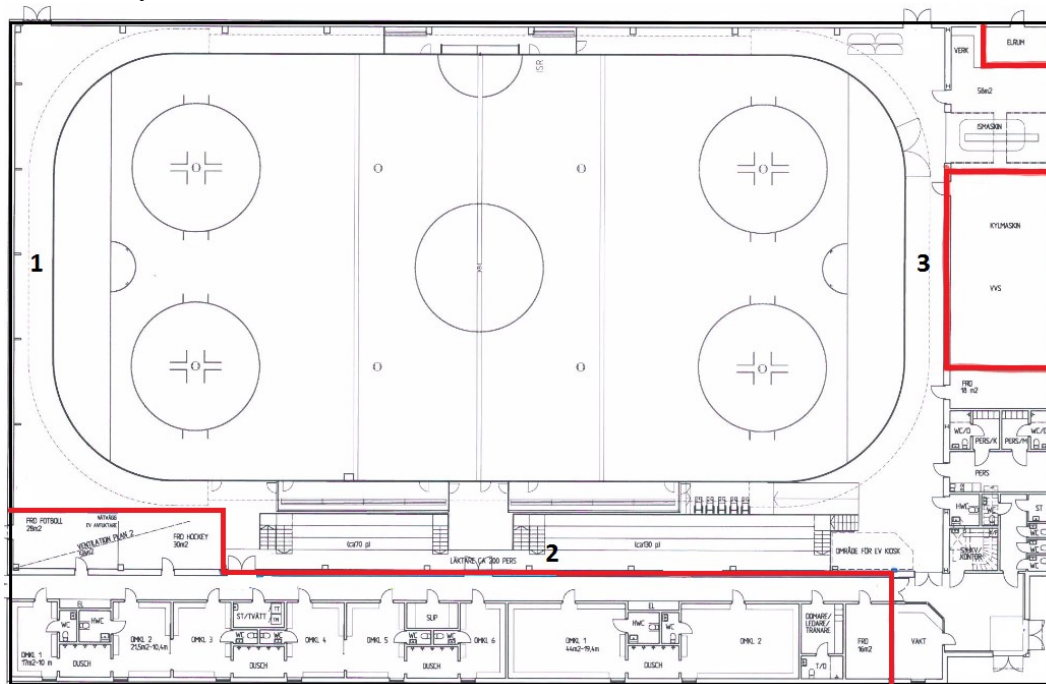
En sammanställning av utrymningstiden från de 15 utrymningssimuleringarna visas i Tabell 8. Ur tabellen framgår att den snabbaste utrymningen tog 430 sekunder och den långsammaste 480 sekunder, med ett medelvärde på 450 sekunder.

Tabell 8 - Sammanställning av resultat från 15 utrymningssimuleringar.

	Minimum [s]	Medel [s]	Maximum [s]
Utrymningstid	430	450	480

7.5 Tillgänglig tid

I FDS-simuleringen gjordes mätningar i ett stort antal mätpunkter och slicefiles. För att få en bra överblick av förhållandena i ishallen valdes tre mätpunkter ut för att representera hela ishallen. Punkterna placering framgår av Figur 18. Punkterna 1 och 3 är placerade 2 meter ovan golvnivån, medan punkt 2 är placerad ovanför högsta nivån på läktaren, 4,4 meter ovan golvnivån. Med undantag för mätpunkter i direkt anslutning till branden uppmättes inga nivåer som är högre än de som redovisas i följande avsnitt. På grund av begränsningar i FDS har branden under läktaren approximerats till en brand ovanpå läktaren. Detta resulterar i att mätpunkterna i direkt anslutning till branden är av mindre intresse. Även om kritiska nivåer uppkommer i direkt anslutning till branden är det inte orimligt att anta att personer tidigt kommer flytta bort från branden, och därmed undvika de eventuella kritiska förhållandena.

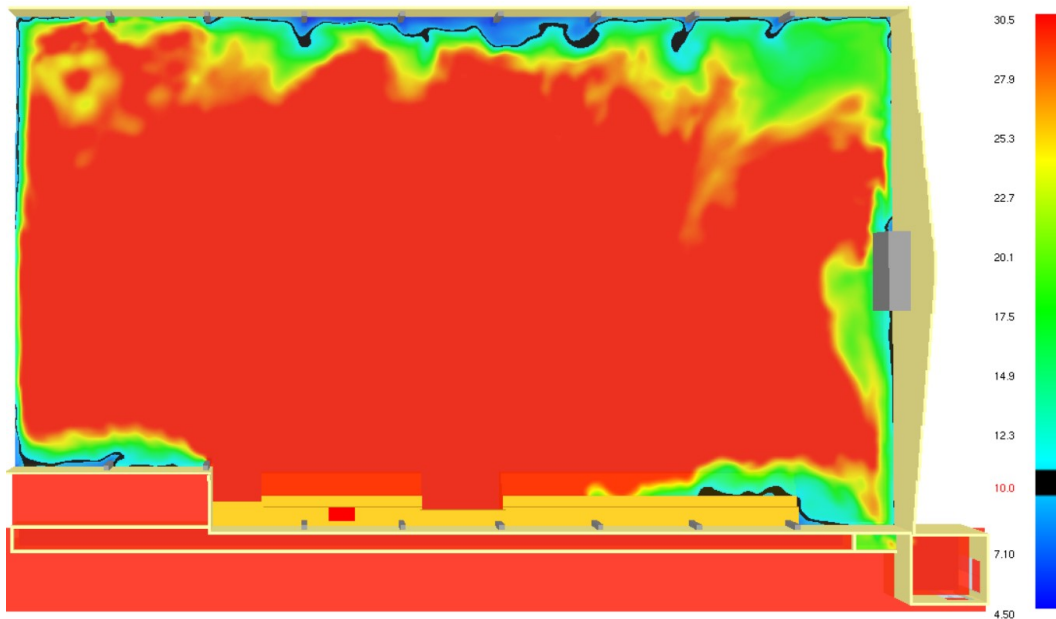


Figur 18 – Mätpunkternas placering i ishallen.

Förhållandet mellan brandens karakteristiska diameter och cellstorleken, $\frac{D^*}{\delta x}$, beräknades till 14,5 och brandens dimensionslösa effekt, Q^* , beräknades till 0,92. Båda dessa värden ligger inom de intervall som rekommenderas av BIV (2013). Beräkningar och utvalda delar av indatafilen till FDS redovisas i Bilaga C.

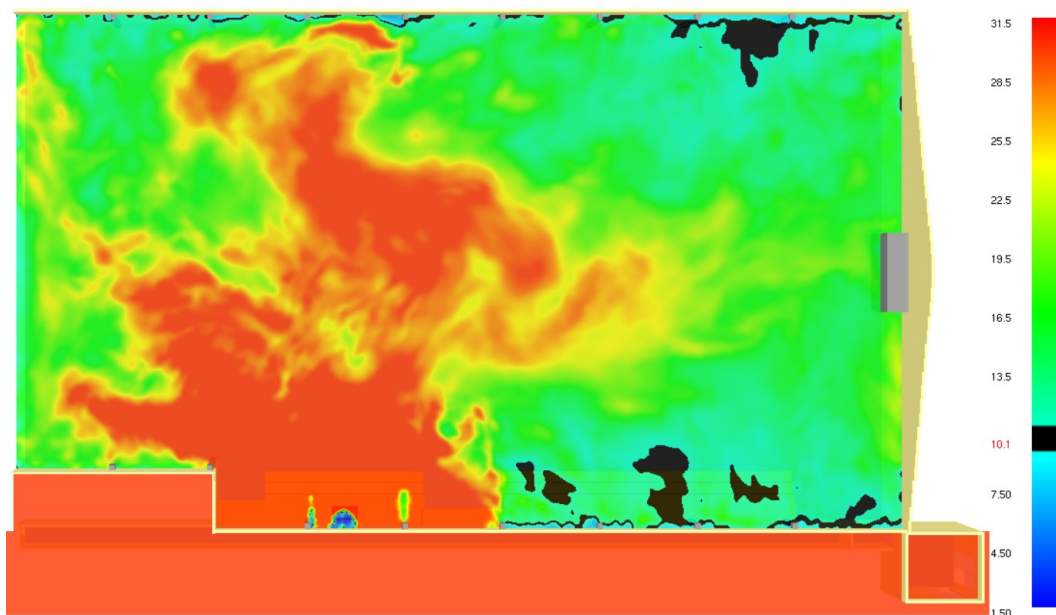
7.5.1 Siktbarhet

Den kritiska nivån för sikten har i denna analys satts till 10 meter. Sikten har undersökts 2 meter över golvnivån respektive 4,4 meter, vilket motsvarar 2 meter över den högst belägna läktarnivån. För att visualisera sikten används slice files från FDS och i Figur 19 nedan visas sikten i ishallen 820 sekunder efter brandens start. Vid den tidpunkten har sikten börjat bli 10 meter på vissa platser, vilket motsvaras av de blåa områdena med svart kontur i figuren. Skalan till höger i figuren visar vilken sikt de olika färgerna motsvarar. Figuren är orienterad på så sätt att läktaren är belägen i figurens nedre del och entrén i det nedre högra hörnet.



Figur 19 - Sikten 2 meter över marken 820 sekunder efter brandens start.

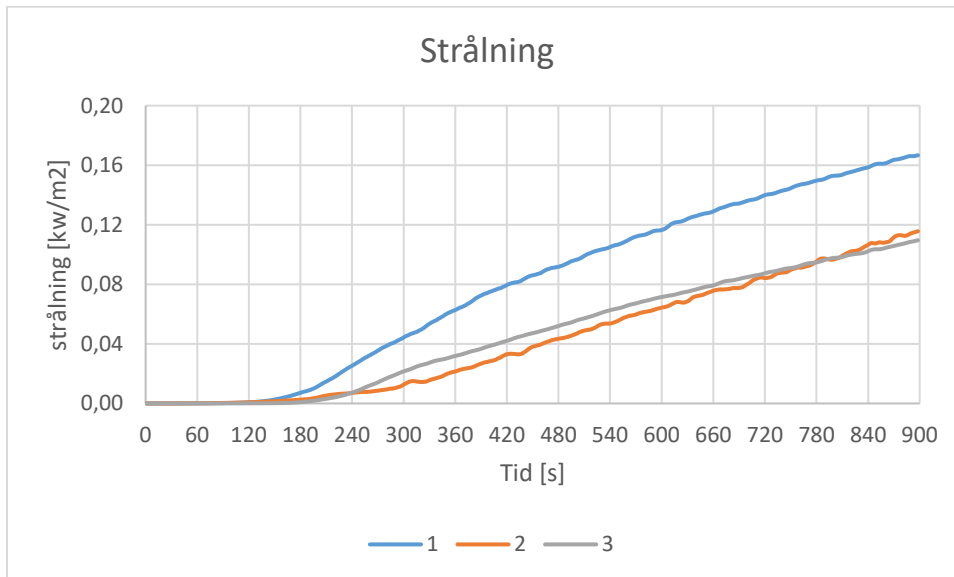
På en höjd av 4,4 meter över golvnivån börjar sikten bli 10 meter ungefär 440 sekunder efter brandens start vilket framgår av Figur 20 nedan.



Figur 20 - Sikten 4,4 meter över marken 440 sekunder efter brandens start.

7.5.2 Värmestrålning/värmedos

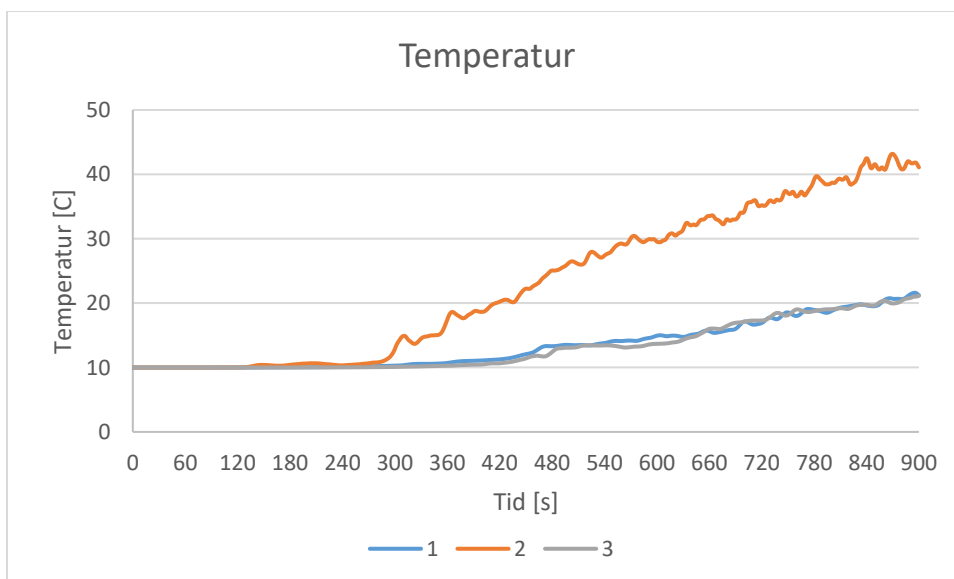
De kriterier som använts är att personer som mest får utsättas för en strålningsnivå på 2,5 kW/m² och en värmedos på 60 kJ/m² vid strålningsnivåer över 1 kW/m². Mätvärden för strålningsnivån redovisas för punkterna 1-3 och redovisas i Figur 21. Från figuren framgår det att strålningsnivån som mest uppnår ungefär 0,16 kW/m² vilket innebär att varken värmestrålning eller värmedos når upp till kritiska nivåer.



Figur 21 - Hur strålningen i mätpunkterna varierar under tid för scenariot med en brand under läktaren.

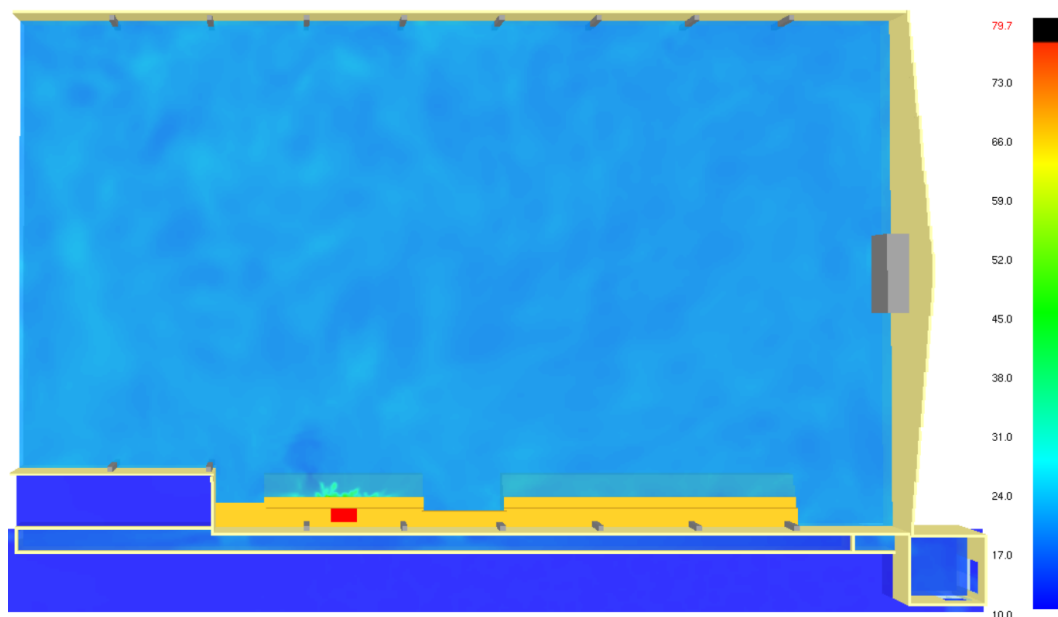
7.5.3 Temperatur

För temperaturen har den kritiska nivån satts till 80°C. Mätvärden för temperaturen redovisas dels för de tre givna mätpunkterna och dels i form av slice files. Från Figur 22 nedan framgår att temperaturen blir som högst i punkt 2 där den når upp till drygt 40 °C. Denna temperatur ligger under den kritiska nivån.



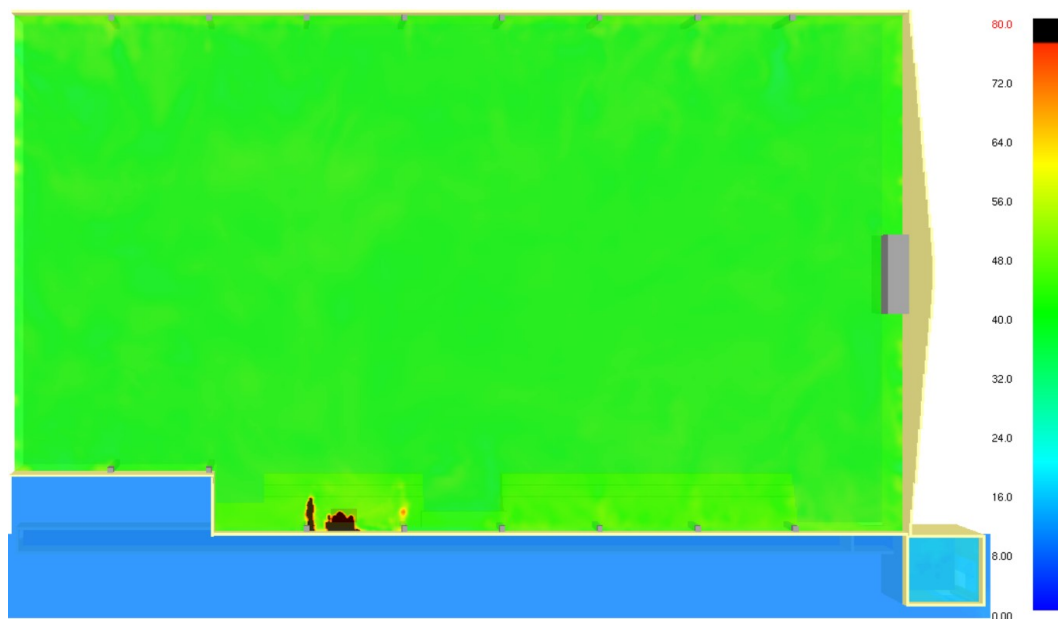
Figur 22 - Temperaturförloppet i ishallen under brand under läktare.

På en höjd av 2 meter över golvnivån är temperaturen ungefär 20°C efter 900 sekunder vilket visas i Figur 23 nedan. Skalan till höger i figuren anger vilken temperatur de olika färgerna representerar.



Figur 23 - Temperaturen är ungefär 20 °C 2 meter över golvnivå i hela ishallen efter 900 s.

I Figur 24 visas temperaturfördelningen i ishallen på en höjd av 4,4 meter ovan golvnivån 900 sekunder in i brandförloppet och det framgår att temperaturen är ungefär 40°C.

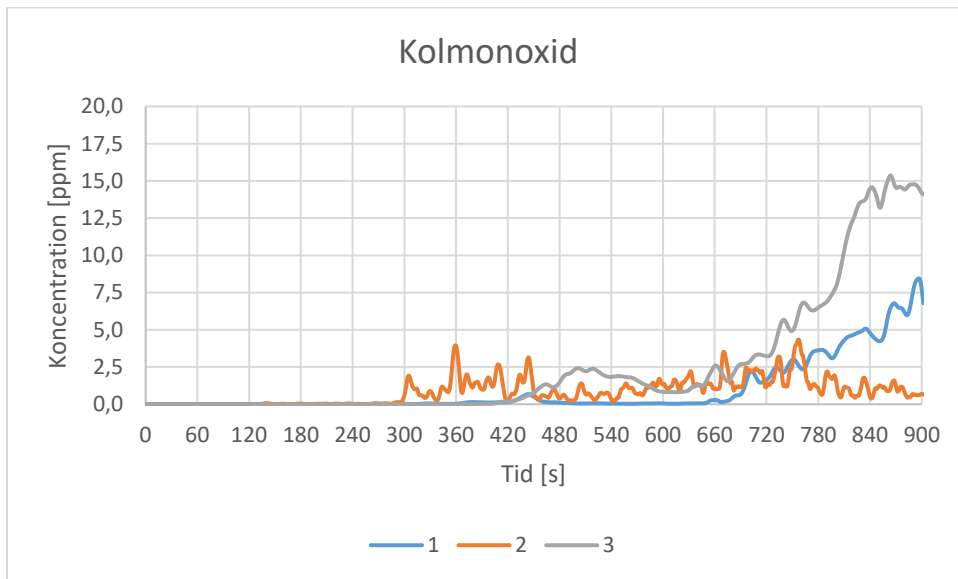


Figur 24 - Temperaturen är ungefär 40 °C 4,4 meter över golvnivå i hela ishallen efter 900 s.

Ingen av Figur 22, 23, 24 visar en temperatur över 80 °C, vilket innebär att utrymningen inte kommer förhindras av den förhöjda temperaturen i lokalen.

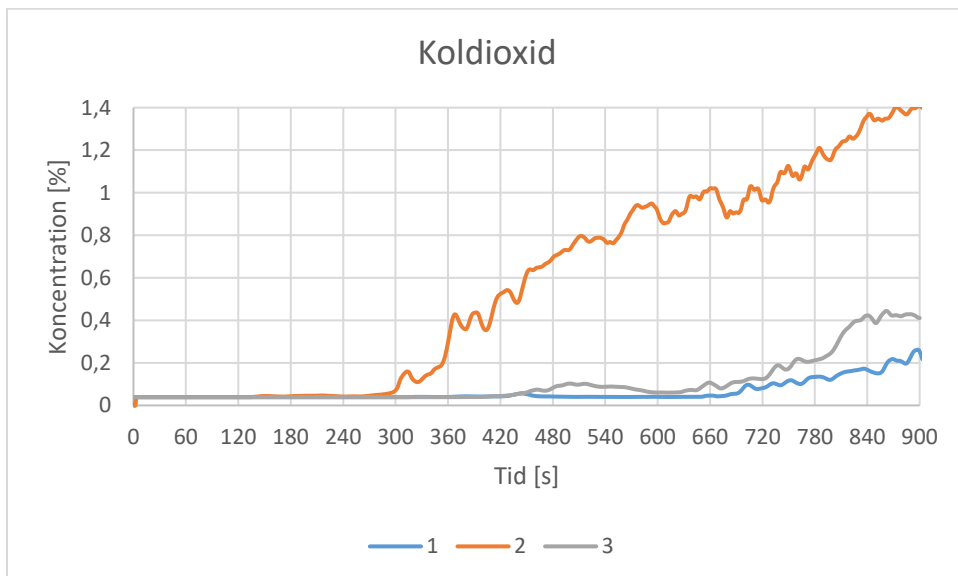
7.5.4 Toxicitet

Mätdata för toxiciteten redovisas för de punkterna 1-3. För kolmonoxid gäller att halten inte får överstiga 1200 ppm. Från Figur 25 framgår att halten som mest uppnår 15 ppm.



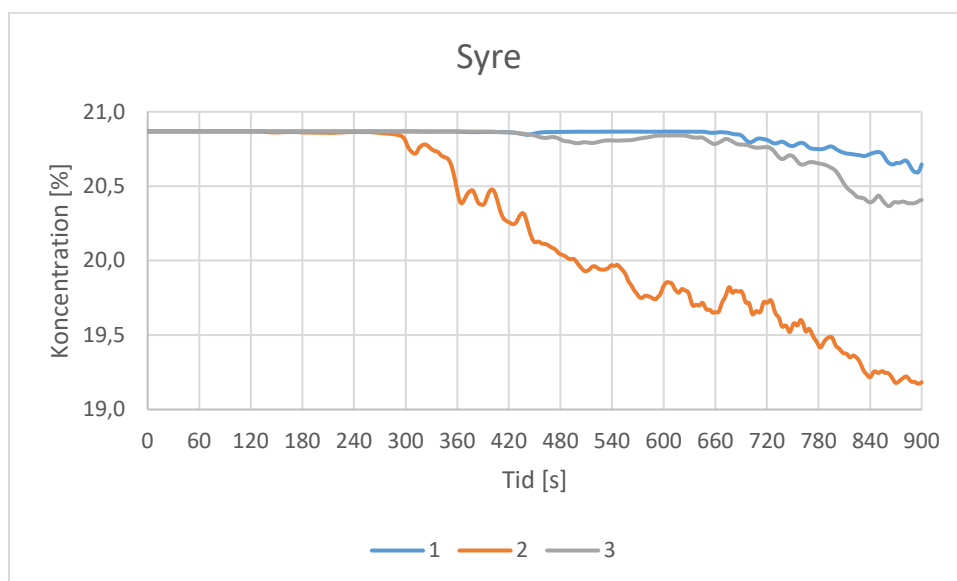
Figur 25 - Kolmonoxidhalten i brandförloppet i scenariot med brand under läktaren.

Den kritiska nivån för koldioxidhalten har satts till 5 %. Från Figur 26 framgår att denna halt inte uppnås då den högst uppmätta halten är 1,4 %.



Figur 26 - Koldioxidhalten i brandförloppet i scenariot med brand under läktaren.

Den kritiska nivån som satts upp för syre är att halten inte får understiga 12 %. Från Figur 27 nedan framgår att den lägst uppmätta halten är drygt 19 %.



Figur 27 - Syrehalten i brandförloppet i scenariot med brand under läktaren.

Mätningarna som har gjorts i FDS visar att de kritiska förhållandena för toxicitet aldrig överskridits under de första 900 sekunder. Det innebär att koncentrationen för kolmonoxid, koldioxid och syre inte utgör någon fara för personer som vistas i ishallen.

7.6 Sammanställning av resultat

Resultaten från FDS visar att endast siktbarheten uppnår kritiska förhållanden. På en höjd av 2 meter över golvet blir sikten kritisk efter 800 sekunder och på en höjd av 4,4 meter blir sikten kritisk efter 440 sekunder. Den längsta utrymningstiden av de 15 simuleringarna blev 480 sekunder. För personer som befinner sig på golvnivån finns det således gott om marginal, men sikten blir dålig på läktaren innan alla har hunnit utrymma. För läktaren finns det alltså ett överlapp mellan tiden till det att sikten blir dålig och till det att alla personer har hunnit utrymma. Genom att undersöka resultaten från utrymningssimuleringarna visar det sig att efter 440 sekunder befinner sig i stort sett ingen person på den översta läktarnivån. Det fåtal personer som fortfarande är kvar vid den tidpunkten köar för att gå ned för en trappa. I Pathfinder är personerna begränsade till att endast använda trapporna för att röra sig nedåt från läktaren. I verkligheten skulle en person i princip kunna röra sig nedåt utan att använda trappor och istället bara ta ett steg ner till nästa läktarnivå. Med detta resonemang anses det att siktförhållandena inte utgör något hinder för utrymningen. En sammanställning av resultatet från FDS och Pathfinder visas i Tabell 9. Från tabellen framgår att det finns en tidsmarginal på 340 sekunder för att människor ska kunna utrymma på ett säkert sätt.

Tabell 9 - Sammanställning av resultat från FDS och Pathfinder. Tidsmarginalen för en säker utrymning är 340 sekunder.

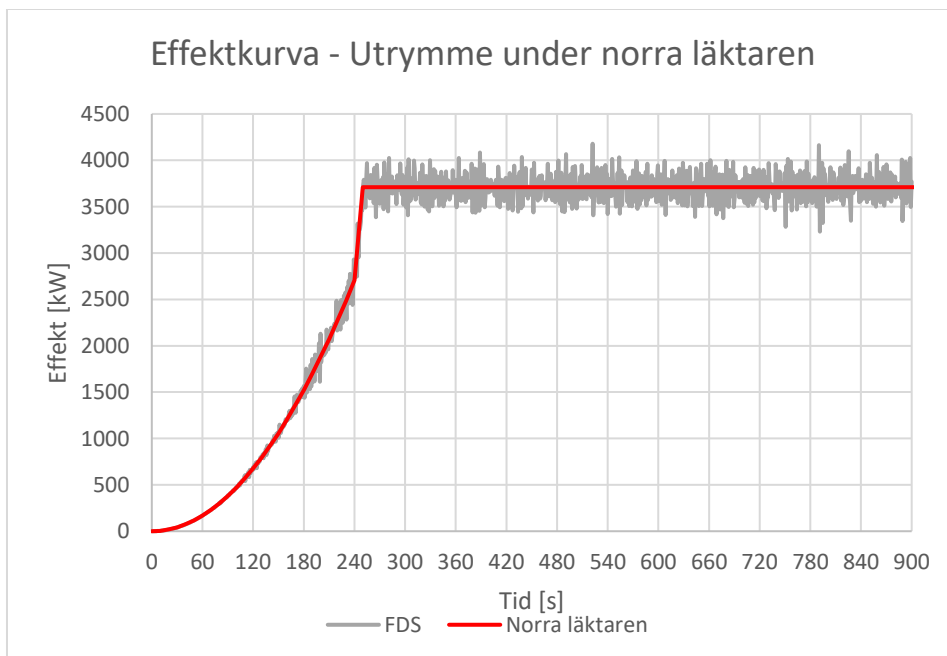
Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]	
Siktbarhet	820	480	340	Ok
Värmestrålning/Värmedos	>900	480	>420	Ok
Temperatur	>900	480	>420	Ok
Toxicitet	>900	480	>420	Ok

7.7 Känslighetsanalys

Resultaten från FDS och Pathfinder bygger till viss del på förenklingar och antaganden kring de indataparametrar som angetts. För att undersöka hur mycket detta påverkar resultatet har en känslighetsanalys genomförts. I känslighetsanalysen undersökts bland annat brandens placering, effektkurvan samt olika indataparametrar i Pathfinder. På grund av att FDS är tidskrävande finns det begränsad möjlighet att undersöka parametrar som har med branden att göra. Dock har en ny FDS-simulering genomförts för att undersöka hur branden skiljer sig om den placeras under den norra läktaren istället för den södra. Handberäkningar har även genomförts för att undersöka hur mycket bränslets soot yield påverkar sikten.

7.7.1 Brandens placering

I brandscenariot som definierats uppstår branden under den södra läktarsektionen. Anledningen till att branden placerades där var att den södra läktarsektionen ligger längre ifrån kiosken än den norra och på så sätt täcks en större del av ishallen in i analysen. En brand skulle lika gärna kunna uppstå under den norra sektionen och på grund av att utrymmet under den norra sektionen är större skulle det innebära en större effektutveckling. För att undersöka om brandens placering påverkar resultatet beräknades en ny effektkurva för en brand under den norra läktarsektionen. Effektkurvan beräknades med samma metodik som effektkurvan under den södra läktarsektionen och beräkningarna återfinns i Bilaga E. Precis som tidigare antas att det är träpallar som brinner vilket innebär en snabb tillväxt. Den beräknade effektkurvan visas i Figur 28 nedan. Från figuren framgår att den maximala effekten blir 3700 kW och att övertändning sker efter ungefär 240 sekunder. Eftersom den nya effektkurvan blir större än för branden under den södra läktaren genomfördes en ny FDS-simulering för att studera tiden till kritiska förhållanden. I Figur 28 visas även effektkurvan från FDS.



Figur 28 - Beräknad och simulerad effektkurva för branden under den norra läktarsektionen.

På grund av att FDS är tidskrävande kördes en simulering med 20 cm stora celler i hela ishallen istället för 10 cm stora celler runt branden. Resultaten från simuleringen visas i Tabell 10 nedan. Från resultaten framgår att den enda förhållandet som uppnår kritiska nivåer inom 900 sekunder är siktbarheten. Brandens placering påverkar alltså inte det faktum att

utrymning kan ske på ett säkert sätt. För fullständiga resultat från FDS med diagram och figurer, se Bilaga F och för utvalda delar av indatafilen, se Bilaga C.

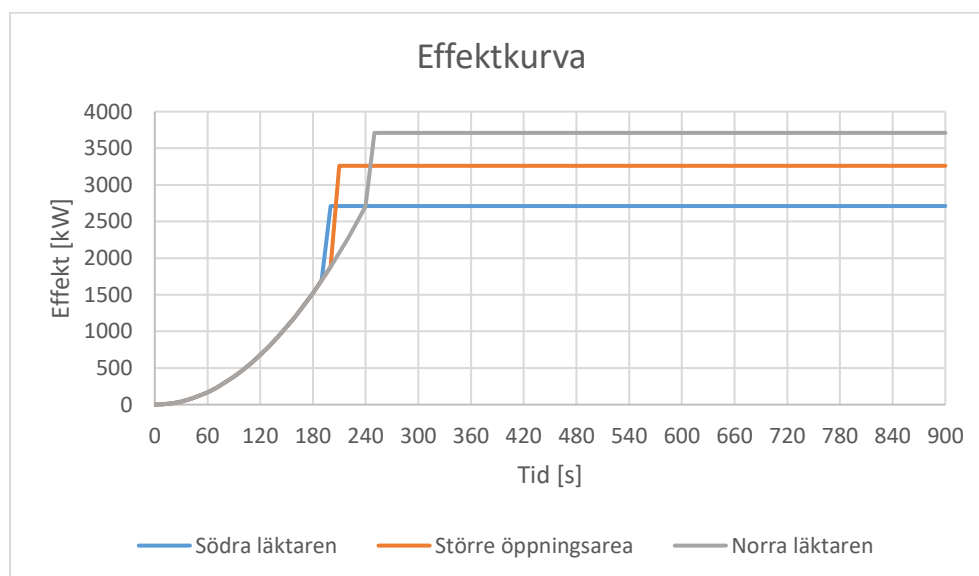
Tabell 10 - Tid till kritiska förhållanden för en brand under den norra läktaren.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]
Siktbarhet	800	480	320
Värmestrålning/Värmedos	>900	480	>420
Temperatur	>900	480	>420
Toxicitet	>900	480	>420

En ytterligare begränsning i FDS är att branden inte kan placeras under läktaren utan måste placeras ovanpå istället. Anledningen till det är att springorna i läktaren är betydligt mindre än cellstorleken och därför inte kan upplösas i simuleringarna. I ett verkligt brandscenario skulle rök ha kommit upp genom springorna i läktaren. I FDS-simuleringen stiger all rök istället upp i en samlad plym. Då det är samma effekt som utvecklas oavsett var branden placeras i FDS bedöms placeringen inte ha någon större påverkan för ishallens helhet. Dock blir mätpunkter i nära anslutning till branden ointressanta efter som de inte representerar verkligheten på ett bra sätt.

7.7.2 Effektkurva

Den maximala effekten som är möjlig under läktaren beräknades med hjälp av öppningsarea och höjd på öppningar. Öppningarna består av springor i läktaren och arean på öppningarna är svåruppskattad. I beräkningarna har det antagits att samtliga springor är helt öppna och att hela deras area kan användas. I verkligheten var en del av springorna blockerade, till exempel av isolering och förvarade föremål under läktaren. Värdet på öppningsarean som använts anses därför konservativt i det avseende att en större effektutveckling tillåts. Ifall arean på öppningarna hade varit större skulle även effektutvecklingen kunnat vara större. En högre effektutveckling skulle kunna innebära kortare tid till kritiska förhållanden. För att undersöka hur mycket öppningsarean påverkar resultatet beräknades en ny effektkurva där arean ökades med 20 %. Den nya kurvan visas tillsammans med effektkurvorna för den södra och norra läktaren i Figur 29 nedan.



Figur 29 - Effektkurvor för norra och södra läktaren samt större öppningsarea för södra läktaren.

Den ökade öppningsaren gav upphov till en ny maximal effektutveckling på 3300 kW med övertändning efter 200 sekunder. Från figuren framgår att effektutvecklingen för en brand under den norra läktaren är större än för en brand under den södra läktaren med ökad öppningsarea. Det kan därför antas att en ökad öppningsarea inte förhindrar utrymning.

7.7.3 Sikt

Vid känslighetsanalysen för sikten utnyttjades det faktum att soot yielden (y_s) är proportionell mot koncentrationen sot (C_s) som i sin tur är proportionell mot den optiska densiteten (D_e). Även optisk densitet (D_e) och optisk densitet per meter (D_L) är proportionella gentemot varandra (Nilsson & Holmstedt, 2007). Det finns ett approximativt samband mellan optisk densitet per meter (D_L) och sikt vilket presenteras nedan:

$$D_L = \frac{1}{sikt (m)}$$

Sammantaget gäller alltså:

$$y_s \propto C_s \propto D_e \propto D_L = \frac{1}{sikt (m)}$$

Utifrån detta följer att av en 25 % ökning av soot yielden medför en 20 % reducering av sikten. För att ta reda på hur lång tid det tar att uppnå kritiska förhållanden vid en ökning av soot yielden på 25 % studeras utdatan från FDS då sikten är 12,5 m istället för 10 m. Tiderna presenteras Tabell 11 nedan tillsammans med tiden för utrymning och den tidsmarginal som erhålls.

Tabell 11 - Tid till kritiska förhållanden med ökad soot yield.

Tid till kritiska förhållanden [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]
780	480	300

7.7.4 Pathfinder

Ett antal nya utrymningssimuleringar gjordes för att studera effekten av de olika indataparametrarna. Den första parametern som ändrades var personantalet som ökades från 250 till 300 personer. Varseblivningstiden ökades med 25 % så att den blev 75 sekunder istället för 60 sekunder. Från början angavs gånghastigheten och förberedelsetiden som normal- respektive lognormalfördelningar. Dessa två parametrar angavs som uniformfördelningar i känslighetsanalysen för att studera effekten av fördelningen. Även åldersfördelningen undersöktes och ändrades från 40 % barn, 40 % vuxna och 20 % seniorer till en tredjedel av varje ålderskategori. Till sist ändrades valet av nödutgång så att båda dörrarna ut till korridoren var blockerade. Resultaten från de nya simuleringarna visas i Tabell 12. Resultaten visar att det finns god marginal mellan tillgänglig tid och utrymningstid.

Tabell 12 - Resultat från känslighetsanalys av utrymningssimuleringar.

	Minimum [s]	Medel [s]	Maximum [s]	Tillgänglig tid [s]	Marginal [s]
Normal	430	450	480	820	340
Personantal	490	510	530	820	290
Gånghastighet	430	460	500	820	320
Varseblivningstid	440	460	490	820	330
Förberedelsetid	420	450	480	820	340
Åldersfördelning	450	480	520	820	300
Val av utgång	520	540	570	820	250

7.8 Åtgärdsförslag

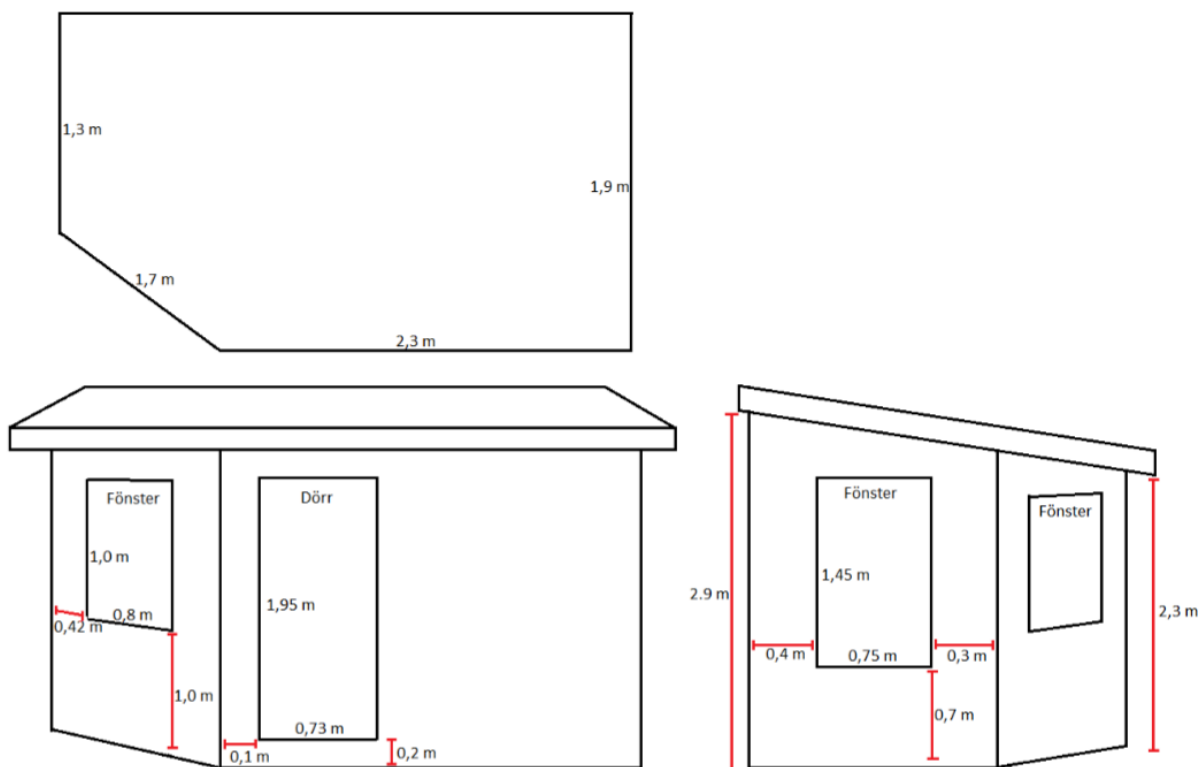
Eftersom den tillgängliga tiden överstiger utrymningstiden med god marginal behövs inga åtgärder för att uppnå en godkänd säkerhetsnivå.

8. Brand i kiosk

Från grovanalysen valdes brandscenario 15 att undersökas vidare. Scenariot innebär att kiosken börjar brinna och valdes främst på grund av den höga konsekvensen som en sådan brand skulle kunna innebära. I följande avsnitt presenteras en framtagen effektkurva, resultat för utrymningstid och tillgänglig tid, känslighetsanalys samt förslag på åtgärder och validering av dessa.

8.1 Beskrivning

Vid platsbesöket var kiosken låst och det fanns ingen möjlighet att se vad som fanns inne i kiosken. Troligen finns det någon form av uppvärmningsanordning inne i kiosken som skulle kunna vara en möjlig brandkälla. Kiosken är byggd av trä och har två fönster och en dörr. I Figur 30 nedan visas mått och utformning på kiosken. Eftersom kiosken är placerad i nära anslutning till huvudentrén skulle det troligen inte gå att utrymma den vägen vid en brand. Troligen skulle det även bli svårt att utrymma genom nödutgången i ishallens nordvästra hörn eftersom kiosken måste passeras för att nå denna väg. För personer som befinner sig på läktarna finns alternativa utrymningsvägar att tillgå via korridoren och ishallens sydvästra hörn. Utrymningen för personer med funktionsnedsättning blir dock problematisk då de är tvungna att passera kiosken för att utrymma. I scenariot har det antagits att personen som befinner sig i kiosken lämnar utan att stänga dörren när branden upptäcks.



Figur 30 - Kioskens utformning och mått.

8.2 Metod

I följande avsnitt presenteras de metoder som använts för datorsimuleringar och handberäkningar.

8.2.1 Effektkurva

Vid framtagning av effektkurvan beräknades den ventilationskontrollerade effekten, \dot{Q}_{vent} , effekten som krävs för övertändning, \dot{Q}_{fo} , samt bränslets maximala effekt, \dot{Q}_{fuel} . Både \dot{Q}_{fo} och \dot{Q}_{vent} beror på öppningsarean och i kiosken består öppningarna av två fönster och en dörr vilket framgår av Figur 30. Effekterna beräknades för olika kombinationer av stängda och öppna fönster och öppen eller stäng dörr. Genom att jämföra \dot{Q}_{fo} , \dot{Q}_{vent} och \dot{Q}_{fuel} kunde det avgöras om övertändning sker och om branden blir bränsle- eller ventilationskontrollerad. Som bränsle valdes trä eftersom kiosken består av trä.

8.2.2 Handberäkningar

I anslutning till kiosken beräknades strålningsnivån med hjälp av handberäkningar. Strålningen beräknades i punkter på olika avstånd från fönsterna och dörrarna. Det antogs att om det brinner inne i kiosken så kommer den huvudsakliga strålningen komma från öppningarna. Metoden som användes för beräkningarna var platta till punkt. Det huvudsakliga syftet med handberäkningarna var att studera om personer med funktionsnedsättning har möjlighet att ta sig förbi kiosken för att utrymma.

8.2.3 Pathfinder

För att uppskatta utrymningstiden från ishallen användes datorprogrammet Pathfinder. På grund av begränsningar i programmet byggdes ishallens geometri upp med vissa förenklingar. För gånghastigheten och förberedelsetiden användes fördelningar istället för punktvärden för att representera skillnader mellan olika individer. Förberedelsetiden motiverades utifrån tidigare utförda utrymningsförsök och antaganden. . Eftersom några indataparametrar definierats som fördelningar gjordes 15 simuleringar för att inkludera effekten av dessa. För att undersöka om 15 simuleringar var tillräckligt gjordes en ytterligare simulering för att jämföra medelvärdet mellan 15 och 16 simuleringar. Om skillnaden var mindre än 1 % ansågs antalet simuleringar vara godkänt. Varseblivningstiden likställdes med tiden till detektoraktivering och aktiveringstiden för det samplande systemet uppskattades med hjälp av FDS. Varseblivningstiden inkluderades inte i Pathfinder utan lades på i efterhand.

8.2.4 FDS

För att uppskatta den tillgängliga tiden som finns för utrymning användes datorprogrammet FDS för att simulera brandförloppet. Målet med simuleringen var att studera om och när kritiska förhållanden uppstår genom att ta fram mätdata för temperatur, strålning, siktförhållanden samt koncentration av syre, koldioxid och kolmonoxid. Brandscenariot simulerades under 900 sekunder och 20 cm stora celler användes med undantag för området runt branden där 10 cm stora celler användes. För att minska simuleringstiden delades geometrin upp i flera mesher vilket innebar att beräkningarna kunde delas upp mellan olika processorkärnor.

När geometrin byggdes upp i FDS inkluderades ishallen, entrén och korridoren eftersom dessa utrymnen är av intresse i en utrymningssituation. Strukturer som förväntades ha en inverkan på turbulens och rökspridning inkluderades i simuleringen och ett exempel på detta är takstolarna. I ishallen finns ett tiotal olika väggar med varierande kombinationer av material

men endast materialskikt som antas ha betydande roll för värmeledningen inkluderades. Istället för att ha många olika väggar definierades två väggar i FDS vilka anses vara representativa för hela ishallen. Ishallens södra och västra vägg angavs som betongväggar med isolering och övriga väggar angavs som lättbetongväggar med isolering. För att kunna representera effektkurvan i FDS byggdes nio brännare upp där en representerade tillväxtfasen av branden och de andra representerade övertändningen. Egenskaper för träslaget douglasgran hämtades från SFPE (2002). Soot yielden sattes till 0,015 g/g och yielden på kolmonoxiden sattes till 0,004 g/g. Utvalda delar av indatafilen till FDS redovisas i Bilaga C.

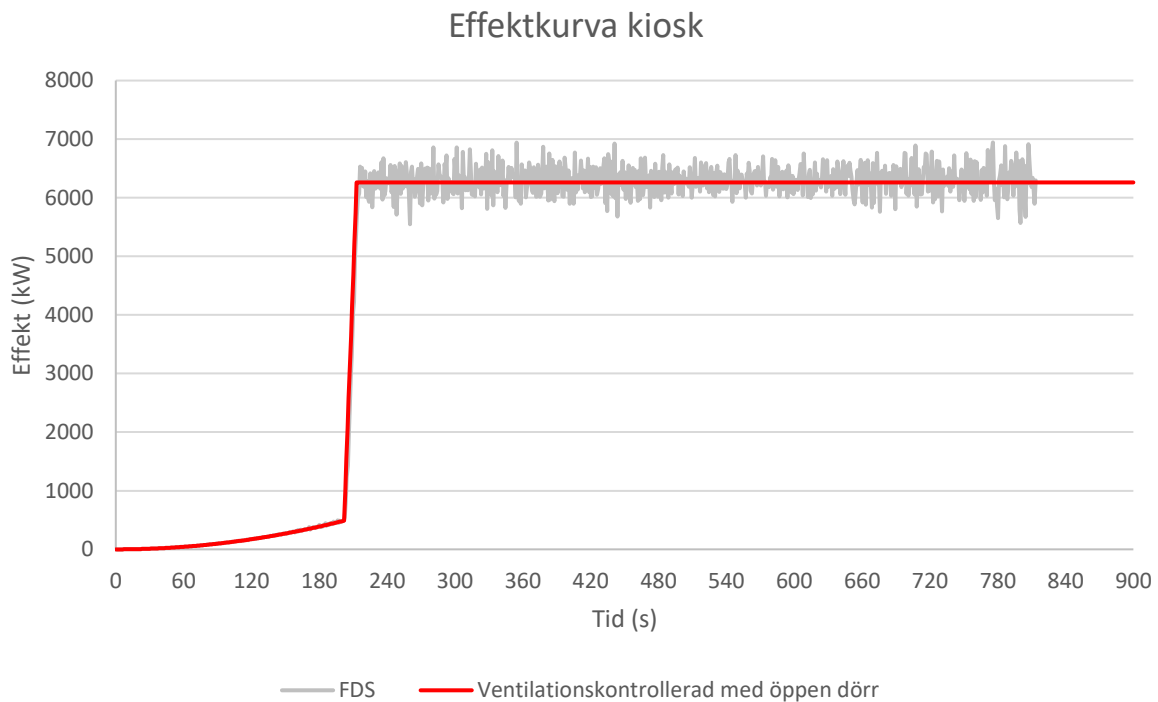
FDS användes även för att uppskatta aktiveringstiden för det samplande systemet. Då det inte finns något bra sätt att representera ett samplande system i FDS placerades istället vanliga rökdetektorer ut. Svarstiden för ett samplande system får högst vara 120 sekunder, vilket är tiden från det att röken når ett samplingshål till dess att röken når detektorn (SBF, 2001). Med hjälp av mätning i serviceritning för brandlarmsystemet uppskattades det längsta avståndet mellan ett samplingshål och detektorn till 96 meter vilket kan användas för att beräkna den lägsta tillåtna flödes hastigheten i systemet, se beräkning nedan:

$$v = \frac{L}{t} = \frac{96}{120} = 0.8 \text{ m/s}$$

Tiden till detektoraktivering i det samplande systemet beräknas alltså genom att använda aktiveringstiden från detektorn i FDS och addera med tiden det tar för brandgaserna att transporteras i det samplande systemet. Detektorn i det samplande systemet är av typen STRATOS HSSD, vilken har en känslighet på 0,03-25 % fördunkling/meter (Dafo, 2017). Då det inte är känt vilken känslighet den aktuella detektorn är inställd på användes det förinställda värdet i FDS på 3,24 %.

8.3 Effektkurva

Effektkurvan för en brand i kiosken visas i Figur 31. Den röda kurvan motsvarar den beräknade effektkurvan och den gråa kurvan är effektkurvan från FDS. Det antogs att trä är det huvudsakliga bränslet och att branden tillväxer enligt en αt^2 -kurva med en medelsnabb tillväxt. Övertändningen sker efter ungefär 200 sekunder vid en effekt på 490 kW. Denna övertändningseffekt gäller för när endast ett fönster är öppet. När övertändningen sker har det antagits att det andra fönstret går sönder och att dörren öppnas. Detta ger upphov till en ventilationskontrollerad maxeffekt på 6300 kW. Fullständiga beräkningar av effektkurvan finns i Bilaga H.



Figur 31 - Beräknad effektkurva samt effektkurva från FDS för en brand i kiosken.

8.4 Utrymningstid

Utrymningstiden delades upp i de tre komponenterna varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. Nedan redovisas resultatet för var och en av dessa komponenter.

8.4.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden likställdes med tiden till detektoraktivering och uppskattades med hjälp av FDS. På grund av svårigheten att representera ett samplande system i FDS placerades punktdetektorer ut istället. Den första detektorn aktiverade 60 sekunder efter brandens start. Brandgaserna måste sedan transporteras i det samplande systemet och det uppskattades att sträckan som gaserna måste transporteras är 46 meter. Med en flödes hastighet på 0,8 m/s beräknades tiden till $t = \frac{46}{0,8} = 58$ sekunder. Totalt blir varseblivningstiden alltså 118 sekunder, vilket avrundades till 120 sekunder. Denna tid adderades sedan till resultatet från Pathfinder.

8.4.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden har approximerats till en lognormalfördelning för att ta hänsyn till variationen mellan olika individer. För att motivera en förberedelsetid användes data från tidigare studier kring utrymning. I en studie gjord av Bayer och Rejnö (1999) undersöktes hur olika typer av utrymningslarm påverkar utrymningstiden i en biograf. För akustisk larmsignal framgår att förberedelsetiden låg i intervallet 40-120 sekunder. Personerna som vistas i en biograf skulle kunna liknas med personer som vistas i ishallen då de sitter ner och har sin uppmärksamhet riktad åt samma håll. I ett annat försök undersöktes utrymning från ett varuhus och Frantzich (2001) anger att medeltiden för förberedelsetiden var 80 sekunder, standardavvikelsen 30 sekunder och den maximala tiden 150 sekunder. De värden som använts för förberedelsetiden för branden i kiosken visas i Tabell 13 nedan. Medelvärdet på 60 sekunder motiveras med att vid händelse av en riktig brand bör förberedelsetiden vara något kortare än i en utrymningsövning. Då personerna på läktaren är samlade bör den sociala påverkan vara något större än i varuhus vilket motiverar standardavvikelsen på 20 sekunder. Vidare antas att när övertändning sker bör samtliga personer reagera och börja utrymma. Övertändning sker efter drygt 200 sekunder och varseblivningstiden är 120 sekunder. Maxvärdet för förberedelsetiden har därför satts till 90 sekunder vilket innebär att de sista personerna börjar utrymma när övertändning sker eller några sekunder efter det.

Tabell 13 - Förberedelsetid som använts för simuleringarna.

	Medel [s]	Standardavvikelse [s]	Max [s]
Förberedelsetid	60	20	140

8.4.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden beräknas av Pathfinder men beror av ett antal parametrar som användaren definierar. Parametrar som påverkar förflyttningstiden är gånghastighet och axelbredd för personerna som utrymmer. Samtliga indataparametrar som använts i Pathfinder redovisas i Bilaga D. Förflyttningstiden beror även av vilka nödutgångar som finns tillgängliga. I detta scenario blockeras huvudentrén av branden. Det har även antagits att personer på läktarna kommer att undvika nödutgången i ishallens nordvästra hörn eftersom branden måste passeras för att nå denna utgång. Det högsta tillåtna antalet personer på läktarna är 250 personer vilket också har använts i simuleringarna. Det antogs att fördelningen på publiken är 40 % vuxna, 40 % barn och 20 % seniorer. Fem rullstolsburna personer inkluderades i simuleringarna.

8.4.4 Total utrymningstid

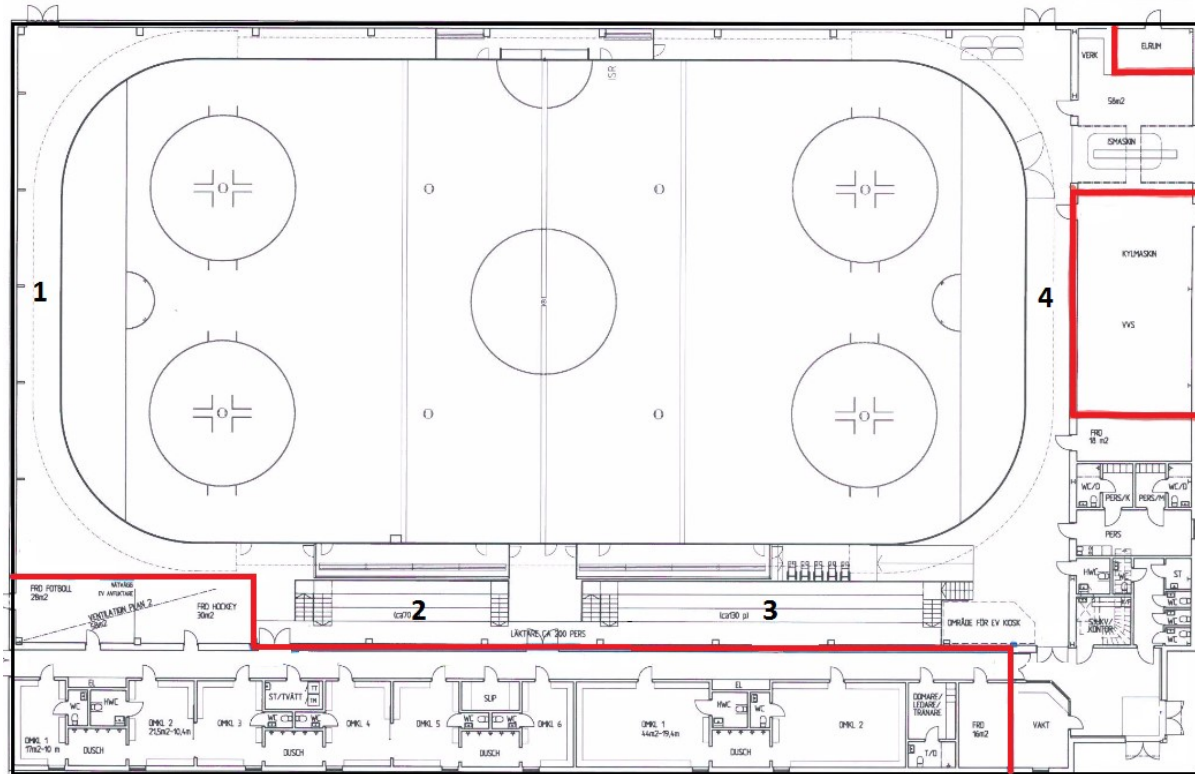
Resultat från de 15 utrymningssimuleringarna visas i Tabell 14. De värden som visas är den totala utrymningstiden vilket innebär att varseblivningstiden har lagts till. Medelvärdet för utrymningstiden är 530 sekunder. Den snabbaste utrymnings tog 500 sekunder och den långsammaste tog 560 sekunder.

Tabell 14 - Minimum, medel och maximum för den totala utrymningstiden för kioskbranden.

Minimum [s]	Medel [s]	Maximum [s]
500	530	560

8.5 Tillgänglig tid

I FDS-simuleringen gjordes mätningar i flertalet mätpunkter. För att få en bra överblick av förhållandena i ishallen valdes fyra mätpunkter ut för att representera hela ishallen. I Figur 32 nedan framgår placeringen av punkterna 1, 2, 3 och 4. Med undantag från mätpunkter i direkt anslutning till branden uppmättes inga nivåer som var högre än de som visas i diagrammen.

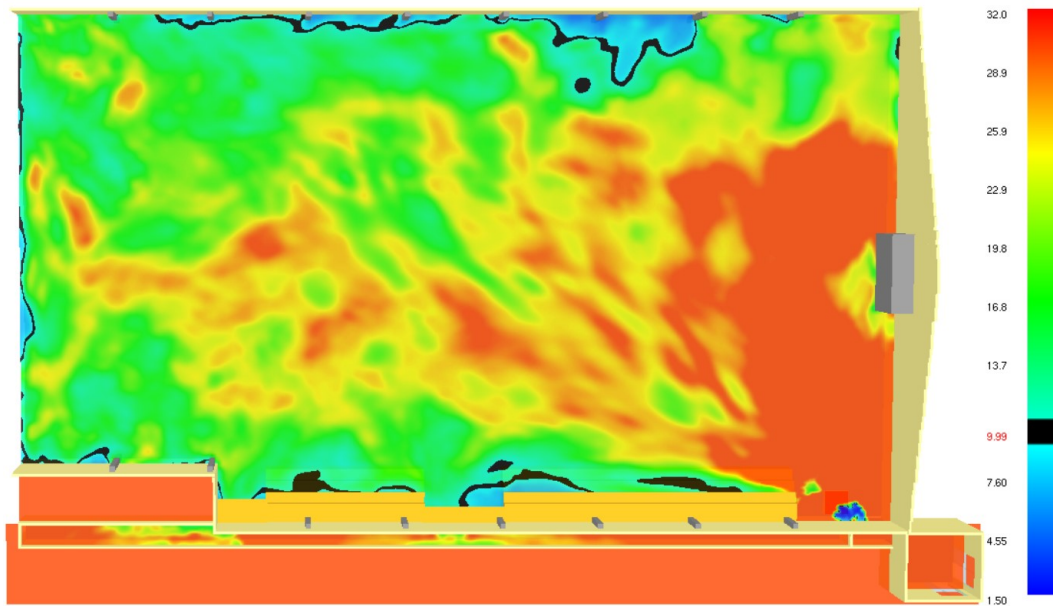


Figur 32 - Placeringen av mätpunkterna från vilka resultat redovisas.

Förhållandet mellan brandens karakteristiska diameter och cellstorleken i FDS, $\frac{D^*}{\delta x}$, beräknades till 14,5 och brandens dimensionslösa effekt, Q^* , beräknades till 0,92. Båda dessa värden ligger inom de rekommenderade intervallen (BIV, 2013). På grund av tidsbrist avbröts simuleringen av kioskbranden innan den var klar. Det resulterade i att brandförloppet simulerades under 820 sekunder istället för 900 sekunder.

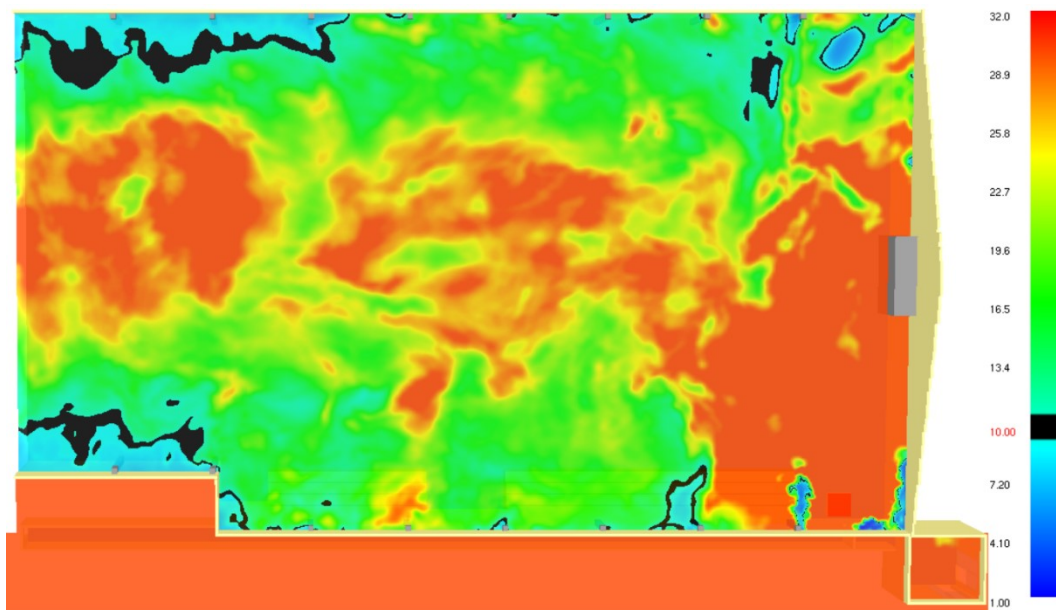
8.5.1 Siktbarhet

Kriteriet som använts för sikten i denna analys är att den inte får understiga 10 meter. Sikten undersöktes 2 meter över golvnivån samt 4,4 meter över golvnivån vilket motsvarar 2 meter över den högsta läktarnivån. Sikten 2 meter över golvnivån börjar bli 10 meter ungefär 580 sekunder efter brandens start vilket framgår av Figur 33 nedan. De områden där sikten är 10 meter visas i figuren som blåa områden med svarta konturer. Skalan till höger i figuren visar vilken sikt som olika färger motsvarar. Figuren är orienterad så att läktaren är i den nedre delen och entrén i det nedre högra hörnet.



Figur 33 - Sikten 2 meter över golvnivån efter 580 sekunder. De svarta konturerna visar de ställen där sikten är 10 meter.

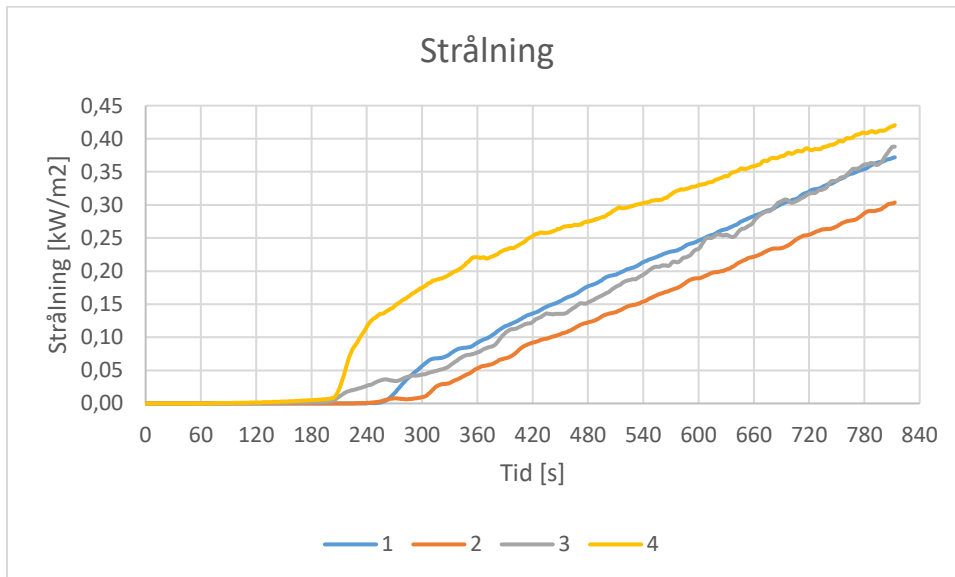
I Figur 34 visas sikten 4,4 meter över golvnivån 350 sekunder efter brandens start. Vid denna tidpunkt har sikten börjat bli 10 meter i vissa områden i ishallen.



Figur 34- Sikten i ishallen 2 meter ovanför översta läktarnivån efter 350 sekunder. Vid denna tidpunkt har sikten på vissa områden blivit 10 meter.

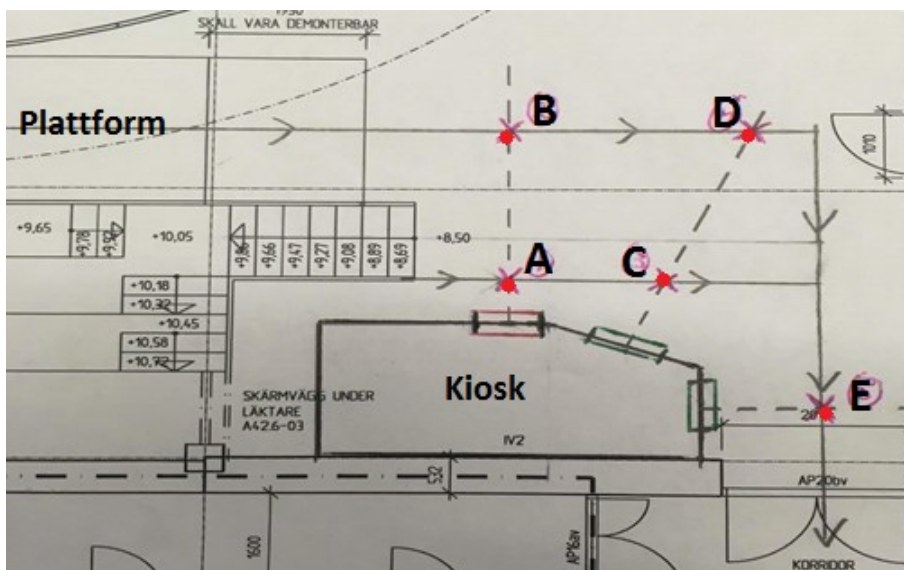
8.5.2 Värmestrålning/värmedos

De kriterier som använts är att personer som mest får utsättas för en strålningsnivå på 2,5 kW/m² och en värmedos på 60 kJ/m² vid strålningsnivåer över 1 kW/m². Uppmätta strålningsnivåer för punkt 1-4 visas Figur 35. Strålningsnivåerna blir som mest 0,40 kW/m² och kritiska nivåer för värmedos uppnås inte heller då en person ska utsättas för minst 1 kW/m² innan värmedosen tas i beaktning.



Figur 35 - Grafen visar hur strålningen i mätpunkterna varierar under tid för scenariot där brand uppstår i kiosken.

Personer med funktionsnedsättning kommer att befinna sig på plattformen belägen nedanför den norra läktaren. Om en brand uppstår i kiosken har dessa personer endast möjlighet att utrymma genom nödutgången i ishalls nordvästra hörn. För att ta sig till denna utgång måste personerna ta sig förbi den brinnande kiosken. För att undersöka om detta är möjligt gjordes handberäkningar för strålningsnivån i punkterna A-E vilkas placering framgår i Figur 36.



Figur 36 - Punkterna A-E i vilka strålning från kiosken har beräknats.

Det antogs att den huvudsakliga strålningen sker från öppningar i kiosken så som dörren och fönsterna samt att flamtemperaturen är 800°C. Resultatet visas i Tabell 15 nedan ur vilken det framgår att strålningen överstiger 2,5 kW/m² i samtliga punkter förutom punkt D. För att personer med funktionsnedsättning ska kunna ta sig till säkerhet måste de åtminstone passera punkt B där strålningsnivån är 4,5 kW/m².

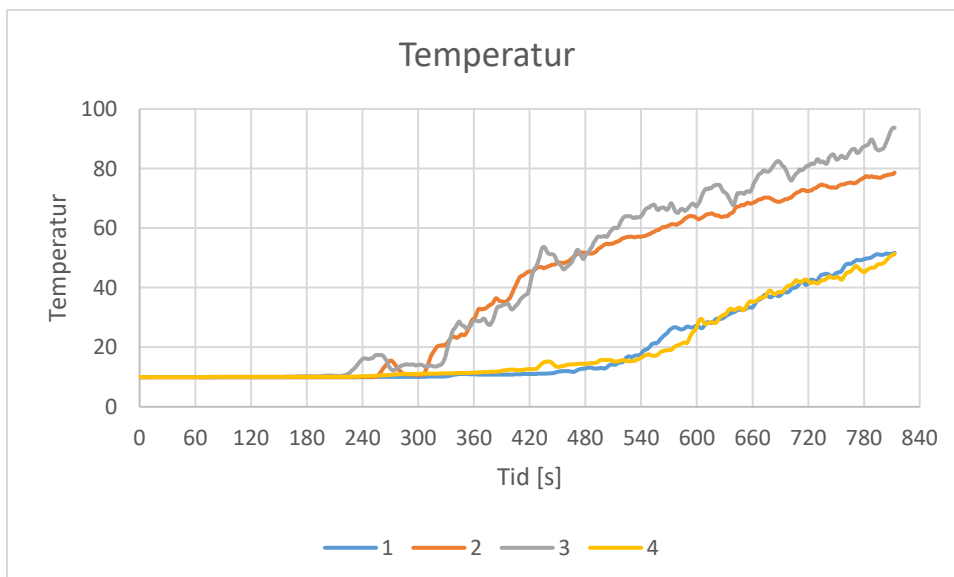
Tabell 15 - Beräknade strålningsnivåer i punkterna A-E.

	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E
\dot{q}'' [kW/m²]	37	4,5	15	1,8	14

Fullständiga strålningsberäkningar redovisas i Bilaga I.

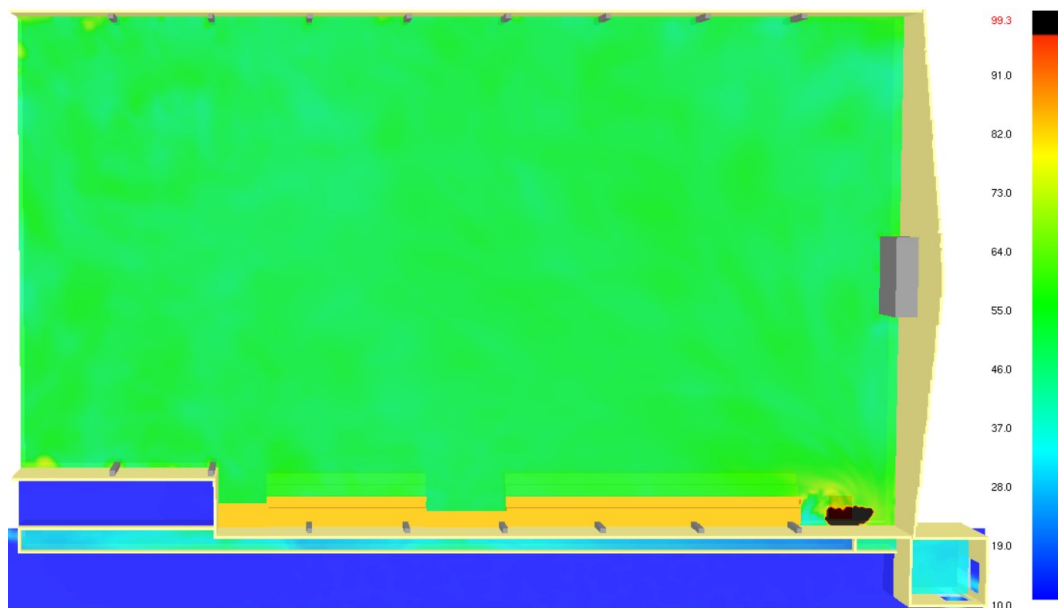
8.5.3 Temperatur

Den kritiska nivå för temperaturen som använts i analysen är att temperaturen inte får överstiga 80°C. Temperaturen i punkterna 1-4 visas i Figur 37. Som framgår av figuren överstigs temperaturen endast i punkt 3 efter ungefär 720 sekunder.



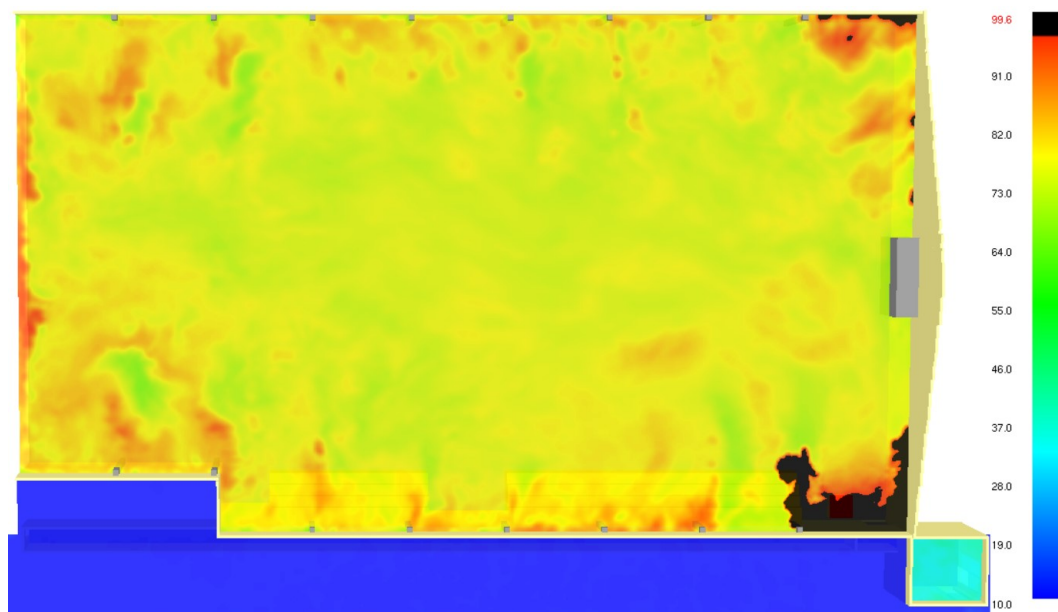
Figur 37 - Temperaturen i ishallen under brandförloppet för brand i kiosk.

I Figur 38 visas temperaturfördelningen 2 meter över golvet 820 sekunder in i brandförloppet. Vid denna tidpunkt är temperaturen i ishallen ungefär 50 °C. Läktare och korridor syns i figurens nedre del.



Figur 38 – Temperaturen i ishallen är ungefär 50 °C efter 820 sekunder 2 meter över golvnivån.

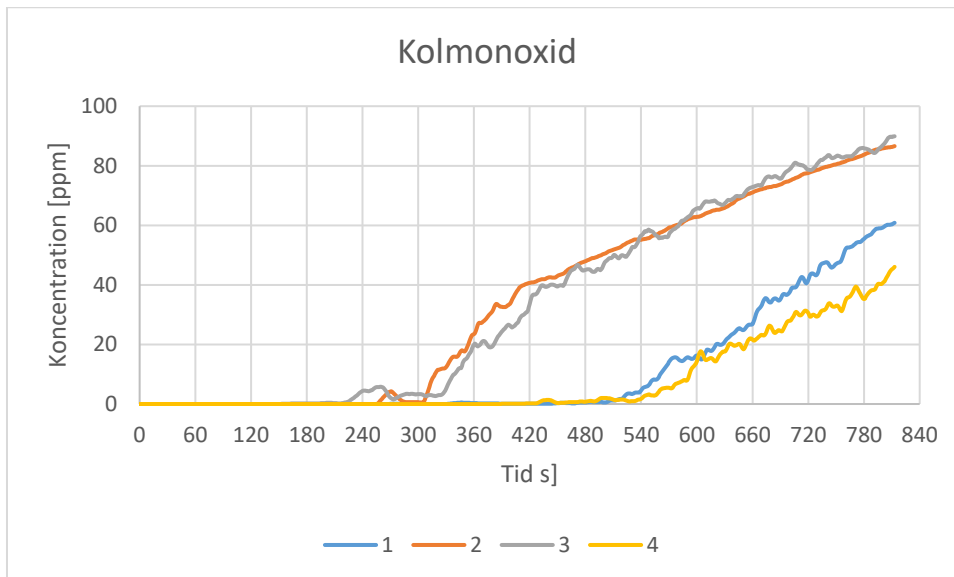
I Figur 39 visas temperaturen 4,4 m över golvet 820 sekunder efter brandens start. Temperaturen är ungefär 75 °C vid denna tidpunkt.



Figur 39 - Temperaturen 4,4 m över golvnivå är ungefär 75 °C 820 sekunder in i brandförloppet.

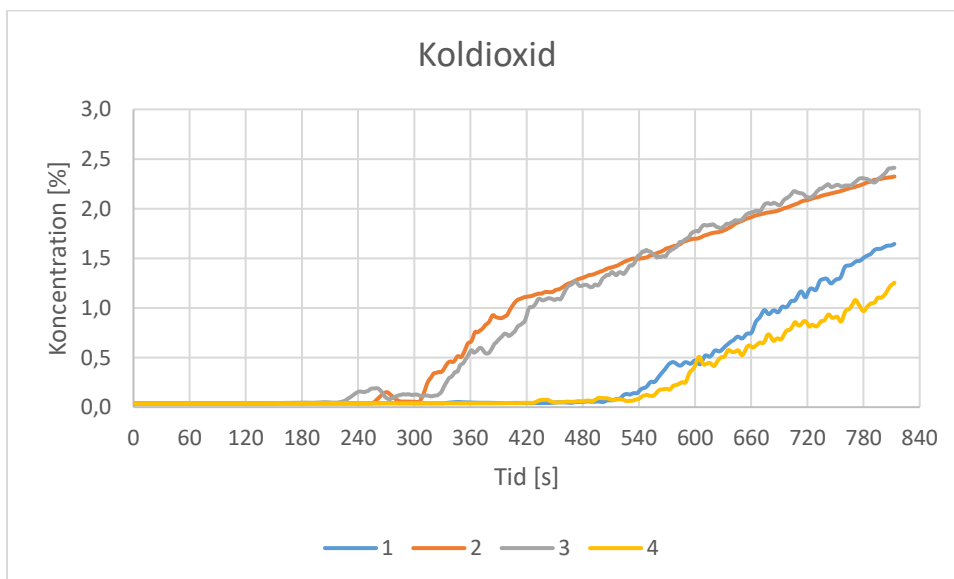
8.5.4 Toxicitet

Mätdata för toxiciteten redovisas för mätpunkterna 1-4. För kolmonoxid gäller att halten inte får överstiga 1200 ppm. Från Figur 40 framgår att halten som mest uppnår 90 ppm vilket innebär att kolmonoxiden inte utgör någon fara för personerna i ishallen.



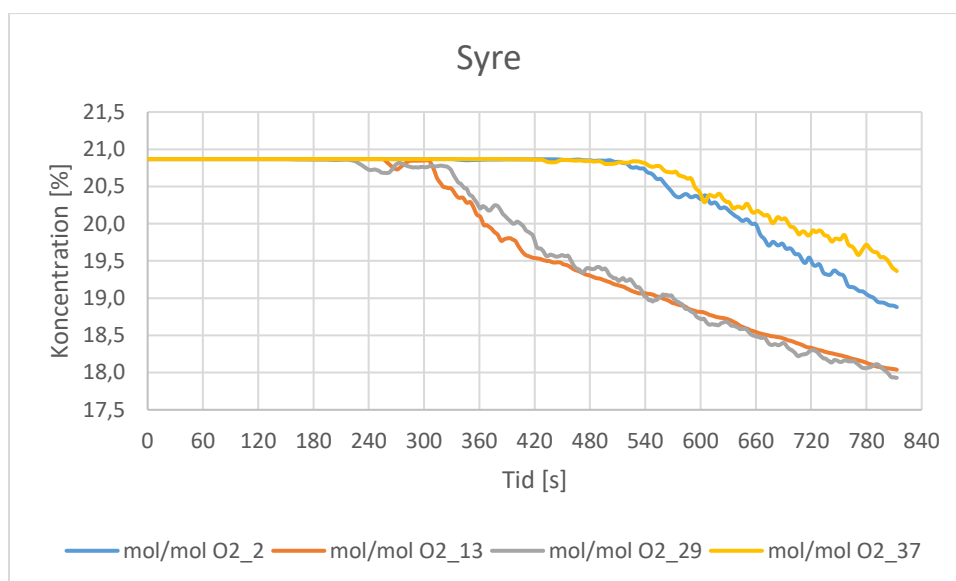
Figur 40 - Kolmonoxidhalten i brandförloppet i scenariot med brand i kiosk.

Den kritiska nivån för koldioxidhalten har satts till 5 %. Från Figur 41 framgår att denna halt inte uppnås då den högst uppmätta halten är 2,4 %.



Figur 41 - Koldioxidhalten i brandförloppet i scenariot med brand i kiosk.

Syrenivån får inte understiga 12 %. Från Figur 42 framgår att syrenivån som lägst blir 18 %.



Figur 42 - Syrehalten i brandförloppet i scenariot med brand i kiosk.

8.6 Sammanställning av resultat

Resultaten från FDS visar att sikten och temperaturen uppnår kritiska nivåer. Sikten blir kritisk 2 meter över marken efter 580 sekunder och utrymningen tar som längst 560 sekunder. Tidsmarginalen är i detta fall endast 20 sekunder. Visserligen blir sikten kritisk efter 350 sekunder på en höjd av 4,4 meter men genom att studera resultatet från utrymningssimuleringarna kan det konstateras att efter 350 sekunder befinner sig endast ett fåtal personer på läktaren. I Pathfinder är personerna begränsade till att använda trapporna men i verkligheten skulle en person på läktaren kunna ta ett steg ner till nästa läktarnivå om sikten blir dålig. Det anses därför okej att sikten blir kritisk på läktaren. Samma resonemang används för temperaturen som endast blir kritisk på översta läktarnivån. Handberäkningar visade att strålningsnivån från kiosken gör att personer med funktionsnedsättning inte klarar av att utrymma på ett säkert sätt. Resultat från Pathfinder visar att utrymningstiden för personer med funktionsnedsättning är 270 sekunder men strålningsnivåerna blir kritiska redan efter 200 sekunder. Tidsmarginalen är alltså -70 sekunder. I Tabell 16 nedan visas en sammanställning av den tillgängliga tiden och utrymningstid.

Tabell 16 - Sammanställning av resultat för tillgänglig tid och utrymningstid.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]	
Siktbarhet	580	560	20	Ok
Värmestrålning/Värmedos (Rullstolsburen)	200	270	-70	Ej ok
Värmestrålning/Värmedos (Icke rullstolsburen)	>840	560	>280	Ok
Temperatur	>840	560	>280	Ok
Toxicitet	>840	560	>280	Ok

8.7 Känslighetsanalys

Resultaten som tagits fram för utrymningstid och tillgänglig tid bygger på vissa antaganden som gjorts. För att undersöka om resultatet är robust genomfördes en känslighetsanalys för att studera hur antaganden som gjorts påverkar resultatet.

8.7.1 Brandens placering

I FDS har branden placerats på samma plats som kiosken är placerad i ishallen. Det innebär att branden blockerar huvudentrén vilket troligen är ett av de värre scenarierna. Brandens placering medför även att personer med funktionsnedsättning inte kan ta sig ut på ett säkert sätt. På grund av tidsbegränsning har inga ytterligare simuleringar gjorts i FDS för att studera placeringens påverkan. Den största påverkan som brandens placering har är dock vilka nödutgångar som finns tillgängliga. Det anses att brandens nuvarande placering är den värsta möjliga.

8.7.2 Effektkurva

Vid framtagning av effektkurvan användes en medelsnabb tillväxthastighet med $\alpha = 0,012$ kW/s² vilket resulterade i 200 sekunder till övertändning. Om istället en snabb tillväxthastighet används med $\alpha = 0,047$ kW/s² sker övertändningen redan efter 100 sekunder. Effektkurvan påverkas bland annat av storleken på öppningarna till kiosken. Vid beräkningen av effektkurvan har konservativa antaganden gjorts. Innan övertändning sker har det antagits att endast det minsta fönstret är öppet vilket medför den lägsta möjliga effekten som krävs för övertändning. När övertändning sker har det antagits att dörren och båda fönsterna öppnas vilket medför den högsta möjliga ventilationskontrollerade effekten. På grund av tidsbegränsning har inte en ny FDS-simulering kunnat köras för att studera effekten av en snabb tillväxt istället för en medelsnabb tillväxt. Dock anses det att de antaganden som gjorts gällande öppningar bidrar till en effektkurva som ger konservativa resultat.

8.7.3 Sikt

Vid känslighetsanalysen för sikten utnyttjades det faktum att soot yielden (y_s) är proportionell mot koncentrationen sot (C_s) som i sin tur är proportionell mot den optiska densiteten (D_e). Även optisk densitet (D_e) och optisk densitet per meter (D_L) är proportionella gentemot varandra (Nilsson & Holmstedt, 2007). Det finns ett approximativt samband mellan optisk densitet per meter (D_L) och sikt vilket presenteras nedan:

$$D_L = \frac{1}{sikt (m)}$$

Sammantaget gäller alltså:

$$y_s \propto C_s \propto D_e \propto D_L = \frac{1}{sikt (m)}$$

Utifrån detta följer att av en 25 % ökning av soot yielden medför en 20 % reduktion av sikten. För att ta reda på hur lång tid det tar att uppnå kritiska förhållanden vid en ökning av soot yielden på 25 % studeras utdatan från FDS då sikten är 12,5 m istället för 10 m. Tiderna presenteras Tabell 17 nedan tillsammans med tiden för utrymning och den tidsmarginal som erhålls.

Tabell 17 - Tid till kritiska förhållanden med ökad soot yield.

Tid till kritiska förhållanden	Utrymningstid	Marginal
780	480	300

8.7.4 Utrymningstid

Ett antal nya utrymningssimuleringar gjordes för att studera effekten av de olika indataparametrarna. Den första parametern som ändrades var personantalet som ökades från 250 till 300 personer. Varseblivningstiden ökades med 25 % så att den blev 150 sekunder istället för 120 sekunder. Från början angavs gånghastigheten och förberedelsetiden som normal- respektive lognormalfördelningar. Dessa två parametrar angavs som uniformfördelningar i känslighetsanalysen för att studera effekten av fördelningen. Även åldersfördelningen undersöktes och ändrades från 40 % barn, 40 % vuxna och 20 % seniorer till en tredjedel av varje ålderskategori. Till sist ändrades valet av nödutgång så att samtliga personer på läktaren väljer att utrymma genom nödutgången i korridorens södra ände. Resultaten från de nya simuleringarna visas i Tabell 18. Resultaten visar att marginalen mellan tillgänglig tid och utrymningstid blir negativ för flera av parametrarna.

Tabell 18 - Resultat för känslighetsanalys i Pathfinder där olika parametrar har ändrats.

	Utrymningstid			Icke rullstolsburen	
	Minimum	Medel	Maximum	Tillgänglig tid	Marginal
Normal	500	530	560	580	20
Personantal	590	610	640	580	-60
Gånghastighet	520	540	560	580	20
Varseblivningstid	530	560	590	580	-10
Förberedelsetid	490	510	530	580	50
Åldersfördelning	550	570	590	580	-10
Val av utgång	630	650	700	580	-120

Utrymningen för de personer som sitter i rullstol har räknats med i den totala utrymningstiden, men de har endast 200 sekunder på sig från det att branden startar till att de måste ha passerat utrymmet mellan läktaren och kiosken. Efter den tidpunkten blir strålningen för hög för att kunna passera kiosken.

8.7.5 Brandens temperatur

Som nämnts ovan måste personer med funktionsnedsättning passera den brinnande kiosken för att ta sig till säkerhet. Möjligheten att passera kiosken beror främst på strålningen från kiosken vilken i sin tur beror av flamtemperaturen. I strålningsberäkningarna användes en temperatur på 800°C och för att studera effekten av denna temperatur gjordes beräkningarna om för andra temperaturer upp till 1000°C. Resultaten visas i Tabell 19 nedan från vilken det

framgår att strålningsnivåerna nästa blir dubbelt så stora när temperaturen ökas från 800°C till 1000°C. Enligt Drysdale (2011) bör temperaturen ligga runt 850 °C för trä, därför kan de beräknade resultaten vara något låga.

Tabell 19 - Temperaturens inverkan på strålningen.

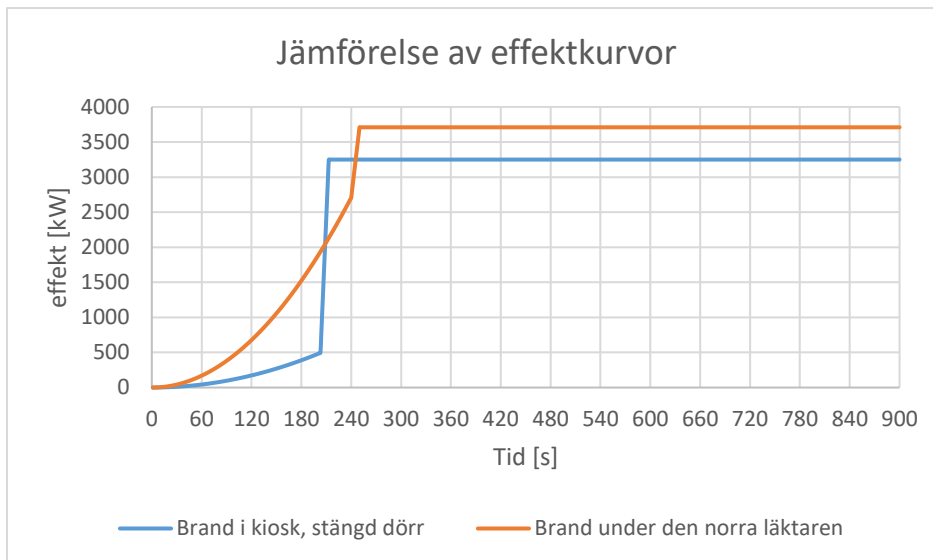
Temperatur	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E
800	37	4,5	15	1,8	14
850	44	5,5	18	2,2	17
900	53	6,5	21	2,5	21
950	62	7,5	25	3	24
1000	73	9	30	3,5	29

8.8 Åtgärdsförslag

Resultaten visar att kritiska förhållanden uppnås och den tillgängliga tiden understiger utrymningstiden. Mest problematiskt blir det för personer med funktionsnedsättning som måste passera kiosken för att utrymma. Dessa personer exponeras för en strålningsnivå som överstiger den kritiska nivån. För att säkerställa att samtliga personer kan utrymma byggnaden på ett säkert sätt har ett antal åtgärder föreslagits vilka presenteras och valideras nedan.

8.8.1 Dörrstängare

Den huvudsakliga strålningen från kiosken kommer från dörren som har antagits stå öppen i brandscenariot. Genom att montera en dörrstängare kan det säkerställas att dörren alltid står stängd vilket eliminerar den största delen av den strålning som personerna utsätts för. I Figur 36 blir strålningen i punkt A och B noll vilket lämnar fri passage för personer i rullstol. Med en dörrstängare kan alltså personer passera kiosken på ett säkert sätt. Med en dörrstängare reduceras även den maximala effekten på branden eftersom öppningsarean minskar. Den nya maximala effekten blir ungefär 3300 kW. Denna effekt blir då mindre än effekten för en brand under den norra läktarsektionen vilket framgår av Figur 43. För branden under den norra läktaren var sikten det enda kritiska förhållande som uppstod och detta skedde efter 800 sekunder vilket framgår av avsnitt 7.7.1. Med en dörrstängare kan det anses att den tillgängliga tiden med god marginal överstiger utrymningstiden. En dörrstängare ska alltså monteras.



Figur 43 - Jämförelse mellan effektkurvor för kiosk med dörrstängare och norra läktaren.

8.8.2 Detektor

I dagsläget finns ingen detektor i kiosken utan detektion sker i det samplande systemet i ishallen. Detta gör att tiden till detektion är 120 sekunder. Genom att installera en detektor i kiosken skulle detekteringstiden minska vilket också innebär att den totala utrymningstiden skulle minska. Beräkning i programmet DetAct-T2 visar att detektion bör ske efter 30 sekunder om en detektor placeras i kiosken. Detta medför att varseblivningstiden reduceras med 90 sekunder. En detektor *bör* installeras i kiosken för att minska utrymningstiden.

9. Brand i hockeyförråd

Från grovanalysen valdes att vidareundersöka brandscenario 18 för att det ligger i en annan brandcell än de andra valda scenarierna och på grund av den höga konsekvensen av denna brand.

9.1 Beskrivning

Om det uppstår någon typ av elfel i något av hockeyförråden finns risk för att utrustningen som är lagrad där inne antänds. Branden skulle medföra rökutveckling som försvårar utrymning från omklädningsrummen. De personer som befinner sig inne i ishallen kommer inte beröras av denna brand då den uppstår i en annan brandcell och det finns tillgång till andra utrymningsvägar från ishallen. Personerna som drabbas är de som befinner sig i omklädningsrummen. Scenariot som studeras antas vara före eller efter en match och det har antagits att det maximala tillåtna antalet personer befinner sig i omklädningsrummen, det vill säga 50 personer.

9.2 Metod

I följande avsnitt presenteras metoderna som använts för att ta fram en effektkurva samt bedöma utrymningstid och tillgänglig tid.

9.2.1 Effektkurva

När effektkurvan togs fram beräknades först effekten som krävs för att övertändning ska ske, \dot{Q}_{fo} , vilken beror av omslutningsarean i utrymmet samt area och höjd på öppningarna. Sedan beräknades den maximala effekten för en ventilationskontrollerad brand, \dot{Q}_{vent} , vilken beror av bland annat area och höjd på öppningar. Det fanns en stor variation bland de föremål som förvarades i utrymmet och för att representera dessa valdes lagrad ABS-plast som bränsle. Den maximala effekten för en bränslekontrollerad brand jämfördes med den maximala effekten för en ventilationskontrollerad brand. Det antas att branden tillväxer enligt en at^2 -kurva fram till dess att övertändning sker. Med hjälp av α -värdet kunde tiden till övertändning beräknas. Effektkurvan redovisas i avsnitt 9.3 nedan.

9.2.2 Pathfinder

För att uppskatta utrymningstiden från ishallen användes datorprogrammet Pathfinder. På grund av begränsningar i programmet byggdes ishallens geometri upp med vissa förenklingar. För gånghastigheten och förberedelsetiden användes fördelningar istället för punktvärden för att representera skillnader mellan olika individer. Förberedelsetiden motiverades utifrån tidigare utförda utrymningsförsök och antaganden. Varseblivningstiden likställdes med tiden till detektoraktivering och beräknades med datorprogrammet DetAct-T2. Varseblivningstiden inkluderades inte i Pathfinder utan adderades till resultaten i efterhand. Eftersom några indataparametrar definierats som fördelningar gjordes 15 simuleringar för att inkludera effekten av dessa. För att undersöka om 15 simuleringar var tillräckligt gjordes en ytterligare simulering för att jämföra medelvärden mellan 15 och 16 simuleringar. Om skillnaden var mindre än 1 % ansågs antalet simuleringar vara godkänt.

9.2.3 Argos

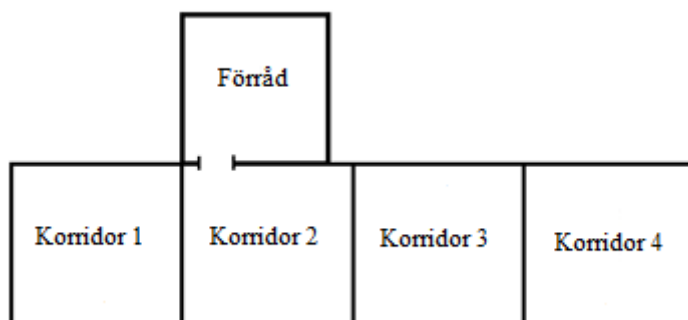
För att uppskatta den tillgängliga tiden som finns för utrymning användes datorprogrammet Argos för att simulera brandförloppet. Syftet med Argos-simuleringen var att studera om kritiska förhållanden uppstår, och i så fall var och när detta sker. Målet var att ta fram mätdata för temperatur, strålning, siktförhållanden samt koncentration av syre, koldioxid och

kolmonoxid, och se hur lång tid det tar innan dessa når upp till kritiska nivåer. I brandscenariot simulerades en timme av brandförloppet eftersom det är en timme som är det förinställda värdet i Argos. De utrymmen som inkluderades i simuleringen var ishockeyförrådet och korridoren eftersom dessa utrymmen kommer påverkas mest av branden och röken.

Det finns flera begränsningar i Argos. Byggnadens grundmaterial ska väljas och i ishallen valdes betong. Vilken typ av golv, väggar och tak ska också väljas men det finns inte något alternativ som stämmer överens med vad som faktiskt finns. Väggarna som är i anslutning till omgivningen sätts till det som är förinställt i programmet, *Prefab. Concrete external wall*. Taket sätts till *Concrete/mineral-wool/felt* som är förinställt i Argos. I Argos skrivs mått in, arean, höjden på rummet längden och maximala distansen som kan bli i rummet alltså diagonalen i ett fyrkantigt rum. Dörren representeras i Argos av ett hål i väggen då dörröppningen antas vara lika stor under hela simuleringen. Den antas till typen *Hole (Miscellaneous)*.

I simuleringen har vissa förenklingar gjorts. Då det inte är möjligt att definiera allt som finns i hockeyförrådet användes ABS-plast som representativt bränsle. För att få in branden på ett lämpligt sätt används den effektkurva som är framtagen för brand i hockeyförrådet. *Energy Formula Fire* användes för att få in at^2 -kurvan. *Optical smoke potential* beräknas till 476 dB/m, då det är ett värde på ABS-plast. Strålningsfraktionen sätts till 0,35 som är standard.

Då syftet med simuleringarna var att studera kritiska förhållanden var det främst siktförhållanden, temperatur, strålning samt koncentration av syre, koldioxid och kolmonoxid som var av intresse att mäta. Argos kan dock inte beräkna koncentrationen koldioxid och kolmonoxid utan det har gjorts genom handberäkningar. Argos klarar inte av att korridoren är lång och därför delas korridoren upp i fyra delar. Delarna sätts sedan samman genom att hela väggen mellan varje korridorsdel blir ett hål. För att Argos ska ge tillförlitliga resultat bör inte rummets längd överstiga dess bredd med en faktor 5. För att det inte skulle bli för många rum med i simuleringen används bara halva korridoren, 30 m. Alla rum som utgör korridoren är ihopkopplade med varandra. Korridorsdel 2 och hockeyförrådet är kopplade med varandra. De tre första korridorsdelarna är lika stora och den sista är något mindre. Se Figur 44 för en översiktsskiss över de rum som är med i Argos-simuleringen.



Figur 44 - Rumsuppbyggnaden i Argos för korridor och förråd.

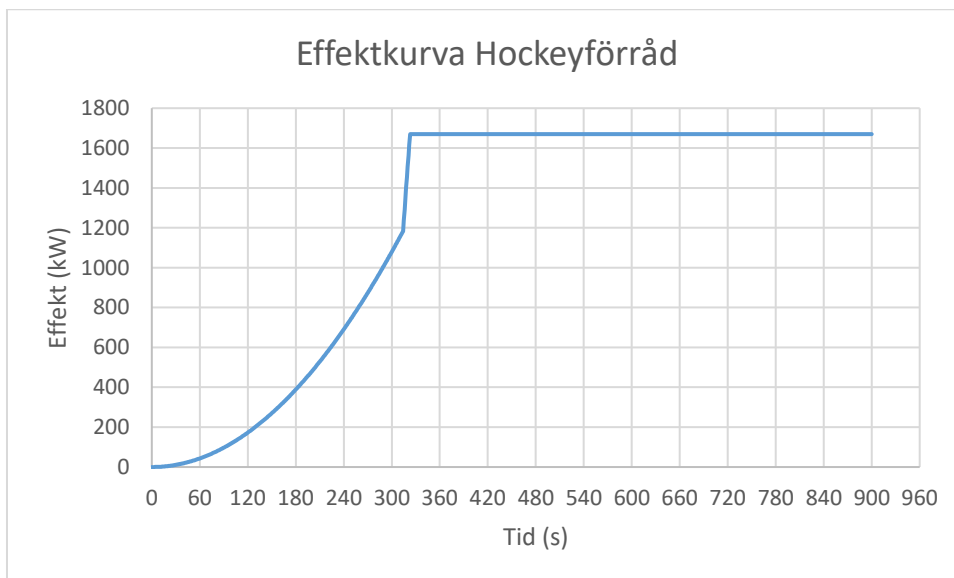
I simuleringen antas inga andra öppningar än de som skrivits in i Argos. I förrådet gjordes ett hål för att branden ska kunna uppnå maximal effekt och det hålet ska kompensera för alla andra öppningar och läckage som inte finns med. Hålet gjordes längs med golvet på väggen

längs långsidan mot omgivningen. Alla andra rum antas helt täta. Alla andra dörrar, springor, ventilation med mera försummas. De andra dörrarna i korridoren antas vara stängda och därför inte påverka. Glaset ut mot slussen i korridoren försummas också.

9.3 Effektkurva

Effektkurvan som presenteras i Figur 45 är beräknad som en flambrand med en medelsnabb α^2 -tillväxtfas fram till övertändning. Då föremål av varierande material förvaras i förrådet antogs att det var plasten som var det mest representativa då plast har en relativt snabb tillväxtfas och sotar relativt mycket i förhållande till andra material. Den plast som användes vid beräkningarna var ABS-plast eftersom denna typ av plast är vanligt förekommande i hockeyutrustning. Tillväxthastigheten är baserad på materialet som använts vid beräkningarna. Under normala förhållanden är dörren låst och när dörren är stängd kommer en eventuell brand att självslockna alternativt bli en glödbrand. Då syftet var att studera en brand har det antagits att dörren står på glänt för att öka syretillgången.

Ur Figur 45 framgår att övertändning sker efter drygt 300 sekunder vid en effekt på 1200 kW, varpå branden når sin maxeffekt på 1600 kW. För alla detaljer kring uträkningarna av effektkurvan se Bilaga J.



Figur 45 - Effektkurva för brand i hockeyförråd med dörren på glänt.

9.4 Utrymningstid

För att uppskatta utrymningstiden användes Pathfinder för att göra utrymningssimuleringar. Som nämnts tidigare delas utrymningstiden upp i de tre komponenterna varseblivningstid, förberedsetid och förflyttningstid. Nedan redovisas resultat för var och en av komponenterna.

9.4.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid det tar till dess att personer får information om att en brand har utbrutit. I denna analys har varseblivningstiden likställts med tiden till detektoraktivering och därmed tiden till att utrymningslarmet aktiveras. I förrådet fanns en rökdetektor vars aktiveringstid beräknades med datorprogrammet DetAct-T2. Tiden till detektoraktivering beräknades till 60 sekunder.

9.4.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden har approximerats till en lognormalfördelning för att ta hänsyn till variationen mellan olika individer. För att motivera en förberedelsetid användes data från tidigare studier kring utrymning. Om hockeyförrådet antänds antas alla personer som befinner sig i den givna brandcellen vara i omklädningsrummen. Scenariot jämfördes med (Frantzich, 2001) rapport där den fanns en Delphiundersökning av en sjukhusavdelning med liknande geometri som korridor och omklädningsrum. Medeltiden och standardavvikelsen för sjukhusfallet var 130 sekunder respektive 50 sekunder. Medeltiden för förberedelsetiden i hockeyförrådsbranden sätts till 90 sekunder, då det i sjukhusfallet antas att patienterna inte kan fatta egna beslut om utrymning. Då viss samordning för utrymning sker i sjukhuset, antas standardavvikelsen för förberedelsetiden vara något längre för förrådsbranden och sätts till 60 sekunder. Den maximala förberedelsetiden för de som befinner sig på sjukhusavdelningen är 240 sekunder. I korridoren befinner sig dels dubbelt så många människor som i sjukhusavdelningen och dels ingen personal som samordnar och hjälper till med besluten om utrymning för patienterna, men personerna i korridoren antas kunna fatta sina egna beslut. Därför antas det vara rimligt för scenariot med branden i förrådet att också ha en maximal tid på 240 sekunder. Förberedelsetiden som använts vid utrymningssimuleringar redovisas i Tabell 20 nedan. För fullständig beräkning av tider se Bilaga D.

Tabell 20 - Förberedelsetid som använts för simuleringarna.

Tid	Medelvärde [s]	Standardavvikelse [s]	Maxvärde [s]
Förberedelsetiden	90	60	240

9.4.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden beräknas av Pathfinder men beror av ett antal parametrar som användaren definierar. Parametrar som påverkar förflyttningstiden är gånghastighet och axelbredd för personerna som utrymmer. Dessa värden redovisas i Bilaga D. Förflyttningstiden beror även av vilka nödutgångar som finns tillgängliga. För detta scenario gjordes antagandet att det befann sig människor i de fyra omklädningsrum närmast hockeyförråden. Det antogs en fördelning på 90% barn och 10% vuxna och ett totalt antal på 50 personer. De personer som befinner sig i de två omklädningsrum närmast korridorens södra utgång antas använda sig av denna. De personer som befinner sig i de två omklädningsrummen längst bort från hockeyförråden antas utrymma via huvudentrén då antagandet att personer vill undvika att utrymma genom den rökiga korridoren har gjorts.

9.4.4 Total utrymningstid

Simuleringarna avslutades när samtliga personer utrymt lokalen. Som framgår av Tabell 21 nedan tog den snabbaste utrymningen 270 sekunder och den långsammaste 400 sekunder.

Tabell 21 - Sammanställning av resultat från 15 utrymningssimuleringar.

Minimum [s]	Medel [s]	Maximum [s]
270	330	400

9.5 Tillgänglig tid

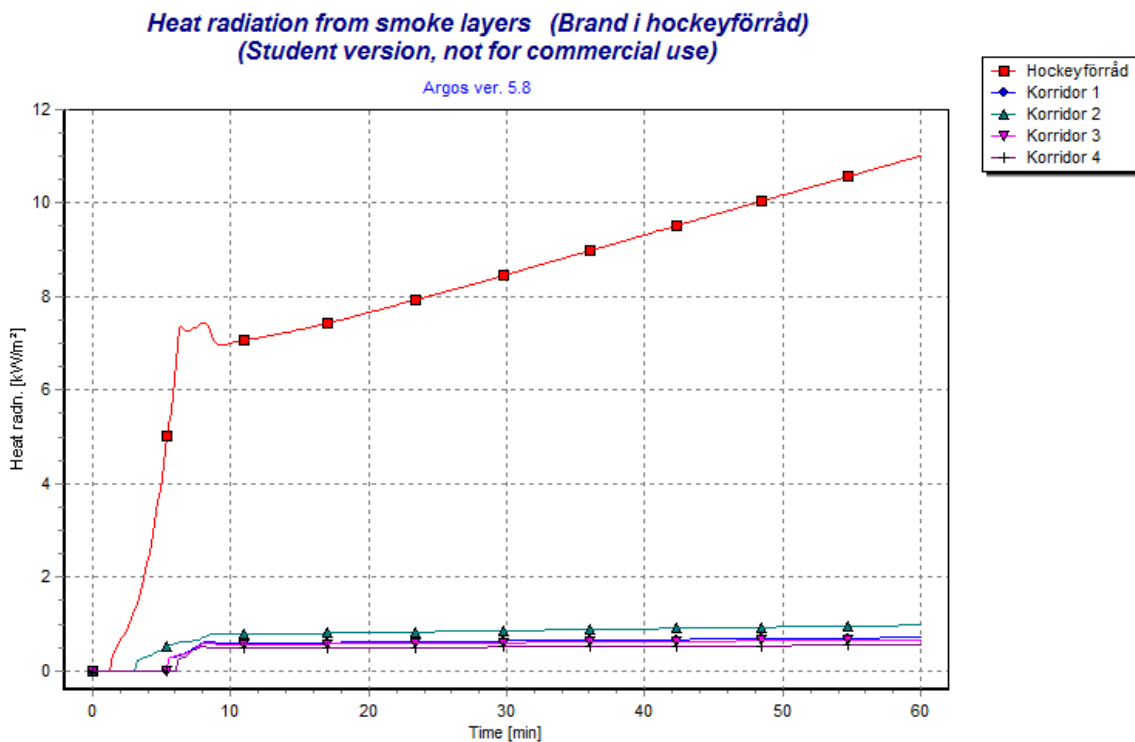
Den tillgängliga tiden uppskattades med hjälp av simuleringsprogrammet Argos. Nedan presenteras resultat för sikt, värmestrålning, temperatur och toxicitet. Indata för Argos finns i Bilaga K.

9.5.1 Siktbarhet

Den kritiska nivån för sikten har satts till 5 meter i korridoren. Simuleringsresultaten visar att efter drygt 165 sekunder är sikten mindre än 5 meter.

9.5.2 Värmestrålning/värmedos

Strålningen når aldrig upp till 1 kW/m^2 , vilket är mindre än den lägsta nivån som krävs för att en person ska utsättas för en riskabel värmedos. I Figur 46 visas simuleringsresultatet för strålningen från rökgaslagret. Rummet hockeyförrådet uppnår $2,5 \text{ kW/m}^2$ efter 120 sekunder. Detta är dock inte relevant i det här fallet då ingen person antas befinna sig där under scenariot, utan det är korridoren som ska jämföras med de kritiska förhållandena.



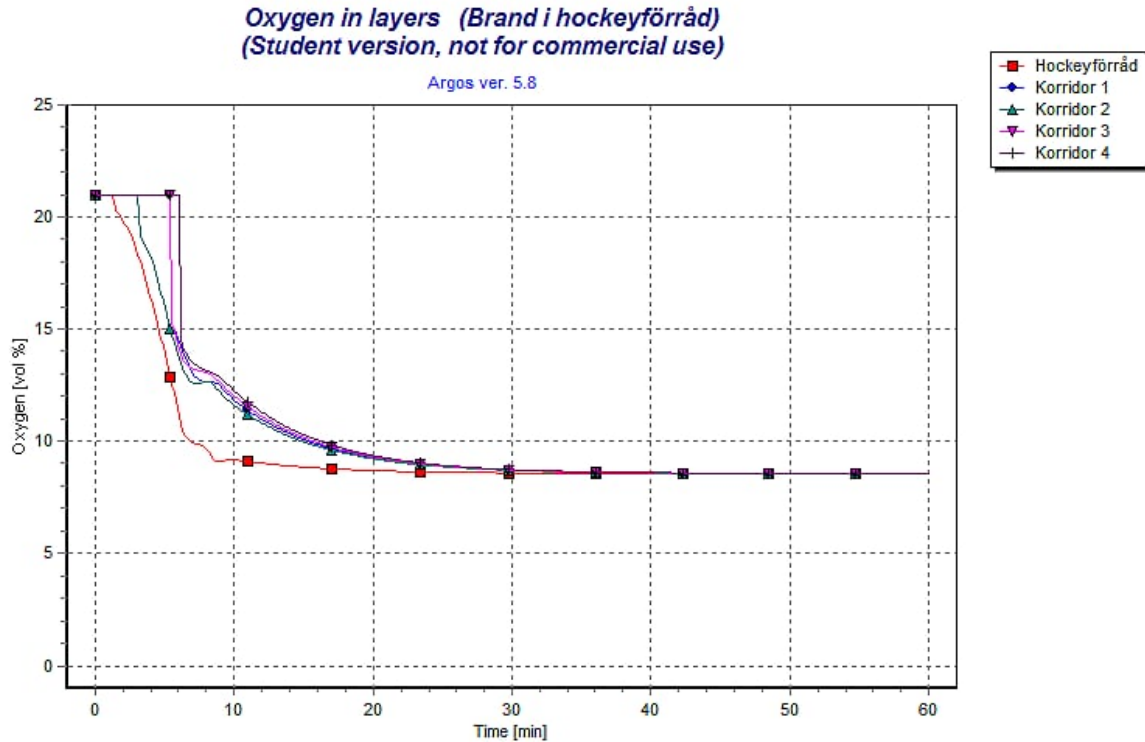
Figur 46 – Strålningnivåerna i hockeyförrådet och de olika delarna i korridoren.

9.5.3 Temperatur

Enligt resultatfilen från Argos når korridorsdelen ”Korridor 2” $80 \text{ }^\circ\text{C}$ efter 240 sekunder, vilket är den korridorsdel som ligger närmast förrådet. Hockeyförrådet uppnår $80 \text{ }^\circ\text{C}$ efter endast 120 sekunder, men där kommer inte några personer befinna sig under scenariot.

9.5.4 Toxicitet

Det som mäts i Argos är syrekoncentrationen. För att veta hur mycket kolmonoxid och koldioxid som kommer att bildas måste beräkningar göras. Kolmonoxid och koldioxid är beräknat enligt Bilaga L. För syrgaskoncentrationen, se Figur 47 nedan.



Figur 47 - Syrenivån i brandgaslager.

Resultatet som beräknades var tiden till det blev kritiskt, se Tabell 22 nedan.

Tabell 22 - Tiden till kritisk nivå.

Ämne	Kritisk tid [s]
CO	180
CO ₂	240
O ₂	420

9.6 Sammanställning av resultat

I Tabell 23 är sammanställningen av resultatet från Argos och Pathfinder.

Tabell 23 - Sammanställning av tillgänglig tid och utrymningstid.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]	
Siktbarhet	165	400	-235	Ej ok
Värmestrålning/Värmedos	>3600	400	>3200	Ok
Temperatur	240	400	-160	Ej ok
Toxicitet	180	400	-220	Ej ok

Tabellen visar att siktbarheten, temperatur och toxicitet uppnår kritiska nivåer innan alla personer har hunnit utrymma. Argos visar att sikten kommer att bli kritiskt i korridoren efter ungefär 165 sekunder men även om sikten är kritiskt kommer det gå att utrymma. I korridoren är det lätt att hitta ut eftersom det bara är att följa väggarna åt något håll. Temperaturen är en medeltemperatur som kommer att bli för hög i brandgaslagret som även sjunker till under två meter. Toxiciteten uppnår kritisk nivå i brandgaserna innan alla personer hinner utrymma. Det är materialet plast som gör att det bildas mycket brandgaser. Att det är ett litet utrymme bidrar också till mycket brandgaser. Värmestrålningen utgör inte något problem.

9.7 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen undersökts hur antaganden som gjorts påverkar resultatet.

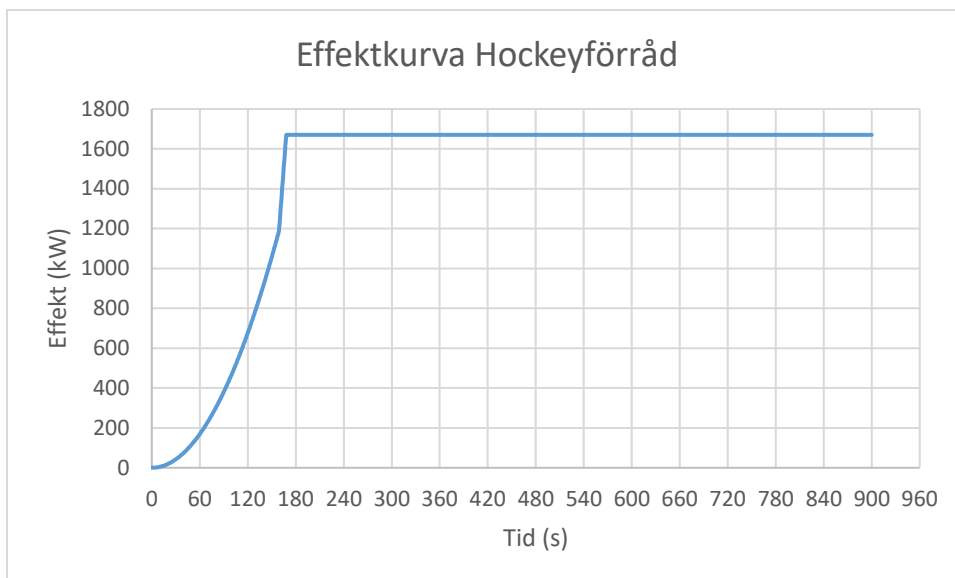
9.7.1 Brandes placering

I brandscenariot som definierats uppstår branden i hockeyförrådet. Branden skulle lika gärna kunna uppstå i ett annat förråd i korridoren eller i ett omklädningsrum, där det dessutom vistas fler personer. Anledningen till att branden placerades i hockeyförrådet är att det är högst brandbelastning i det förrådet. Då detta är den största tänkbara brand finns det ingen anledning att undersöka vad en förflyttning av branden skulle medföra, detta eftersom alla tänkbara scenarier då inte skulle täckas in.

9.7.2 Effektkurva

Materialet som finns i hockeyförrådet är blandat och svårt att uppskatta. Osäkerheten i effektkurvans utformning ligger framförallt vad som antas brinna. Den tillgängliga öppningsarean spelar också roll men det är enbart om dörren är öppen på glänt, helt öppen eller helt stängd som påverkar. I scenariot valdes att dörren är öppen på glänt och helt öppen eftersom branden inte skulle utvecklas annars. Den effektkurva som slutgiltigt valdes var när dörren står på glänt eftersom detta är det mest troliga fallet. Vad som fanns inne i hockeyförrådet vid platsbesöket var blandat, därför antogs det att det var mest plast. Hur mycket och vilken sorts material som brinner kan ha en stor påverkan på hur brandförloppet utvecklas. Parametrar som påverkas eller kan påverkas av att mängden och sorten material ändras är till exempel tillväxthastigheten och den maximala effekten.

Det som kan varieras är tillväxthastigheten, α , från medelsnabb till snabb. Om effektkurvan ändras till snabb blir $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$ (Karlsson & Quintiere, 2000). Om tillväxten ändras till snabb sker övertändning istället vid 170 sekunder. Se effektkurvan i Figur 48 när tillväxthastigheten är snabb, $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$.



Figur 48- Effektkurva med annan tillväxthastighet.

De kritiska förhållandena uppnås tidigt i brandförloppet med en medelsnabb tillväxthastighet. En ökad tillväxthastighet leder till tidigare övertändning men samma maximala effekt, därför tillför det inget att göra en ny simulering i Argos eftersom kritiska förhållanden kommer uppstå ännu tidigare.

9.7.3 Pathfinder

I Pathfinder varierades de parametrar som framgår i Tabell 24 nedan.

Tabell 24 - Resultat för känslighetsanalys i Pathfinder där olika parametrar har ändrats.

	Minimum [s]	Medel [s]	Maximum [s]	Tillgänglig tid [s]	Marginal [s]
Normal	270	330	400	165	-235
Gånghastighet	300	360	410	165	-245
Varseblivningstid	280	340	410	165	-245
Förberedelsetid	330	370	410	165	-245
Åldersfördelning	270	310	350	165	-185
Val av utgång	320	360	420	165	-255
Axelbredd	280	330	400	165	-235

Gånghastigheten varierades genom att ändra från en normalfördelning till en uniformfördelning där max- och minvärdet behölls som samma värden. För varseblivningstiden gjordes en ökning på 20 % och förberedelsetiden ändrades från en lognormalfördelning till en uniformfördelning där max- och minvärdena inte ändrades. För åldersfördelning undersöktes utfallet då det enbart var vuxna personer i omklädningsrummen. Vidare studerades hur utrymningstiden påverkades med antagandet att den södra utrymningsvägen inte kunde nyttjas. Till sist ökades axelbredden med 20% för att studera denna parameters inverkan på resultatet.

Ur tabellen framgår att tidsmarginalen för samtliga fall blir negativ, det kommer alltså inte gå att utrymma korridoren under rådande förhållanden. Detta resultat ligger i linje med det resultat som erhöles tidigare i detta kapitel.

9.8 Åtgärdsförslag

Resultaten visar att kritiska förhållanden uppnås och att den tillgängliga tiden understiger utrymningstiden. Nedan presenteras och valideras förslag på åtgärder.

9.8.1 Dörrstängare

I brandscenariot har det antagits att dörren till förrådet står öppen vilket medför en stor rökspridning ut i korridoren. För att undvika detta *ska* dörrstängare monteras på samtliga dörrar som ansluter till korridoren. Om dörren hålls stängd begränsas även syretillgången till branden vilket resulterar i att den självslocknar när syret i rummet har förbrukats.

Om dörrstängare monteras på samtliga dörrar i korridoren kommer en brand i något av rummen inte längre vara dimensionerande. Den värsta branden som kan uppstå är då istället något som brinner i korridoren, till exempel en städvagn. För att undersöka effekten av detta genomfördes en ny simulering i Argos. Effekten för en brinnande städvagn inhämtas från Särdaqvist (1993) där maxeffekten 120 kW uppstår efter drygt 60 sekunder. Vagnen placeras utanför hockeyförrådet för att få dess potentiellt värsta placering i korridoren. En ny simulering i Argos utfördes. Argos visar att sikten kommer att bli kritiskt efter ungefär 60 sekunder men även om sikten är kritiskt kommer det gå att utrymma. I korridoren är det lätt att hitta ut eftersom det bara är att följa väggarna åt något håll. Se Bilaga M för indata.

9.8.2 Ingen förvaring i korridoren

Om dörrstängare monteras på samtliga dörrar i korridoren som föreslagits ovan än den dimensionerande branden ett brinnande föremål i korridoren. Detta ska åtgärdas genom att undvika att brännbara föremål förvaras i korridoren.

10. Fallerande system

Från grovanalysen valdes att vidareundersöka tre brandscenarier som utgör en utmaning för byggnaden. De tre brandscenierna valdes då sannolikheten och konsekvensen vägdes samman och det är flera scenarier som går in dessa tre scenarier som valts ut. Eftersom brandlarm finns installerat i hela byggnaden förutsätts att samtliga bränder upptäcks i ett tidigt skede och att utrymning påbörjas därefter. Det kan dock hända att brandskyddssystemet fallerar och slutar fungera. Nedan beskrivs de tre brandscenierna om brandskyddet skulle falla. Det system som finns i Falkenbergs ishall som skulle kunna falla är brandlarmet. Om brandlarmet skulle sluta fungera skulle det ta längre tid för personerna i byggnaden att upptäcka branden och då skulle varseblivningstiden bli längre. Detektorerna eller utrymningslarmet skulle kunna sluta fungera. Resultatet för de nya utrymningstiderna jämför med de tillgängliga tiderna från ovanstående kapitel utan åtgärdsförslag.

10.1 Brand i förvaringsutrymme under läktaren

I utrymmena under läktarna förvaras bland annat sopsäckar, möbler och träskivor. Om en brand skulle uppstå kommer det att påverka hela den läktarsektion som det brinner under och rök kommer att spridas genom de springor som finns i läktaren. När ishallen utryms kommer personerna som vistas på läktarna troligen att röra sig bort från branden och i så stor utsträckning som möjligt undvika nödutgångar i nära anslutning till branden. Det sitter brandlarm under läktaren men om det skulle falla kommer det samplande systemet att detektera när röken når taket av ishallen.

Det är varseblivningstiden som kommer att variera. Vid framtagning av varseblivningstiden när den närmsta detektorn fallerar användes programmet FDS. I FDS räknades tiden när den närmsta detektorn inte fungerar fram för scenariot i förvaringsutrymmet under läktaren. Det läggs till en sekund på tiden per 0,8 m i det samplande systemet. Röken når samplingsröret efter 45 sekunder enligt FDS och då denna punkt är belägen 55 meter från samplingsdetektorn innebär detta en tilläggstid på 44 sekunder vilket medför en total tid på 89 sekunder. Nedan i Tabell 25 visas tidsskillnaden för en fallerande respektive fungerande detektor, avrundat uppåt av konservativa skäl.

Tabell 25 - Tidsskillnaden för en fallerande respektive fungerande detektor.

Scenario	När närmaste detektor ej fungerar, tid [s]	När närmaste detektorn fungerar, tid [s]	Skillnad, tid [s]
Läktare	90	60	30

I Tabell 26 nedan Tabell 26 visas en sammanfattning av resultatet när brandlarmet fallerar. Av tabellen framgår att även om en detektor fallerar finns det god marginal mellan tillgänglig tid och utrymningstid.

Tabell 26 – Sammanfattning av resultatet när närmaste detektorn inte fungerar.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]	
Siktbarhet	820	510	310	Ok
Värmestrålning/Värmedos	>900	510	>390	Ok
Temperatur	>900	510	>390	Ok
Toxicitet	>900	510	>390	Ok

10.2 Brand i kiosk

En brand skulle kunna uppstå i någon av de uppvärmningsanordningar som troligen finns i kiosken. Då kiosken är byggd i en träkonstruktion finns det en risk att hela kiosken börjar brinna och att det blir kraftig rökutveckling. Kioskens placering gör att utrymning via huvudentrén skulle omöjliggöras och utrymning genom den nordvästra nödutgången skulle kraftigt försvåras. Det finns inget brandlarm i kiosken utan branden kommer upptäckas av det samplande systemet som finns i ishallen. Om det samplande systemet fallerar kommer branden upptäckas av rökutvecklingen. Det samplande systemet fungerar genom att om halva systemet slutar fungera kommer den andra halvan att fungera. Brandlarmet kommer att sättas igång när röken når den andra sidan av ishallen. När övertändning sker bör annars personerna på läktaren upptäcka branden utan utrymningslarmet.

Det är varseblivningstiden som kommer att variera. Vid framtagning av varseblivningstiden när den närmsta detektorn fallerar användes programmet FDS. I FDS räknades tiden när den närmsta detektorn inte fungerar fram för scenariot brand i kiosk. Det läggs till en sekund på tiden per 0,8 m i det samplande systemet. Röken når samplingsröret efter 95 sekunder enligt FDS och då denna punkt är belägen 25 meter från samplingsdetektorn innebär detta en tilläggstid på 20 sekunder vilket medför en total tid på 115 sekunder. Även om tiden till detektion är längre då systemet fallerar blir varseblivningstiden ungefär samma eftersom transportsträckan i systemet blir kortare. Varseblivningstiden för kiosken utan detektion är maxtiden till övertändning, det vill säga ungefär 180 sekunder. Då beräkningarna i FDS visade att detektion antagligen kommer ske innan används den beräknade tiden istället. Nedan i Tabell 27 visas tidsskillnaden för en fallerande respektive fungerande detektor, avrundat uppåt av konservativa skäl.

Tabell 27 - Tidsskillnaden för en fallerande respektive fungerande detektor.

Scenario	När närmaste detektor ej fungerar, tid [s]	När närmaste detektorn fungerar, tid [2]	Skillnad, tid [s]
Kiosk	120	120	0

Det är ingen skillnad på tid till detektion om närmaste detektor fallerar, se Tabell 28.

Tabell 28 – Sammanfattning av resultatet när närmaste detektorn inte fungerar.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]	
Siktbarhet	580	560	20	Ok
Värmestrålning/Värmedos (Rullstolsburen)	200	270	-70	Ej ok
Värmestrålning/Värmedos (Icke rullstolsburen)	>840	560	>280	Ok
Temperatur	>840	560	>280	Ok
Toxicitet	>840	560	>280	Ok

10.3 Brand i hockeyförråd

En brand skulle kunna uppstå till följd av ett elfel i något av förråden. Rökutvecklingen till följd av branden skulle försvåra utrymning via korridorrens södra utgång. Utrymningen kan försvåras för personer som vistas i omklädningsrummen eftersom korridoren riskerar att bli rökfylld. Detta brandscenario skulle inte upptäckas lika lätt som de andra två då det är mer skymt. Det är antagligen inte lika många personer som är i denna brandcell och branden skulle upptäckas om någon person går ut i korridoren och ser röken från hockeyförrådet eller någon detektor i korridoren.

Det är varseblivningstiden som kommer att variera. Varseblivningstiden beräknades med hjälp av programmet DetAct-T2. Nedan i Tabell 29 visas tidsskillnaden för en fallerande respektive fungerande detektor, avrundat uppåt av konservativa skäl.

Tabell 29 - Tidsskillnaden för en fallerande respektive fungerande detektor.

Scenario	När närmaste detektor ej fungerar, tid [s]	När närmaste detektorn fungerar, tid [s]	Skillnad, tid [s]
Hockeyförråd	120	60	60

Det kommer att läggas till 60 sekunder för utrymning, se Tabell 30. De kritiska förhållandena som uppnås innan alla personer hinner utrymma är sikten, temperaturen och toxicitet.

Tabell 30 – Sammanfattning av resultatet när närmaste detektorn inte fungerar.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]	Utrymningstid [s]	Marginal [s]	
Siktbarhet	165	460	-295	Ej ok
Värmestrålning/Värmedos	>3600	460	>3140	Ok
Temperatur	240	460	-220	Ej ok
Toxicitet	180	460	-280	Ej ok

10.4 Åtgärdsförslag

Det bör finnas en redundans gällande brandlarmet så att en brand kan detekteras även om detektorn närmast branden inte fungerar. Resultaten visar på att även om detektorn närmast branden slutar fungera kommer detektion ändå att ske genom andra detektorer. Det anses därför att inga åtgärder måste vidtas gällande fallerande system.

11. Tillåtet personantal

För att avgöra ifall tillfredställande utrymning kan ske från ishallen då personantalet överstiger 250 personer genomfördes beräkningar på hur stor kapacitet läktaren har samt simuleringar för att undersöka hur utrymningstiden påverkades. Själva utrymningssimuleringen genomfördes i Pathfinder enligt samma metodik som de övriga simuleringar som genomförts i detta arbete. Analysen i detta avsnitt bygger på att de åtgärdsförslag som tagits fram i arbetet är genomförda. De förändringar och antaganden analysen bygger på presenteras nedan.

Då osäkerheter finns i vilken typ av människor som befinner sig i lokalen antogs att värden för axelbredd och bredd över bröstorg kunde representeras av medelvärden. Vidare antogs att den yta en sittande person tar upp är dennas axelbredd multiplicerat med 50 centimeter, för en stående person är denna yta personens axelbredd multiplicerat med bredden över bröstet. Det antogs även att varje person hade en komfortzon till närmaste person på 10 centimeter. De framtagna medelvärdena för axelbredd och bredd över bröstet baseras på de värden som inhämtats för barn, vuxna, samt seniorer och är 42 respektive 26 centimeter. De ytor som människor har antagits befinna sig på är det översta planet på läktarna, där en rad med sittande människor och två rader med stående människor antagits befinna sig. På de övriga läktarplanen antogs det enbart befinna sig en rad med sittande människor. På den yta som förbinder den norra och södra läktaren har det antagits att två rader med människor befinner sig och samma antagande gäller för förbindelsen mellan fläktrummet och den södra läktaren. Det beräknade personantal som får plats på läktarna är 320 personer.

Nya simuleringar genomfördes för det scenario som gav längst utrymningstid, det vill säga brand i kiosken. Detta innebär att huvudentrén är blockerad av branden och andra nödutgångar måste användas. Simuleringar för 300 och 320 personer genomfördes och utrymningstiderna som erhöles presenteras i Tabell 31 nedan.

Tabell 31 - Resultat för utrymningssimuleringar med ökat personantal.

Personantal	Min [s]	Medel [s]	Max [s]
300	480	500	530
320	510	530	570

Med de åtgärder som föreslagits i tidigare avsnitt är en brand under den norra läktaren den dimensionerande branden. Vid denna brand blir sikten kritisk efter 800 sekunder och utrymningstiden med 320 personer är 570 sekunder. Detta ger en tidsmarginal på 230 sekunder. Tidsmarginalen är väl tilltagen och därför anses säkerhetsnivån tillräcklig. Analysen visar att utrymning kan ske på ett säkert sätt med personantal som är högre än 250 personer. Något som bör beaktas är att ett ökat personantal kan medföra högre krav enligt gällande regelverk. Exempelvis inträder kravet på ett talat utrymningslarm vid personantal över 300 personer (Brandskyddsföreningen, 2016).

12. Diskussion

Syftet med rapporten var att undersöka om brandskyddet i Falkenbergs Ishall är tillfredställande med avseende på personsäkerhet. Detta gjordes genom att jämföra den tillgängliga tiden som finns med tiden det tar för personer att utrymma byggnaden. Under arbetets gång har osäkerheter introducerats genom de modeller och beräkningsmetoder som använts. I avsnitten nedan diskuteras dels de osäkerheter som finns i analysen samt de resultat som erhållits.

12.1 Osäkerheter

Osäkerheterna beror dels på antaganden som gjorts och dels på begränsningar i beräkningsmodellerna. Ett exempel på en begränsning är den förenklade representationen av geometrin som används i modellerna. Vad gäller brandsimuleringar har datorprogrammen FDS och Argos använts och det finns både för och nackdelar med dessa modeller. Simuleringar i FDS ger detaljerade resultat men är i utbyte mycket tidkrävande. Resultatet beror till stor del av vilken cellstorlek som används. En mindre cellstorlek innebär en förlängd simuleringstid och på grund av begränsningen av tid och datorkapacitet gjordes en kompromiss mellan tid och kvalitet. Med andra ord användes en kvalitet på simuleringarna som ansågs tillfredställande med avseende på den tid som fanns tillgänglig. Argos är i sin tur mindre tidskrävande men ger också mindre detaljerade resultat på grund av att det är en tvåzonsmodell. Argos fungerar bäst för utrymmen som inte är alltför avlånga vilket medför att till exempel en korridor inte kan simuleras särskilt väl. För att lösa detta delades korridoren upp i flera rum. I efterhand kan det konstateras att det kanske hade varit lämpligt att använda FDS istället för Argos för att simulera branden i hockeyförrådet. Resultaten från Argos bör därför användas med försiktighet. På grund av brandens storlek hade FDS troligen också visat att kritiska förhållanden uppstår snabbt, vilket medför att de föreslagna åtgärderna anses vara rimliga trots osäkerheten med valet av datormodell.

Utrymningssimuleringarna har gjorts i datorprogrammet Pathfinder där en stor mängd indataparametrar definieras av användaren. Den största osäkerheten gällande utrymningstiden är således de antaganden som användaren gjort. De parametrar som har angivits i simuleringarna bygger i så stor utsträckning som möjligt på tidigare utförda experiment och forskningsstudier. I de fall det funnits osäkerheter kring indata har ett konservativt värde valts för att göra resultatet säkrare. Pathfinder tar inte hänsyn till människors beteende, till exempel att personer ofta väljer att utrymma samma väg som de kom in eller den sociala inverkan som andra personer har. För att kringgå dessa problem användes fördelningar på vissa indataparametrar för att inkludera variationen mellan olika individer. Vidare definierades i förhand vilka utrymningsvägar som personerna kommer nyttja. Med dessa åtgärder anses utrymningssimuleringarna ge ett tillförlitligt resultat.

Något som är viktigt att ha i åtanke är att datormodeller inte är en exakt representation av verkligheten. De resultat som erhållits kan därför inte användas som exakta värden utan bör istället användas som ungefärliga värden. Det är därför väsentligt att det finns en tillfredställande säkerhetsmarginal mellan utrymningstiden och den tillgängliga tiden. För att undersöka hur mycket antaganden som gjorts påverkar resultatet genomfördes en känslighetsanalys efter varje studerat scenario. För branden i förvaringsutrymmet under läktaren visade känslighetsanalysen att resultatet är robust även om andra antaganden görs. För branden i kiosken och hockeyförrådet visade det sig att marginalen mellan tillgänglig tid

och utrymningstid blir negativ om andra antaganden görs. Därför föreslogs åtgärder för dessa scenarier för att se till att brandskyddet ligger på en acceptabel nivå.

12.2 Nuvarande brandskydd och inverkan av åtgärdsförslag

Vid platsbesöket uppfattades byggnaden förhållandevis säker ur brandsynpunkt. Analysen visade att detta stämde bra överens med verkligheten. Av de scenarier som tagits fram för att utmana brandskyddet i byggnaden kunde byggnaden i dess befintliga skick hantera en av tre. Men då ska det tas i beaktning att ett av de icke godkända scenarierna berodde på strålningen från kiosken och att denna parameter endast påverkade de rullstolsburnas utrymning. Dessa risker kan med förhållandevis enkla åtgärder reduceras eller helt elimineras. I följande avsnitt diskuteras vad som är orsaken till att tillfredställande utrymning inte kan ske, samt presenteras åtgärdsförslag och deras inverkan. Även åtgärdernas rimlighet diskuteras.

I det scenario där en brand uppstår under läktaren uppnås inte något av de kritiska förhållanden som tagits fram och därför bedöms det nuvarande brandskyddet som tillräckligt.

I scenariot där en brand i kiosken uppkommer erhålls kritiska förhållanden med avseende på strålningsnivån. Anledningen till detta är att dörren som har en relativt stor yta antas stå öppen och stråla mot de förbipasserande. För att ta bort denna problematik ska en dörrstängare monteras på kioskdörren. Detta medför att dörren inte längre kommer stråla och att kritiska förhållanden inte uppstår. Dessutom innebär denna åtgärd en reducerad effekt på branden. Den reducerande effekten innebär i sin tur att detta scenario inte längre är dimensionerande, utan det som nu är dimensionerande är en brand under den större läktarsektionen. Vid en brand under den stora läktaren kommer en tillfredställande utrymning vara möjlig och därför anses åtgärden lösa problemet. För att reducera tiden till detektion bör en detektor placeras inuti kiosken. Rimligheten för dessa åtgärdsförslag bedöms som rimlig av den anledningen att de är förhållandevis billiga och enkla åtgärder att genomföra. Deras stora inverkan på brand- och utrymningsförloppet motiverar även att dessa åtgärder betraktas som rimliga.

För branden i förrådet uppnås kritiska förhållanden med avseende på sikt, toxicitet och temperatur. För att ta reducera dessa faktorer skulle montering av dörrstängare vara en lämplig åtgärd. Åtgärden skulle innebära att branden inte får tillgång till syre och förhindras därför att utvecklas till en större brand, i bästa fall självslocknar branden men risk finns även att en glödbrand tar plats och pyr i det stängda utrymnet. Vid en glödbrand bildas stora partiklar som upptäcks snabbt av en rökdetektor, i dagsläget är det just denna typ av detektor som sitter i utrymnet och därför bör denna brand detekteras i ett tidigt skede. Att montera dörrstängare på samtliga dörrar som ligger i anslutning till korridoren anses vara en rimlig lösning då det ger en bra effekt till en relativt liten kostnad jämfört med andra alternativ som hade kunnat vara att installera sprinkler eller på något sätt höja taknivån.

Vid den analys som genomfördes då ett system fallerar framgick att utrymningstiden för det scenario där utrymnet under läktaren brinner fördröjs med 30 sekunder, för branden i förrådet var fördröjningen 60 sekunder och ingen skillnad kunde ses i scenariot med kioskbranden. Om de åtgärder som nämnts tidigare i detta avsnitt genomförs, åtgärdas även de problem som nämnts i detta stycke, därför föreslås inga specifika åtgärder för scenariot med fallerande system.

Vid platsbesöket observerades att utrymningsvägen i ishallens nordvästra hörn var delvis blockerad av föremål i form av bland annat ishockeymål och en soptunna. Då det i denna rapport förutsatts att alla nödutgångar är tillgängliga, med dess fulla bredd, måste området framför samtliga nödutgångar hållas rena från denna typ av lagring. Därför ska detta åtgärdas genom att förvara det på annan plats. Vidare observerades även att den dörr från ishallen till korridoren i ishallens södra del enbart gick att öppna halvt, den bestod av en dubbeldörr där enbart en av dörrarna gick att öppna. Den utförda analysen bygger på att alla utrymningsvägar går att nyttja till sin fulla bredd och därför ska denna dörr låsas upp så den blir tillgänglig. Vidare observerades att dörrarna öppnas inåt i utrymningsriktningen. Anledningen till detta är troligen att dörrarna inte ska blockera korridoren när de öppnas. På grund av detta ges inget åtgärdsförslag att dörrarnas slagriktning ska ändras.

En sista observation som gjordes var att området mellan isrinken och det utrymme där ismaskinen förvaras var delvis isbelagt. Då detta område är en del av en utrymningsväg ska detta åtgärdas. Saltning kan vara ett alternativ men även att byta ut materialet som ligger på golvet kan vara en lösning.

13. Sammanfattning av åtgärdsförslag

Från analysen har ett antal åtgärder föreslagits för att öka säkerhetsnivån i ishallen. Om dessa åtgärder vidtas kan dessutom det tillåtna personantalet vara högre än nuvarande 250 personer. Med ett ökat personantal kan nya krav på brandskyddet tillkomma enligt gällande regelverk, till exempel talat utrymningslarm vid personantal över 300 personer. Analysen visade att utrymning kan ske på ett säkert sätt med upp till 320 personer på läktarna. Nedan presenteras åtgärder som *ska* genomföras för att uppnå en acceptabel nivå respektive åtgärder som *bör* genomföras för att öka robustheten på brandskyddet.

Utifrån den utförda analysen *ska* följande åtgärder genomföras:

- ◆ Dörrstängare på kiosken och på samtliga dörrar i korridoren
- ◆ Ingen förvaring i korridoren och framför nödutgångar
- ◆ Alla dörrar ska kunna öppnas till sin fulla bredd
- ◆ Salta eller byta ut materialet på golvet mellan isrinken och förvaringsutrymmet för ismaskinen

Nedanstående åtgärdsförslag *bör* genomföras i syfte att ge brandskyddet en robusthet.

- ◆ En detektor i kiosken

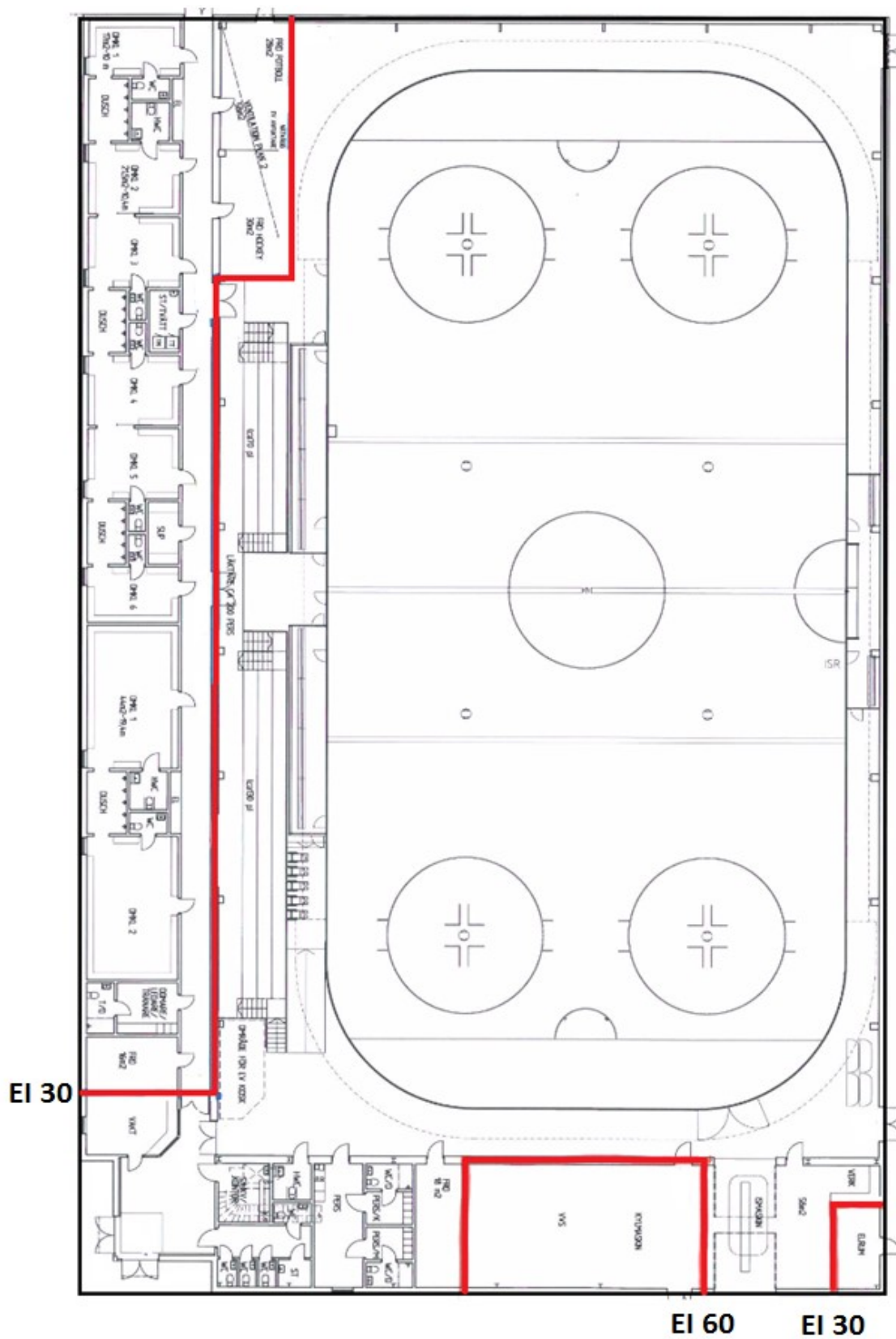
Referenser

- Bayer, K., & Rejnö, T. (1999). *Utrymningslarm: Optimering genom fullskaleförsök*. Lund: Lunds Universitet.
- BIV. (2013). *CFD-beräkningar med FDS*. Malmö: Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap, BIV.
- Boverket. (2013). *Boverkets allmänna råd (BBRAD 2013:12) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*. Stockholm: Boverkets författningssamling.
- Brandskyddsföreningen. (2016). *Brandskydd i Boverkets byggregler, BBR 23*. Stockholm: Brandskyddsföreningens Service AB.
- Burström, P. G. (2006). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Dafo. (2017, Maj 8). *Aspirerande Detektor Stratos II*. Retrieved from <http://www.dafo.se>: <http://www.dafo.se/globalassets/dokumentarkiv/produktblad/brandlarm/aspirerande-detektor-stratos-2>
- DIFT. (2003). *Argos User's Guide*. Köpenhamn: Danish Institute of Fire and Security Technology.
- Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics, third edition*. Singapore: Wiley.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Florida: CRC press.
- Larusdottir, A. R., & Dederichs, A. S. (2011). *A Step Towards Including Children's Evacuation Parameters and Behavior in Fire Safe Building Design*. Lyngby: Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- LILLEY, D. G., & KIM, H.-J. (2000). *HEAT RELEASE RATES OF BURNING ITEMS IN FIRES BURNING ITEMS IN FIRES*. Stillwater: Lilley & Associates.
- LUNARC. (2017, Maj 9). *Aurora*. Retrieved from LUNARC: <http://www.lunarc.lu.se/resources/hardware/aurora/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (den 20 02 2017). *IDA*. Hämtat från MSB:s statistik och analysverktyg IDA: <https://ida.msb.se/ida2#page=a0109>
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2007). *Kompendium i aktiva system, Detektion*. Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- NIST. (2014). *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology.
- NIST. (2017, Maj 31). *Fire modeling programs*. Retrieved from NIST: <https://www.nist.gov/engineering-laboratory/fire-modeling-programs>
- Paulsen Husted, B. (2004). *Optical smoke units and smoke potential of different products*. Danish Institute of Fire and Security Technology.
- Predtechenskii, & Milinskii. (1978). *Planning for foot traffic flow in buildings*. India: Amerind publishing Co.

- Purser, D., & Bensilum, M. (2001). Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Safety science*, 157-182.
- Reinicke. (2007). *Utrymning från biograf, resultat från fullskaleförsök*. Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund university.
- SBF. (2001). *Regler för automatisk brandlarmanläggning SBF 110:6*. Stockholm: Svenska brandförsvarsföreningen.
- SFPE. (2002). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.
- SFPE. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*. New York: Springer.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.
- Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires, RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*. Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Thunderhead Engineering. (2017). *Pathfinder User Manual*. New York, New York: Thunderhead Engineering.
- ÅF-Infrastruktur AB. (2009). *Nybyggnad Ishall, Falkenberg kommun, Brandskyddsdocumentation*. Göteborg: ÅF-Infrastruktur AB.

Bilaga A – Översiktsritning

I denna bilaga visas en översiktsbild av ishallen i större format än vad som redovisas i rapporten, se



Figur A 1 - Ishallen där brandceller finns utmärkta.

Bilaga B – Statistik

Nedan i Tabell B1 finns statistik som använts för att bedöma brandscenariernas sannolikhet. I Tabell B2 finns data som utgör Figur 15 i rapporten.

Tabell B1 - Data är tagen från MSB:s statistik- och analysverktyg IDA och har använts för att bedöma brandscenariernas sannolikhet.

År	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Anlagd med uppsåt	20	22	11	25	14	13	25	29	30	32	28	25	28	26	29	22	25	33	24,28
Barns lek med eld	3	2	2	3	1	1	1	2	4	4	4	1	5	3	4	1	2	2	2,50
Blixtnedslag	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,22
Explosion	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,11
Friktion	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	1	1	1	0	0	0,44
Fyrverkerier	0	2	2	1	1	1	0	0	2	0	3	1	0	1	1	2	2	2	1,11
Glömd spis	2	1	0	1	1	1	2	0	5	1	1	2	2	3	4	4	2	4	2,00
Gnistor	3	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44
Hantverkare	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22
Heta arbeten	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	2	0	4	0	0	2	0	0,83
Levande ljus	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	2	1	0,56
Rökning	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0,56
Självtändning	1	0	2	0	0	1	0	0	3	3	0	1	0	0	2	2	0	0	0,83
Soteld	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
Tekniskt fel	14	15	7	7	10	2	13	15	12	18	11	10	20	14	15	21	19	16	13,28
Värmeöverföring	6	6	6	3	5	7	5	2	7	2	10	4	5	4	6	6	7	4	5,28
Återantändning	1	1	1	0	0	2	0	1	2	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0,67
Annan	3	5	7	10	6	4	6	6	3	6	9	8	16	7	11	5	8	14	7,44
Okänd	18	29	17	17	19	20	16	9	15	22	15	14	18	18	14	14	13	13	16,72

Tabell B2 nedan visar fördelningen av Figur 15 i rapporten. I Figur 15 har samtliga brandorsaker i kategorin Annan och brandorsaker som i genomsnitt kräver mindre än två insatser per år i Tabell B1 lagts ihop med varandra och representeras av Övrigt.

Tabell B2 – De data som utgör Figur 15 i rapporten.

Anlagd	Barns lek med eld	Glömd spis	Tekniskt fel	Värmeöverföring	Okänd	Övrigt
24,28	2,50	2,00	16,72	13,28	5,28	13,50

Bilaga C – FDS indata

Nedan presenteras utvalda delar av indatafilen till FDS. På grund av indatafilens omfattning har till exempel geometrins utformning inte inkluderats i bilagan.

Mesh

I simuleringarna delades geometrin upp i flera olika mesher, dels eftersom en mesh med mindre cellstorlek användes runt brandhärden, och dels att beräkningarna delades upp mellan olika processorkärnor. För scenariot ”Brand i kiosk” användes åtta mesher med ett totalt antal celler på 4057736. Uppbyggnaden av dessa mesher visas nedan.

```
&MESH ID='MESH1', IJK=100.0,50.0,104.0, XB=55.8,65.8,-0.2,4.8,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=0/ Mesh runt brand i kiosken
```

```
&MESH ID='MESH2', IJK=50.0,167.0,52.0, XB=55.8,65.8,4.8,38.2,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=1/ Ishallen
```

```
&MESH ID='MESH3', IJK=56.0,192.0,52.0, XB=44.6,55.8,-0.2,38.2,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=2/ Ishallen
```

```
&MESH ID='MESH4', IJK=56.0,192.0,52.0, XB=33.4,44.6,-0.2,38.2,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=3/ Ishallen
```

```
&MESH ID='MESH5', IJK=56.0,192.0,52.0, XB=22.2,33.4,-0.2,38.2,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=4/ Ishallen
```

```
&MESH ID='MESH6', IJK=56.0,192.0,52.0, XB=11.0,22.2,-0.2,38.2,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=5/ Ishallen
```

```
&MESH ID='MESH7', IJK=56.0,192.0,52.0, XB=-0.2,11.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,  
MPI_PROCESS=6/ Ishallen
```

```
&MESH ID='MESH8', IJK=368.0,31.0,27.0, XB=-1.2,72.4,-0.2,-6.4,-0.2,5.2,  
MPI_PROCESS=7/ Entrén och korridor
```

För scenariot ”Brand i förvaringsutrymmet under läktaren” användes nio mesher med ett totalt antal celler på 3921236. Uppbyggnaden av dessa mesher visas nedan.

```
&MESH ID='MESH1', IJK=70.0,50.0,104.0, XB=21.0,28.0,-0.2,4.8,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=0/ Mesh runt brand på läktare

&MESH ID='MESH2', IJK=35.0,167.0,52.0, XB=21.0,28.0,4.8,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=1/ Ishallen

&MESH ID='MESH3', IJK=53.0,192.0,52.0, XB=10.4,21.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=2/ Ishallen

&MESH ID='MESH4', IJK=50.0,192.0,52.0, XB=28.0,38.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=3/ Ishallen

&MESH ID='MESH5', IJK=53.0,192.0,52.0, XB=-0.2,10.4,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=4/ Ishallen

&MESH ID='MESH6', IJK=50.0,192.0,52.0, XB=38.0,48.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=5/ Ishallen

&MESH ID='MESH7', IJK=50.0,192.0,52.0, XB=48.0,58.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=6/ Ishallen

&MESH ID='MESH8', IJK=39.0,192.0,52.0, XB=58.0,65.8,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=7/ Ishallen

&MESH ID='MESH9', IJK=368.0,31.0,27.0 , XB=-1.2,72.4,-0.2,-6.4,-0.2,5.2,
MPI_PROCESS=8/ Entrén och korridor
```

För scenariot ”brand under den norra läktaren” användes tio mesher med ett totalt antal celler på 3602736 celler. Uppbyggnaden av mesherna visas nedan.

```
&MESH ID='MESH1', IJK=36.0,192.0,52.0, XB=43.2,50.4,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=0/ Mesh runt brand på läktare

&MESH ID='MESH2', IJK=36.0,192.0,52.0, XB=36.0,43.2,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=1/ Ishallen

&MESH ID='MESH3', IJK=38.0,192.0,52.0, XB=50.4,58.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=2/ Ishallen

&MESH ID='MESH4', IJK=36.0,192.0,52.0, XB=28.8,36.0,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=3/ Ishallen

&MESH ID='MESH5', IJK=39.0,192.0,52.0, XB=58.0,65.8,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=4/ Ishallen

&MESH ID='MESH6', IJK=36.0,192.0,52.0, XB=21.6,28.8,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=5/ Ishallen

&MESH ID='MESH7', IJK=36.0,192.0,52.0, XB=14.4,21.6,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=6/ Ishallen

&MESH ID='MESH8', IJK=36.0,192.0,52.0, XB=7.2,14.4,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=7/ Ishallen

&MESH ID='MESH9', IJK=37.0,192.0,52.0, XB=-0.2,7.2,-0.2,38.2,-0.2,10.2,
MPI_PROCESS=8/ Ishallen

&MESH ID='MESH10', IJK=368.0,31.0,27.0 , XB=-1.2,72.4,-0.2,-6.4,-0.2,5.2,
MPI_PROCESS=9/ Entrén och korridor
```

Tid

I samtliga brandscenarier simulerades ett brandförlopp på 900 sekunder.

```
&TIME T_END=900.0/
```

Mätdata

För insamling av mätdata angavs att värden skulle inhämtas en gång varje sekund.

```
&DUMP DT_DEVC=1.0/
```

Definiering av brand

I samtliga brandscenarier som simulerades i FDS bedömdes trä vara det huvudsakliga bränslet. Egenskaper för trä, så som kemisk formel, produktion av sot och kolmonoxid samt förbränningsentalpi hämtades från tredje upplagan av SFPE Handbook (SFPE).

Strålningsfraktionen beräknades enligt följande

$$\chi_{rad} = \frac{H_{c,rad}}{H_{c,eff}} = \frac{4,9}{13,0} = 0,377$$

Textraden `IDEAL=.FALSE.` anger att den förbränningsentalpi som angivits är den effektiva förbränningsentalpin, och att den inte ska reduceras av FDS.

```
&REAC ID='WOOD',  
FYI='egenskaper från SFPE THIRD EDITION',  
C=1.0,  
H=1.7,  
O=0.74,  
N=0.002,  
CO_YIELD=0.004,  
SOOT_YIELD=0.015,  
HEAT_OF_COMBUSTION=13000.0,  
RADIATIVE_FRACTION=0.377,  
IDEAL=.FALSE./
```

För att kunna replikera de framtagna effektkurvorna så bra som möjligt användes flera brännare i båda simuleringarna. En brännare som representerade tillväxtfasen av branden, och sedan flera brännare för att representera den fullt utvecklade branden. Nedan visas de brännare som definierats för de båda brandscenarierna.

Nedan visas tillväxtfasen för branden under den södra läktaren som tillväxer med en t^2 -kurva under 190 sekunder.

```
&SURF ID='FIRE1',  
TAU_Q=-190.0,  
HRRPUA=1696.7,  
COLOR='RED'/ Tillväxt med  $t^2$ -kurva
```

Nedan visas den brännare som representerar övertändningen för branden under den södra läktaren, samt ramp-funktionen som användes för att brännaren skulle starta först efter 190 sekunder.

```
&SURF ID='FIRE2',  
RAMP_Q='flashover',  
HRRPUA=1014.085,  
COLOR='RED'/ Övertändning
```

```
&RAMP ID='flashover', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='flashover', T=190.0, F=0.0/  
&RAMP ID='flashover', T=200.0, F=1.0/
```

Nedan visas hur brännarna placerades ut för branden under den södra läktaren.

```
&OBST XB=23.4,24.4,0.4,1.4,2.4,2.6, SURF_IDS='FIRE1','INERT','INERT'/  
Brandens start  
&OBST XB=24.4,25.4,0.4,1.4,2.4,2.6, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/  
Övertändning
```

Nedan visas tillväxtfasen för branden under den norra läktaren som tillväxer med en t^2 -kurva under 240 sekunder.

```
&SURF ID='FIRE1',  
TAU_Q=-240.0,  
HRRPUA=2739.71,  
COLOR='RED'/ Tillväxt med  $t^2$ -kurva
```

Nedan visas den brännare som representerar övertändningen för branden under den norra läktaren, samt ramp-funktionen som användes för att brännaren skulle starta först efter 240 sekunder.

```
&SURF ID='FIRE2',  
RAMP_Q='flashover',  
HRRPUA=970.262,  
COLOR='RED'/ Övertändning
```

```
&RAMP ID='flashover', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='flashover', T=240.0, F=0.0/  
&RAMP ID='flashover', T=250.0, F=1.0/
```

Nedan visas hur brännarna placerades ut för branden under den södra läktaren.

```
&OBST XB=46.4,47.4,0.4,1.4,2.4,2.6, SURF_IDS='FIRE1','INERT','INERT'/  
Brandens start
```

&OBST XB=47.4,48.4,0.4,1.4,2.4,2.6, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

Nedan visas den brännare som representerade t^2 -tillväxten för kioskbranden under 202 sekunder.

&SURF ID='FIRE1',
TAU_Q=-202.0,
HRRPUA=1385.14,
COLOR='RED'/ Tillväxt med t^2 -kurva

Övertändningen för kiosken skedde efter 202 sekunder och för att representera effektutvecklingen användes åtta brännare till som med hjälp av ramp-funktionen som visas nedan startade vid rätt tid.

&SURF ID='FIRE2',
RAMP_Q='flashover',
HRRPUA=2004.05,
COLOR='RED'/ Övertändning

&RAMP ID='flashover', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='flashover', T=202.0, F=0.0/
&RAMP ID='flashover', T=213.0, F=1.0/

Nedan visas hur brännarna placerades ut för kioskbranden.

&OBST XB=61.7,62.3,0.8,1.4,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE1','INERT','INERT'/
Brandens start

&OBST XB=61.1,61.7,0.8,1.4,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=61.1,61.7,1.4,2.0,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=61.1,61.7,0.2,0.8,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=61.7,62.3,1.4,2.0,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=61.7,62.3,0.2,0.8,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=62.3,62.9,0.2,0.8,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=62.3,62.9,0.8,1.4,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

&OBST XB=62.3,62.9,1.4,2.0,0.0,0.5, SURF_IDS='FIRE2','INERT','INERT'/
Övertändning

Strålning

För strålningsberäkningen i FDS användes det förinställda antalet beräkningsvinklar vilket visas i raderna nedan.

```
&RADI RADIATION=.TRUE.,  
NUMBER_RADIATION_ANGLES=104/
```

Övrigt

Temperaturen i ishallen var ungefär 10 °C, och denna omgivningstemperatur angavs också i FDS. Texten `SUPPRESSION=.FALSE.` hindrar FDS från att reducera brandeffekten om syrekoncentrationen skulle minska. Detta angavs utifrån antagandet att detta inte kommer ske i verkligheten då ishallen är en stor lokal. Då det finns genomlysta utrymningsskyltar i ishallen har `VISIBILITY_FACTOR=8` angivits vilket används för siktberäkningarna i FDS.

```
&MISC TMPA=10.0, SUPPRESSION=.FALSE., VISIBILITY_FACTOR=8/
```

Material

Nedan visas de material som definierats för att bygga upp ytor så som väggar, golv och tak. De termiska egenskaperna har hämtats från boken Byggnadsmaterial (byggnadsmaterial).

```
&MATL ID='insulator',  
FYI='egenskaper från Byggnadsmaterial',  
DENSITY=100.0,  
CONDUCTIVITY=0.04,  
SPECIFIC_HEAT=1.03/
```

```
&MATL ID='concrete',  
FYI='egenskaper från Byggnadsmaterial',  
DENSITY=2300.0,  
CONDUCTIVITY=1.7,  
SPECIFIC_HEAT=1.0/
```

```
&MATL ID='leca',  
FYI='egenskaper från Byggnadsmaterial',  
DENSITY=1000.0,  
CONDUCTIVITY=0.4,  
SPECIFIC_HEAT=1.0/
```

```
&MATL ID='steel',  
FYI='egenskaper från Byggnadsmaterial',  
DENSITY=7850.0,
```

```
CONDUCTIVITY=60.0,  
SPECIFIC_HEAT=0.46/
```

```
&MATL ID='wood',  
FYI='egenskaper från Byggnadsmaterial',  
DENSITY=500.0,  
CONDUCTIVITY=0.14,  
SPECIFIC_HEAT=1.6/
```

```
&MATL ID='glass',  
FYI='egenskaper från ritning',  
DENSITY=500.0,  
CONDUCTIVITY=1.6,  
SPECIFIC_HEAT=1.0/
```

Ytor

Nedan visas de ytor som definierats i simuleringarna. Ytorna utgör bland annat väggar, golv, tak, läktare och takstolar. Raden `BACKING='VOID'` som angivits innebär att andra sidan av ytan alltid är i kontakt med luft som har samma temperatur som omgivningen.

```
&SURF ID='wall_west',  
COLOR='KHAKI',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='concrete','insulator','concrete',  
THICKNESS=0.12,0.15,0.075/
```

```
&SURF ID='wall_east',  
COLOR='KHAKI',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='leca','insulator','leca',  
THICKNESS=0.15,0.15,0.15/
```

```
&SURF ID='wall_south',  
COLOR='INVISIBLE',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='concrete','insulator','concrete',  
THICKNESS=0.12,0.15,0.075/
```

```
&SURF ID='wall_north',  
COLOR='KHAKI',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='leca','insulator','leca',  
THICKNESS=0.15,0.15,0.15/
```

```
&SURF ID='wall_entrance',  
COLOR='KHAKI',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='leca','insulator','leca',  
THICKNESS=0.15,0.15,0.15/
```

```
&SURF ID='ceiling_entrance',  
COLOR='INVISIBLE',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='steel','insulator',  
THICKNESS=0.002,0.024/
```

I definieringen av takytan har `FREE_SLIP=.TRUE.` angivits för att minska effekten av att taket är uppbyggt som en trappa i FDS.

```
&SURF ID='ceiling',  
COLOR='INVISIBLE',  
BACKING='VOID',  
FREE_SLIP=.TRUE.,  
MATL_ID='steel','insulator',  
THICKNESS=0.002,0.024/
```

```
&SURF ID='floor',  
COLOR='GRAY',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='concrete',  
THICKNESS=0.3/
```

```
&SURF ID='beam',  
COLOR='INVISIBLE',
```



```
BACKING='VOID',  
MATL_ID='wood',  
THICKNESS=0.2/
```

```
&SURF ID='window',  
COLOR='SKY BLUE',  
TRANSPARENCY=0.5,  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='glass',  
THICKNESS=0.05/
```

```
&SURF ID='stand',  
COLOR='GOLDENROD',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='wood',  
THICKNESS=0.1/
```

```
&SURF ID='column',  
COLOR='GRAY',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='concrete',  
THICKNESS=0.4/
```

```
&SURF ID='duct',  
COLOR='GRAY',  
BACKING='VOID',  
MATL_ID='concrete',  
THICKNESS=0.1/
```

Mätpunkter

Nedan visas de slicefiles som placerats ut i simuleringen. De har placerats på en höjd av två meter över marken, och två meter över varje läktarnivå. Slicefiles användes för att studera siktbarhet samt temperatur.

```
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=2.0/ Siktbarhet
```

```
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=3.2/ Siktbarhet
```

```
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=3.6/ Siktbarhet
```

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.0/ Siktbarhet

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.4/ Siktbarhet

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

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=3.2/ Temperaturmätning

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=3.6/ Temperaturmätning

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.0/ Temperaturmätning

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.4/ Temperaturmätning

De slicefiles som anges nedan placerades ut för att kontrollera rimligheten i temperatur och strömningshastigheten vid själva branden.

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.1/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBY=1.1/

I ett antal punkter som ansågs vara relevanta mättes temperatur, strålning, optisk densitet samt koncentration av syre, koldioxid och kolmonoxid. Nedan visas ett exempel av de mätinstrument som placerats ut i en punkt.

&DEVC ID='RAD_1', XYZ=2.0,36.0,2.0, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
ORIENTATION=0,0,1/

&DEVC ID='TEMP_1', XYZ=2.0,36.0,2.0, QUANTITY='TEMPERATURE'/

&DEVC ID='CO_1', XYZ=2.0,36.0,2.0, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON MONOXIDE'/

&DEVC ID='CO2_1', XYZ=2.0,36.0,2.0, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE'/

&DEVC ID='O2_1', XYZ=2.0,36.0,2.0, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='OXYGEN'/

&DEVC ID='OD_1', XYZ=2.0,36.0,2.0, QUANTITY='OPTICAL DENSITY'/

Detektion

För rökdetektion användes en fördefinierad detektor i FDS som heter ”Cleary Photoelectric P1”. Nedan visas hur detektor är definierad samt textraderna för en utplacerad detektor. Parametrarna α och β används för en modell som beräknar en fördröjning på detektionen då detektorn måste rökfyllas innan den aktiveras. Fördunklingen då detektorn aktiveras har angivits till 3,24 %/meter vilket är det förinställda värdet i FDS.

```
&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',  
SMOKEVIEW_ID='smoke_detector',  
QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',  
ALPHA_E=1.8,  
BETA_E=-1.0,  
ALPHA_C=1.0,  
BETA_C=-0.8,  
ACTIVATION_OBSCURATION=3.24 /
```

```
&DEVC ID='SD1', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=59.8,8.4,7.2/
```

Beräkningar

För att kontrollera om en rimlig cellstorlek använts samt storleken på brandhärden var rimlig genomfördes handberäkningar för kvoten mellan brandens karakteristiska diameter och cellstorleken, samt brandens dimensionslösa effektutveckling.

Brandens karakteristiska diameter beräknas enligt ekvationen nedan

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

Där \dot{Q} är brandens effekt [W], ρ_{∞} är densiteten på den omgivande luften [kg/m^3], c_p är värmekapaciteten för luft [J/kgK], T_{∞} är temperaturen på omgivande luft [K] och g är tyngdaccelerationen [m/s^2] (BIV).

Brandens dimensionslösa effektutveckling beräknas enligt ekvationen nedan

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

Där D är ekvivalent bränslediameter [m]. Den dimensionslösa effektutvecklingen bör ha ett värde mellan 0,3 och 2,5 (BIV).

I Tabell C1 nedan presenteras indataparametrar samt resultat för brand i kiosk respektive läktare.

Tabell C 1 - Indatparametrar för beräkningar i FDS.

	Kiosk	Läktare
$\dot{Q}_{max} [kW]$	6261,3	2710,8
$\rho_{\infty} [kg/m^3]$	1,2	1,2
$c_p [kJ/kgK]$	1,0	1,0
$T_{\infty} [K]$	283	283
$g [m/s^2]$	9,81	9,81
$D^* [m]$	2,03	1,45
$\delta x [m]$	0,1	0,1
$D^*/\delta x [-]$	20,3	14,5
$D [m]$	1,8	1,5
$\dot{Q}^* [-]$	1,35	0,92

Bilaga D – Pathfinder

När geometrin byggdes upp var det nödvändigt att göra vissa förenklingar beroende på begränsningar i programmet, bland annat är del av läktaren högst upp något bredare i verkligheten än i simuleringen.

Utrymningsprocessen kan delas in i tre faser, varseblivning, förberedelse och förflyttning. Tillsammans utgör dessa tre faser den totala utrymningstiden. Den första faser, varseblivning, är den tid det tar för att detektera eller upptäcka branden. Förberedelsetiden avser den tid det tar för den enskilda människan att upptäcka fara tills det att denna medvetet rör sig mot en utrymningsväg. Den sista faser, förflyttning, är den transporttid som krävs för att ta sig ut från byggnaden (Frantzich, 2001).

Den totala utrymningstiden kommer att erhållas ur de simuleringar som genomförs i Pathfinder. Simuleringsresultatet är dock beroende av den indata som används. Därför har varseblivningstid och förberedelsetid uppskattats, hur detta är gjort redovisas senare i detta avsnitt. Vidare krävs gånghastigheter för de olika persongrupper som förväntas befinna sig i byggnaden samt deras axelbredd, även detta redovisas senare i detta avsnitt.

Varseblivningstid

Vid framtagning av varseblivningstiden användes programmet DetAct-T2. Genom att skriva in de parametrar som är redovisade i Tabell D1 nedan erhöles uppskattningar av detektionstiden.

Tabell D 1 - Värdena på parametrarna som har använts i DetAct-T2 för de tre scenarierna.

Parameter	Kiosk	Läktare	Förråd
Ambient temperature [°C]	10	10	20
Detector Response Time Index [RTI]	1	1	1
Detector Rate of Temperature Rise [°C/min]	5	5	5
Room Ceiling Height [m]	6	2,4	2,4
Detector Spacing [m]	8	8	7
Fire Growth Rate [W/s ²]	Medium	Fast	Medium

Tabell D2 nedan redovisas de tider som beräknats för respektive scenario, avrundade uppåt av konservativa skäl.

Tabell D 2 - Varseblivningstiden för de olika scenarierna som DetAct-T2 resulterat i.

Scenario	Tid [s]
Läktare	60
Kiosk	120
Hockeyförråd	60

Från början var tanken att varseblivningstiden för kiosken skulle vara tiden till övertändning, det vill säga ungefär 180 sekunder, men då beräkningarna i DetAct-T2 visade att detektion antagligen kommer ske innan övertändningen sker används den beräknade tiden istället.

Förberedelsetid

Förberedelsetiden för de olika scenarierna uppskattades med hjälp av flertalet forskningsförsök och rapporter som använt sig av lognormalfördelningar. I Tabell D3 sammanställs de tider som har satts för läktar-, kiosk- och förrådsbranden.

För det scenario där en brand uppstår i förvaringsutrymmet under läktaren förväntas människorna i lokalen befinna sig på läktaren vilket kan liknas med att sitta i en biograf. I de studierna som utfördes av (Reinicke, 2007) samt (Bayer & Rejnö, 1999) framgick att förberedelsetiden borde ligga i intervallet 40-120 sekunder. I rapporten skriven av (Frantzich, 2001) fanns uppskattade värden för förberedelsetiden i ett varuhus. Medeltiden för utrymningen av varuhuset är 80 sekunder, standardavvikelsen 30 sekunder och den maximala tiden 150 sekunder. Medelvärdet och standardavvikelsen sätts till 60 sekunder respektive 20 sekunder eftersom människorna i ishallen är mer samlade än vad de antas vara i ett varuhus. Övertändning i det här scenariot sker efter ungefär 200 sekunder, denna tidpunkt sätts som den maximala tiden innan människorna börjar förflytta sig. Med en varseblivningstid på 60 sekunder blir den maximala förberedelsetiden 140 sekunder.

I scenariot där kiosken i ishallen antänds antas människorna befinna sig på samma sätt som i scenariot med läktarbranden, därför används samma resonemang för att sätta samma medeltid och standardavvikelse. Varseblivningstiden i detta scenario är 120 sekunder, efter det återstår ungefär en minut till övertändning. Därför sätts den maximala förberedelsetiden till 90 sekunder, då finns även en marginal för de som befinner sig långt ifrån branden att reagera när övertändning har skett.

Om hockeyförrådet antänds antas alla personer som befinner sig i den givna brandcellen vara i omklädningsrummen. Scenariot jämfördes med (Frantzich, 2001) rapport där den fanns en Delphiundersökning av en sjukhusavdelning med liknande geometri som korridor och omklädningsrum. Medeltiden och standardavvikelsen för sjukhusfallet var 130 sekunder respektive 50 sekunder. Medeltiden för förberedelsetiden i hockeyförrådsbranden sätts till 90 sekunder, då det i sjukhusfallet antas att patienterna inte kan fatta egna beslut om utrymning. Då viss samordning för utrymning sker i sjukhuset, antas standardavvikelsen för förberedelsetiden vara något längre för förrådsbranden och sätts till 60 sekunder. Den maximala förberedelsetiden för de som befinner sig på sjukhusavdelningen är 240 sekunder. I korridoren befinner sig dels dubbelt så många människor som i sjukhusavdelningen och dels ingen personal som samordnar och hjälper till med besluten om utrymning för patienterna, men personerna i korridoren antas kunna fatta sina egna beslut. Därför antas det vara rimligt för scenariot med branden i förrådet att också ha en maximal tid på 240 sekunder.

Tabell D 3 - Medeltid, standardavvikelse och den maximala tiden för beslut och reaktionstid i de tre valda scenarierna.

Scenario	Medeltid [s]	Standardavvikelse [s]	Maximal tid [s]
Läktare	60	20	140
Kiosk	60	20	90
Hockeyförråd	90	60	240

Gånghastigheter

De gånghastigheter som redovisas i Tabell D4 nedan har erhållits från (SFPE, 2002) med undantag för barnen, dessa värden är hämtade ur (Larusdottir & Dederichs, 2011) publikation

”A Step Towards Including Children’s Evacuation Parameters and Behavior in Fire Safe Building Design”.

Tabell D 4 - Fördelningsvärdena för gånghastigheterna [m/s] hos de valda grupperna människor som antas befinna sig i ishallen.

	Medel [m/s]	Std [m/s]	Min [m/s]	Max [m/s]
Barn	0,84	0,25	0,42	1,36
Vuxna	1,25	0,32	0,82	1,77
Pensionärer	0,81	0,38	0,26	1,60
Rullstolsbundna	0,69	0,35	0,13	1,35

I Pathfinder användes normalfördelningar för gånghastigheterna, detta eftersom hänsyn till varierande fysisk förmåga togs i beaktning.

Axelbredd

De axelbredder som presenteras i Tabell D5 nedan är hämtade ur ”Planning for foot traffic flow in buildnings” av (Predtechenskii & Milinskii, 1978).

Tabell D 5 - Axelbredden på respektive grupp.

	Barn	Vuxna	Pensionärer	Rullstolsbundna
Axelbredd [m]	0,32	0,46	0,46	0,65

Bilaga E – Framtagning av effektkurva, förvaringsutrymme under läktaren

I denna bilaga beskrivs tillvägagångssättet och de beräkningar som gjorts för att ta fram effektkurvan för scenariot där en brand startar i förvaringsutrymmet under läktaren. *Selecting design fires* har använts för att ta fram effektkurvan (Staffansson, 2010).

I scenariot avses bortaläktaren, det vill säga den mindre läktaren som är närmst den södra väggen i ishallen. Anledningen till valet av läktare är för att få mer variation i blockerade utrymningsvägar, jämfört med brand i kiosk. Denna läktare är 11,7 meter lång och förvaringsutrymmet har en varierande höjd som ökar närmre väggen.

Det som fanns förvarat i utrymmena under läktarna vid studiebesöket var väldigt varierat, så som plastsäckar med tomburkar, hockeyutrustning, läsk och glasskivor. Slutsatsen drogs att vad som finns förvarat kan variera mycket och därför valdes en trave träpallar som representativt brandscenario.

Eftersom läktaren har flertalet springor, både på sittplatsdelen men även vid sidorna där dörrarna finns, sker alltid en viss ventilation till och från utrymmet. Läktaren är gjord i trä, därför finns risk för att den också antänder. Eftersom trä har en låg massavbrinning förväntas inte öppningarnas storlek ändras förrän människor på läktaren har avlägsnats från läktaren. För att kunna avgöra vilken maxeffekt denna brand skulle kunna medföra (\dot{Q}_{peak}) genomfördes beräkningar för en ventilationskontrollerad (\dot{Q}_{vent}) respektive bränslekontrollerad brand (\dot{Q}_{fuel}). Beräkningarna redovisas nedan.

Vid beräkning av den maximala effekt som erhålls då branden är ventilationskontrollerad används ekvationen nedan.

$$\dot{Q}_{vent} = 1500A_O\sqrt{H_O} \text{ [kW]}$$

Där \dot{Q}_{vent} är den maximala effekt vilken är möjlig med avseende på syretillgången [kW], A_O ventilationsöppningarnas area [m^2] och H_O ventilationsöppningarnas höjd [m].

Springorna som finns på sittplatserna uppskattas ha en area på 0,59 m^2 och springorna på dörrsidorna en area på 0,76 m^2 , vilket ger en total öppningsarea på 1,35 m^2 . Att räkna med öppningarna på sittplatserna kan anses något konservativt eftersom det troligtvis inte kommer vara ett nämnvärt inflöde av luft i där då det kan ses som ett tak. Denna brand antas dock ha mycket höga konsekvenser och därför är det bättre att ha för hög ventilation än för låg. Öppningshöjden har tagits som ett uppskattat medelvärde av dörrsidan som 1,80 m. Den ventilationskontrollerade maxeffekten blir således:

$$\dot{Q}_{vent} = 1500A_O\sqrt{H_O} = 1500 \cdot 1,35 \cdot \sqrt{1,80} = 2700 \text{ kW}$$

För att uppskatta ett värde på (\dot{Q}_{fuel}) användes publikationen *Initial fires* (Särdqvist, 1993), i vilken ett experiment hade genomförts där träpallar, staplade upp till 1,2 m höjd, antändes i miljö med fri syretillgång. Den högsta observerade effekten för denna uppställning var 3700 kW. Då denna effekt är högre än den effekt som ventilationen tillåter medför detta att den maximala effekt som kan erhållas är 2700 kW ($\dot{Q}_{vent} = \dot{Q}_{peak}$).

\dot{Q}_{peak} ska sedan jämföras med beräkningarna för effekten vid övertändning för rummet. Ekvationen nedan används för att få ut vid vilken effekt övertändning sker.

$$\dot{Q}_{fo} = 7,8A_t + 378A_o\sqrt{H_o} \text{ [kW]}$$

Där \dot{Q}_{fo} är effekten som krävs för övertändning [kW], A_t utrymmets totala omslutningsyta inklusive ventilationsöppningar [m²], A_o ventilationsöppningarnas area [m²] och H_o ventilationsöppningarnas höjd [m]. Med omslutningsyta avses den yta som utgörs av golv, väggar och tak, med ventilationsöppningar avses de springor som finns i läktarkonstruktionen.

Värdena från den maximala effekten vid ventilation som begränsande faktor har använts för öppningsarea och öppningshöjd. Omslutningsarean är 131 m².

$$\dot{Q}_{fo} = 7,8A_t + 378A_o\sqrt{H_o} = 7,8 \cdot 131 + 378 \cdot 1,35 \cdot \sqrt{1,80} = 1700 \text{ kW}$$

Eftersom effekten vid övertändning är lägre än den maximala effekten för den ventilationskontrollerade branden sker övertändning. Då bränslet är staplade träpallar kommer de brinna med en tillväxthastighet på 0,047 kW/s², även kallad snabb (Karlsson & Quintiere, 2000). Tiden till övertändning beräknas genom ekvationen nedan.

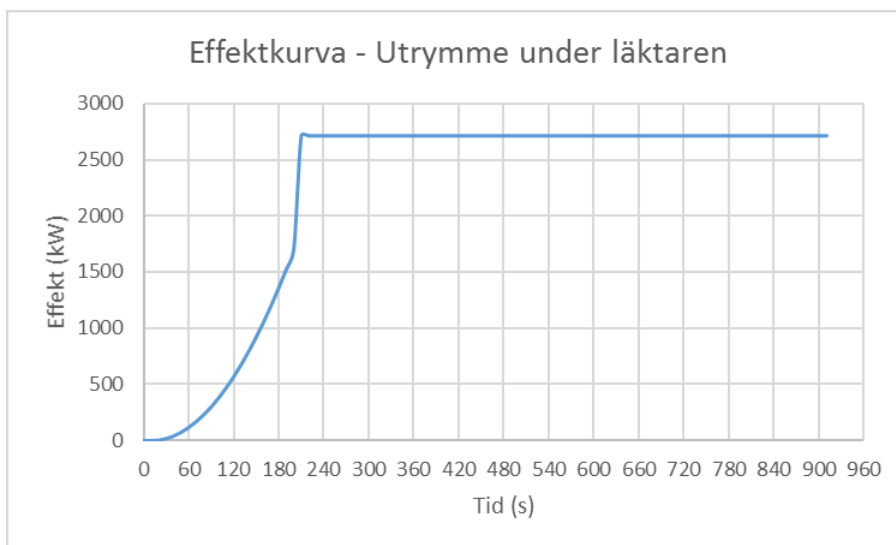
$$t_{fo} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{fo}}{\alpha}}$$

Där t_{fo} är tiden till övertändning [s], \dot{Q}_{fo} den effekt vid vilken övertändning sker [kW] och α tillväxthastigheten för branden [kW/s²].

Insättning ger:

$$t_{fo} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{fo}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{1710}{0,047}} = 190 \text{ s}$$

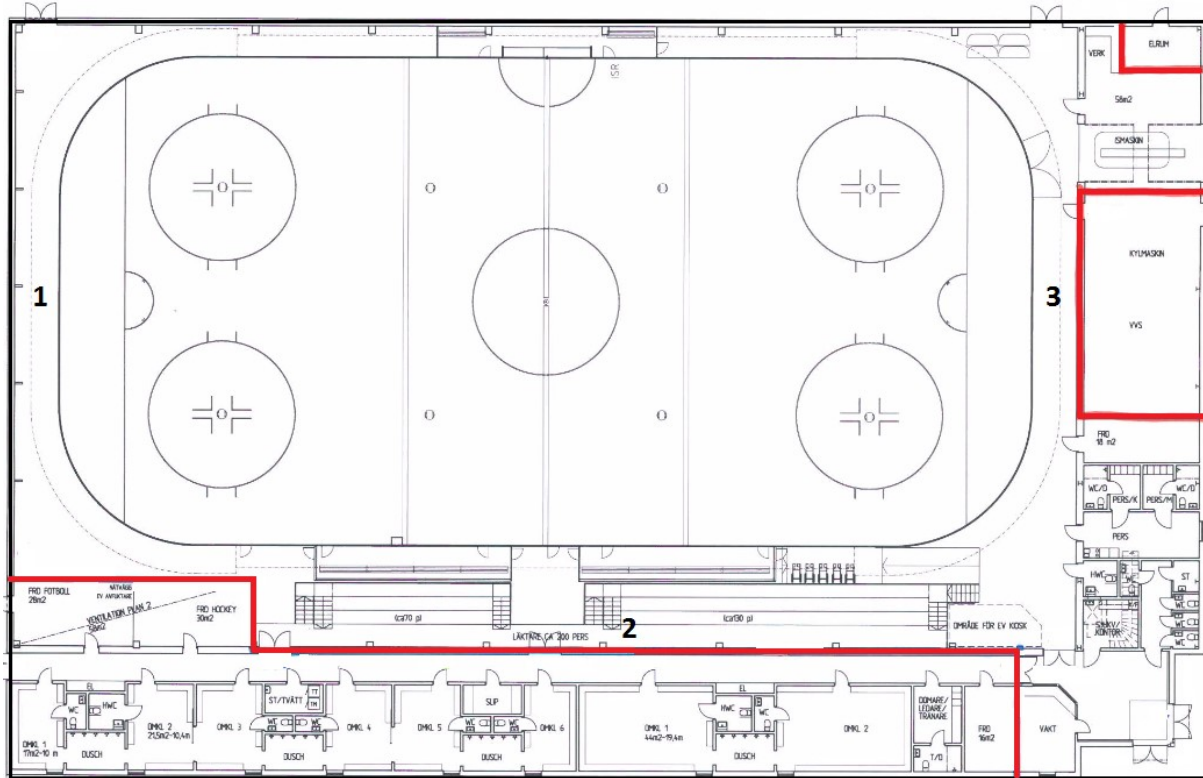
Med tillväxthastigheten, maxeffekten och samt tiden till övertändning kända kan en effektkurva konstrueras, denna återfinns i Figur E1 nedan.



Figur E 1 - Effektkurva för brand i utrymme under läktaren.

Bilaga F – Känslighetsanalys för läktarbranden

För brandscenariot ”Brand i förvaringsutrymme under läktaren” genomfördes en andra FDS-simulering i samband med känslighetsanalysen. I denna bilaga presenteras resultat från den simuleringen. I FDS gjordes mätningar i ett flertal punkter, men tre punkter som ansågs vara representativa för hela ishallen valdes ut för att vidare studeras. Placeringen av dessa punkter visas i Figur F1 nedan.



Figur F 1 - Placering av mätpunkter.

Förhållandet mellan brandens karakteristiska diameter och cellstorleken visas nedan

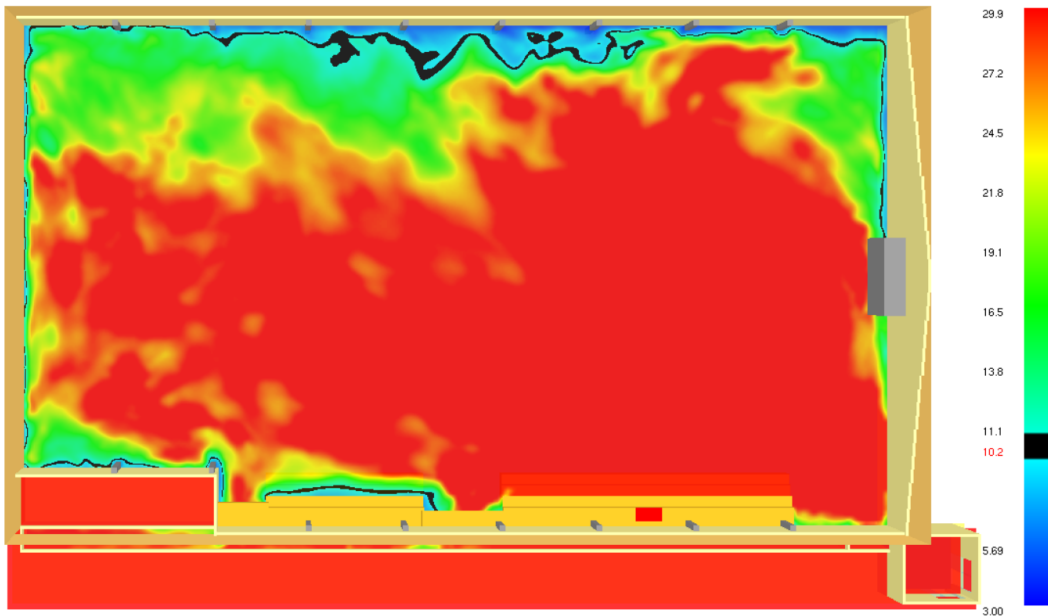
$$\frac{D^*}{\delta x} = 8,2$$

Brandens dimensionslösa effekt visas nedan

$$Q^* = 1,3$$

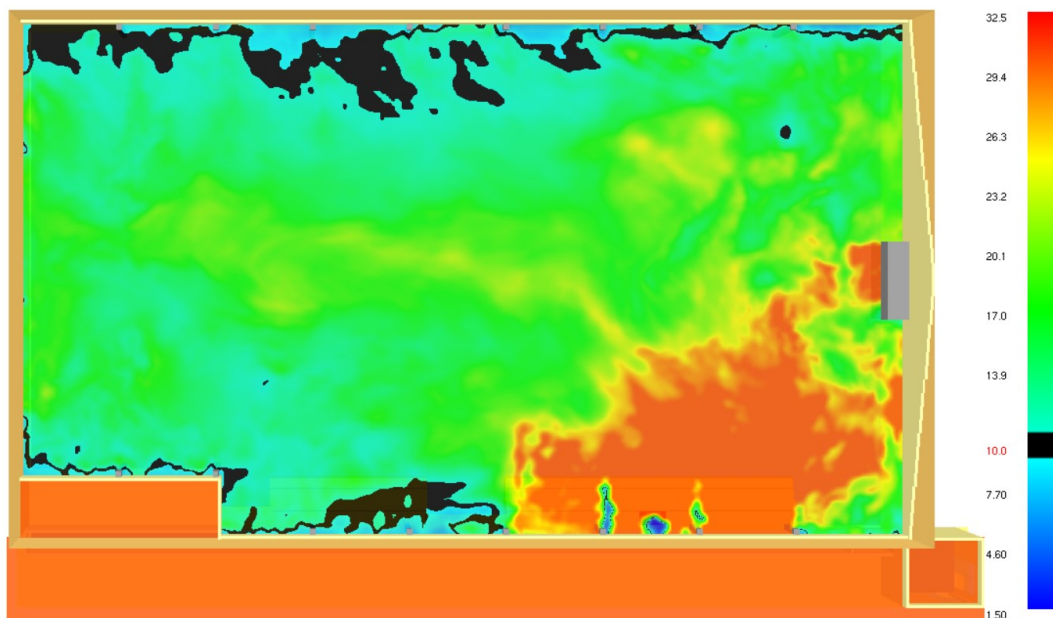
Siktbarhet

Sikten undersöktes 2 meter över golvnivån samt 4,4 meter över golvnivån vilket motsvarar 2 meter ovanför den översta läktarnivån. I Figur F2 nedan visas sikten 2 meter över marken 800 sekunder efter brandens start. Vid denna tidpunkt börjar sikten understiga 10 meter på vissa platser i ishallen.



Figur F 2 - Sikten 2 meter över golvet 800 sekunder efter brandens start.

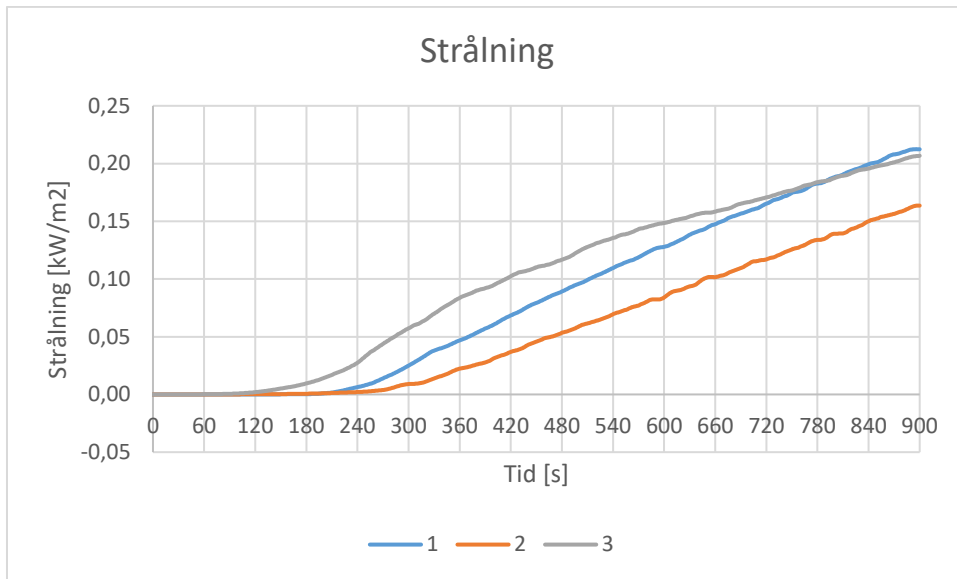
Efter 420 sekunder börjar sikten understiga 10 meter på en höjd på 4,4 meter över marken, vilket framgår av Figur F3 nedan.



Figur F 3 - Sikten 4,4 meter över golvet 420 sekunder efter brandens start.

Värmestrålning/Värmedos

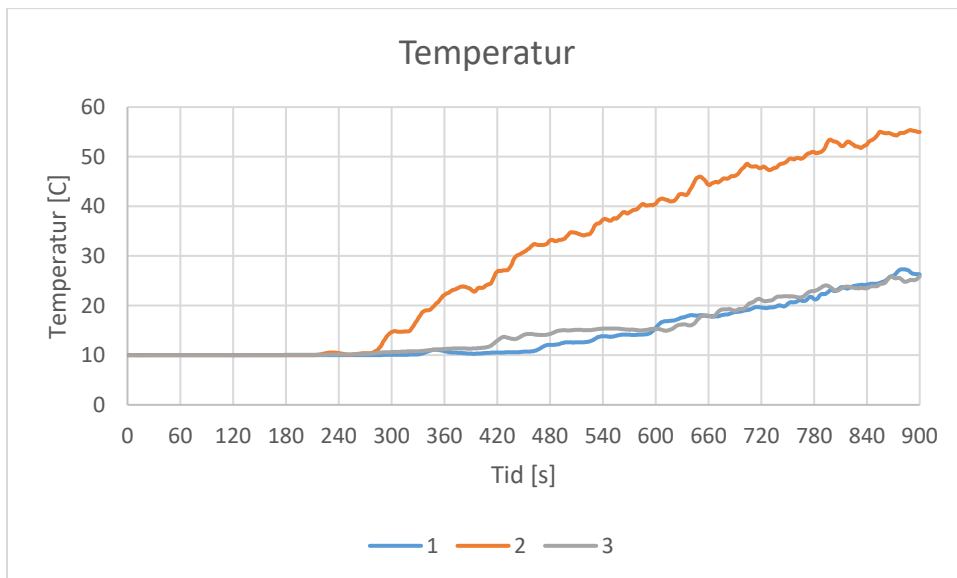
Värmestrålningen når som högst upp till ungefär $0,2 \text{ kW/m}^2$ vilket understiger den kritiska nivån på $2,5 \text{ kW/m}^2$. Inte heller värmedosen uppnår kritiska nivåer då strålningen aldrig överstiger 1 kW/m^2 . Resultaten från strålningsmätningarna visas i Figur F4 nedan.



Figur F 4 - Uppmätt strålning i punkterna 1-3.

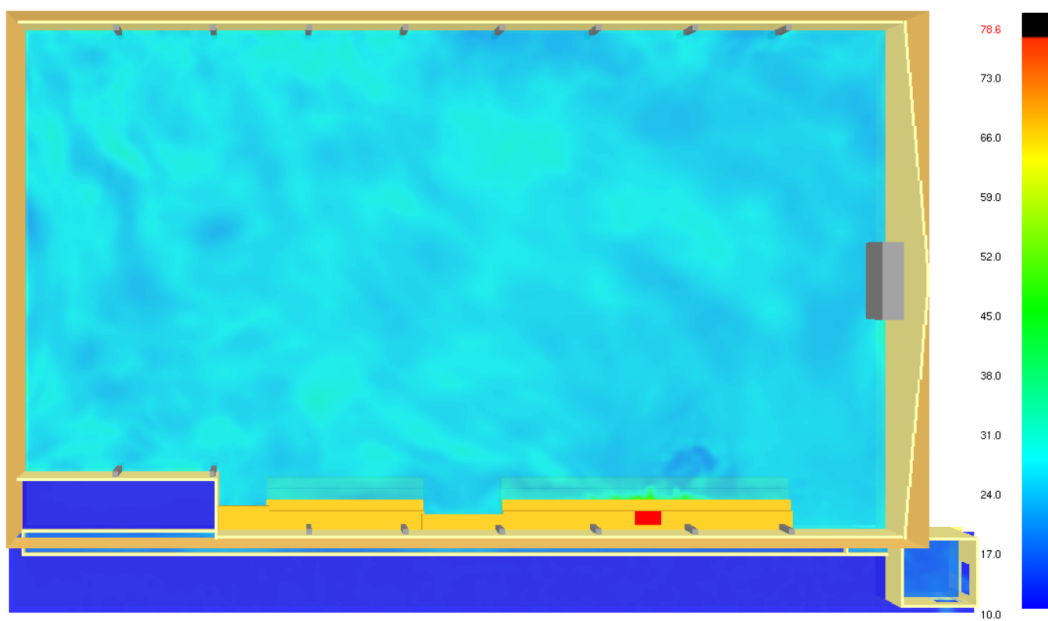
Temperatur

Temperaturen uppnår ungefär 55°C på en höjd av 4,4 meter och ungefär 25°C på en höjd av 2 meter. Temperaturen uppnår alltså inte kritiska nivåer. I Figur F5 nedan visas temperaturmätningarna i de tre mätpunkterna.



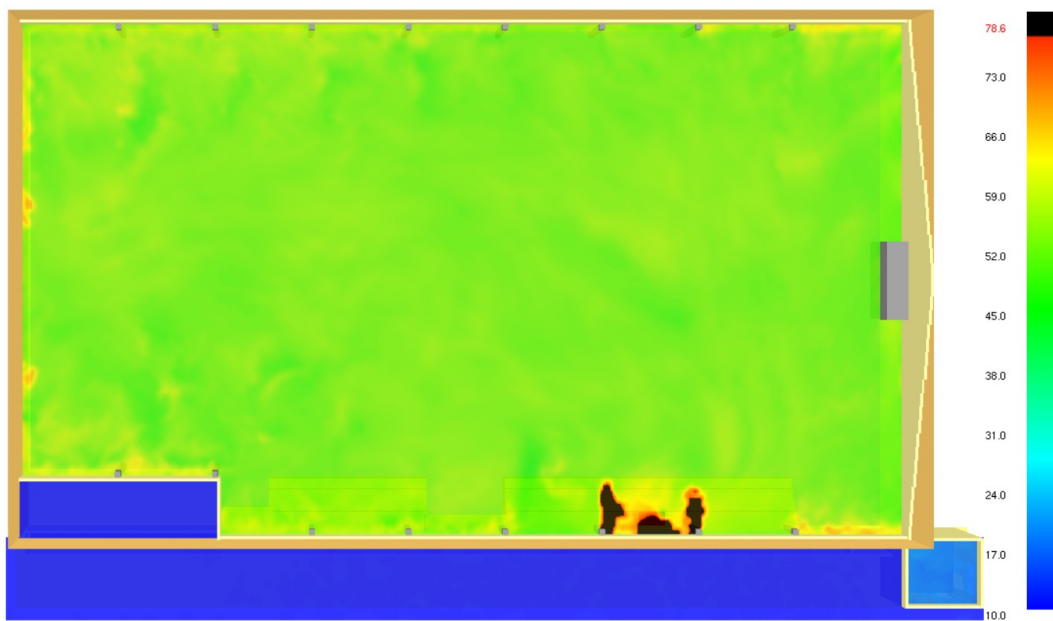
Figur F 5 - Temperatur i punkterna 1-3.

I Figur F6 nedan visas en temperaturen 2 meter över marken efter 900 sekunder.



Figur F 6 - Temperaturen 2 meter över golvet 900 sekunder efter brandens start.

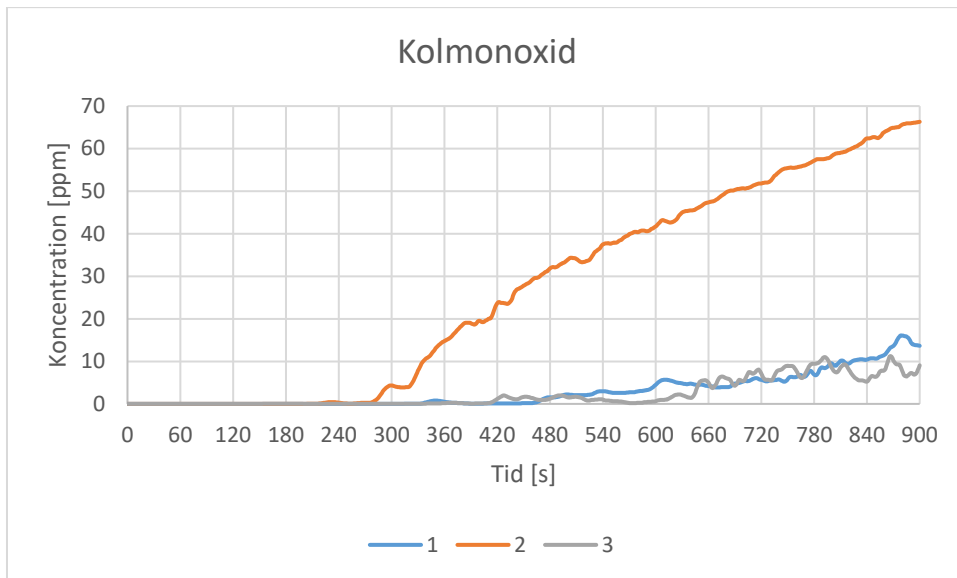
I Figur F7 nedan visas temperaturen 4,4 meter över marken efter 900 sekunder.



Figur F 7 - Temperaturen 4,4 meter över golvet 900 sekunder efter brandens start.

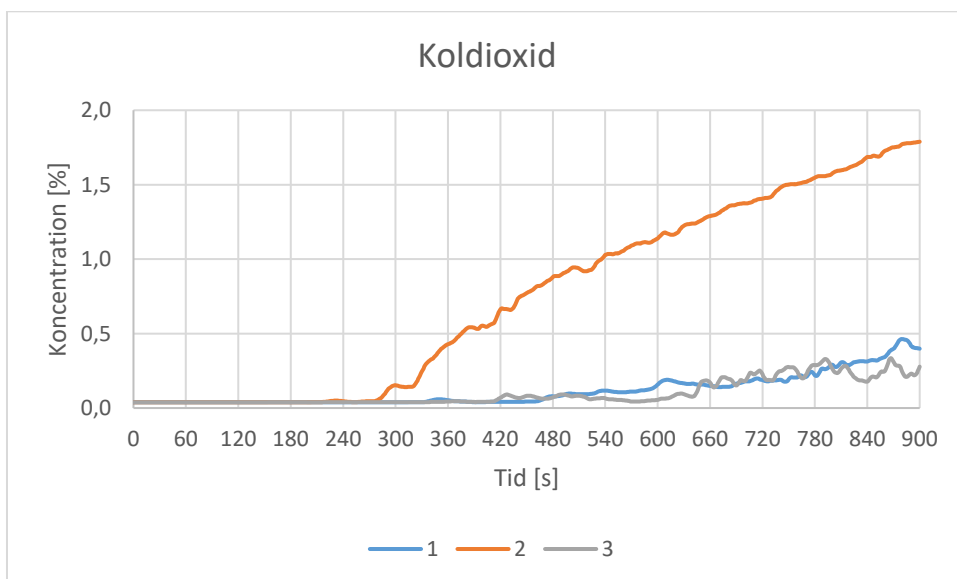
Toxicitet

Enligt de kritiska förhållandena får kolmonoxidhalten inte överstiga 1200 ppm. Detta uppfylls då halten som högst uppnår ungefär 70 ppm, vilket framgår av Figur F8.



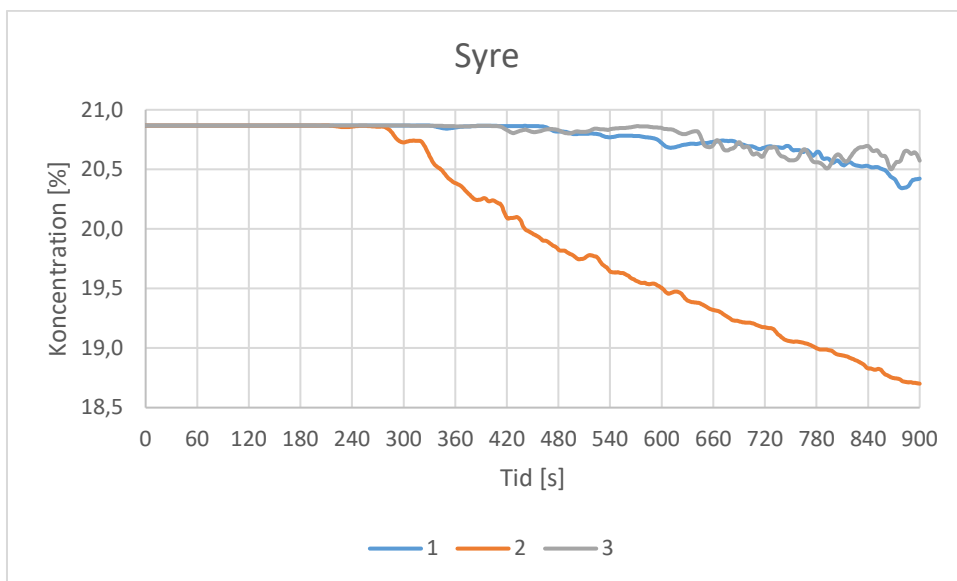
Figur F 8 - Kolmonoxidkoncentrationen i punkterna 1-3.

Koldioxidhalten uppnår som högst 1,8 % vilket understiger den kritiska nivån på 5 %. Detta framgår av Figur F9 nedan.



Figur F 9 - Koldioxidkoncentrationen i punkterna 1-3.

Syrenivån blir som lägst 18,5 % och understiger alltså inte den kritiska nivån på 15 %. De uppmätta syrenivåerna visas i Figur F10 nedan.



Figur F 10 - Syrekonzentrationen i punkterna 1-3.

Sammanfattning av resultat

I Tabell F1 visas en sammanställning av den tillgängliga tiden tills de kritiska förhållandena uppnås.

Tabell F 1 - Sammanställning av den tillgängliga tiden.

Kritiskt förhållande	Tillgänglig tid [s]
Siktbarhet	800
Värmestrålning/Värmedos	>900
Temperatur	>900
Toxicitet	>900

Bilaga G – Beräkningar för läktarbranden känslighetsanalys

I denna bilaga återfinns de beräkningar som genomfördes i känslighetsanalysen med avseende på effektkurvan för scenariot med en brand i förvaringsutrymmet under läktaren.

Den parameter som varierar är öppningarna, det vill säga springorna i läktaren. Springorna som finns på sittplatserna uppskattas ha en area på 0,59 m² och springorna på dörrsidorna en area på 0,76 m², vilket ger en total öppningsarea på 1,35 m². Därför antas i känslighetsanalysen att öppningsarean är 20% större, alltså 1,62 m². Den ventilationskontrollerade maxeffekten blir således:

$$\dot{Q}_{vent} = 1500A_o\sqrt{H_o} = 1500 \cdot 1,62 \cdot \sqrt{1,80} = 3260 \text{ kW}$$

Övertändning kommer att ske vid effekten:

$$\dot{Q}_{fo} = 7,8A_t + 378A_o\sqrt{H_o} = 7,8 \cdot 131 + 378 \cdot 1,62 \cdot \sqrt{1,80} = 1843 \text{ kW}$$

Övertändning kommer att ske vid tiden:

$$t_{fo} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{fo}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{1843}{0,047}} = 198 \text{ s}$$

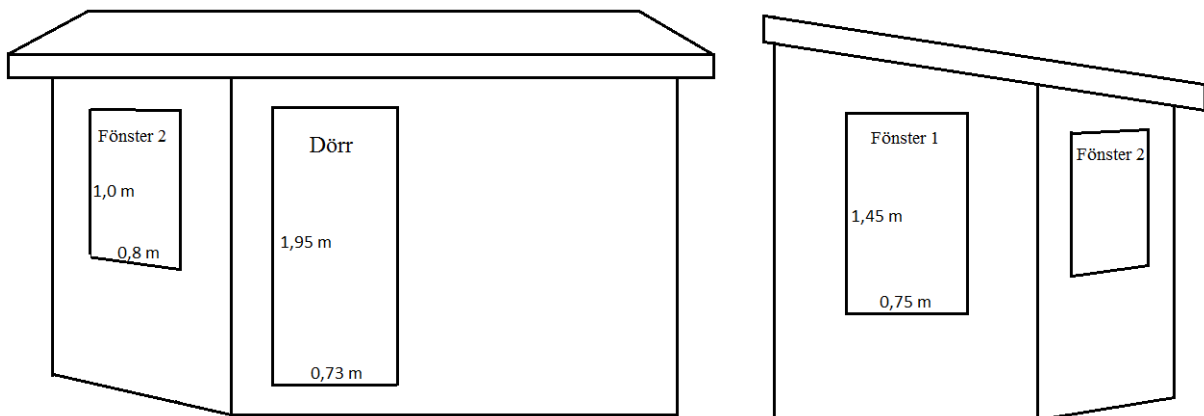
Där t_{fo} är tiden till övertändning [s], \dot{Q}_{fo} den effekt vid vilken övertändning sker [kW] och α tillväxthastigheten för branden [kW/s²].

Bilaga H – Framtagning av effektkurva, kiosk

I denna bilaga beskrivs och redovisas den metodik samt de beräkningar som genomfördes vid konstruktion av effektkurvan. Metodiken är hämtad från publikationen *Selecting design fires* med hänsyn till att det är en flambrand som uppstår (Staffansson, 2010).

Effektberäkningar genomfördes för två möjliga fall. I det ena fallet är dörren öppen och i det andra är den stängd. Innan övertändning sker i rummet så antas enbart fönster 2 vara öppet, se Figur H1. Då detta är ett skjutfönster är det enbart halva fönstrets yta som används i beräkningarna. Vid övertändning antas de båda fönsterna gå sönder, vilket medför att dess hela ytor används i beräkningarna. I det fall dörren är öppen antas den öppnas i samband med övertändningen.

Om dörren är öppen eller stängd har betydelse i sammanhanget då detta påverkar tiden till övertändning. I beräkningarna antogs, av konservativa skäl, att dörren förblir stängd fram till övertändning. Detta är konservativt eftersom en stängd dörr ger kortare tid till övertändning gentemot en öppen dörr. Se Figur H1 för översiktsbild.



Figur H 1- Kioskens geometri.

Det första som beräknades var den effekt som krävs för att få en övertändning i kiosken. Sambandet och beräkningen redovisas nedan.

$$\dot{Q}_{fo} = 7,8A_t + 378A_o\sqrt{H_o} \text{ [kW]}$$

Där \dot{Q}_{fo} är effekten som krävs för övertändning [kW], A_t utrymmets totala omslutningsyta inklusive ventilationsöppningar [m²], A_o ventilationsöppningarnas area [m²] och H_o ventilationsöppningarnas höjd [m]. Med omslutningsyta avses den yta som utgörs av golv, väggar och tak, med ventilationsöppningar avses fönster och dörrar.

Ventilationsöppningarnas area är 0,4 m² och dess höjd 1 m, utrymmets totala omslutningsyta är 44 m². Dessa värden används i ekvationen ovan och redovisas i beräkningen nedan.

$$\dot{Q}_{fo} = 7,8 \cdot 44 + 378 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{1} = 490 \text{ kW}$$

Övertändning sker alltså vid en effekt på 490 kW. För att ta reda på ifall denna effekt uppnås i utrymmet så beräknades en maxeffekt (\dot{Q}_{peak}) vilken baseras på hur

ventilationsförhållandena respektive bränsletillgången ser ut. Om $\dot{Q}_{peak} > \dot{Q}_{fo}$ kommer det med stor sannolikhet uppstå en övertändning i utrymmet.

Först beräknades \dot{Q}_{fuel} som är maxeffekten med avseende på bränsletillgången. För denna beräkning uppskattades vad som kunde finnas i utrymmet då det inte funnits möjlighet att se detta vid platsbesöket. I Tabell H1 presenteras de föremål som antas finnas i utrymmet, dess maximala effekt samt var data för effekten är inhämtad.

Tabell H 1 - Föremål som förväntas finnas i kiosken och deras maximala effekt.

Föremål	Maxeffekt [kW]	Källa
Papperskorg	50	(Särdqvist, 1993)
Vadderad stol	200	(Särdqvist, 1993)
Kaffekokare	25	(Särdqvist, 1993)
Väggar & golv (35 m ² , gran)	6400	(LILLEY & KIM, 2000)
Hylla (5 m ² , gran)	890	(LILLEY & KIM, 2000)
Gardiner	100	(Särdqvist, 1993)

Då dessa effekter adderas erhålls den maximala effekten $\dot{Q}_{fuel} = 7700 \text{ kW}$.

Nästa steg var att beräkna den högsta möjliga effekten med avseende på syretillgången, vilken beräknas enligt ekvationen nedan.

$$\dot{Q}_{vent} = 1500A_o\sqrt{H_o} \text{ [kW]}$$

Där \dot{Q}_{vent} är den maximala effekt vilken är möjlig med avseende på syretillgången [kW], A_o ventilationsöppningarnas area [m²] och H_o ventilationsöppningarnas höjd [m]. De värden som används i beräkningarna samt den beräknade effekten redovisas i Tabell H2.

Tabell H 2 - Öppningsareor och effekt vid ventilationskontrollerad brand.

	A_o [m ²]	H_o [m]	\dot{Q}_{vent} [kW]
Stängd dörr	1,9	1,3	3200
Öppen dörr	3,3	1,9	6300

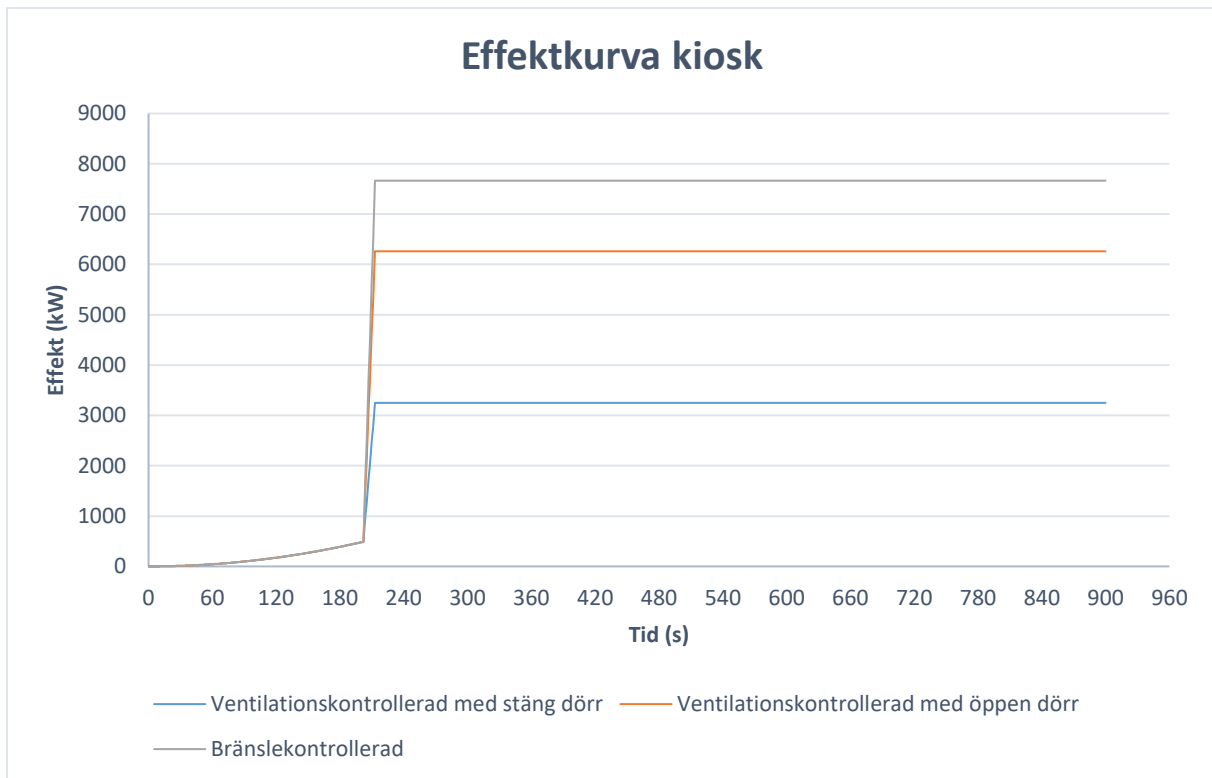
Eftersom $\dot{Q}_{fuel} > \dot{Q}_{vent}$ kan aldrig \dot{Q}_{fuel} uppstå. Detta eftersom syretillgången inte tillåter det. Därför används \dot{Q}_{vent} som \dot{Q}_{peak} ($\dot{Q}_{peak} = \dot{Q}_{vent}$). Vidare är $\dot{Q}_{peak} > \dot{Q}_{fo}$ så en övertändning kommer med stor sannolikhet ske.

Vid konstruktion av effektkurvorna användes at^2 -metoden, se ekvationen nedan.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \text{ [kW]}$$

Där α är tillväxthastighet [Kw/s²] och t är tiden [s]. Vid beräkningarna användes medelsnabb tillväxthastighet, $\alpha = 0,0012 \text{ kW/s}^2$. Detta värde är baserat på kioskbranden som återfinns i (LILLEY & KIM, 2000).

De erhållna effektkurvorna återfinns nedan i Figur H2.



Figur H 2 - Effektkurvor för brand i kiosk

Följande metodik användes då kurvorna i Figur H2 konstruerades:

Under tillväxtfasen användes αt^2 -metoden, vid \dot{Q}_{fo} (490 kW) då övertändning sker i rummet erhålls \dot{Q}_{peak} , denna tillväxt antas ske inom loppet av tio sekunder.

I Figur H2 ovan är alla de beräknade effektkurvorna redovisade, den effektkurva som kommer användas i rapporten och i simuleringarna är "Ventilationskontrollerad med öppen dörr".

Detta eftersom det inte går att utesluta att dörren till kiosken står öppen samt att effekten för en bränslekontrollerad brand inte är möjlig i detta utrymme.

Bilaga I – Handberäkning på strålning

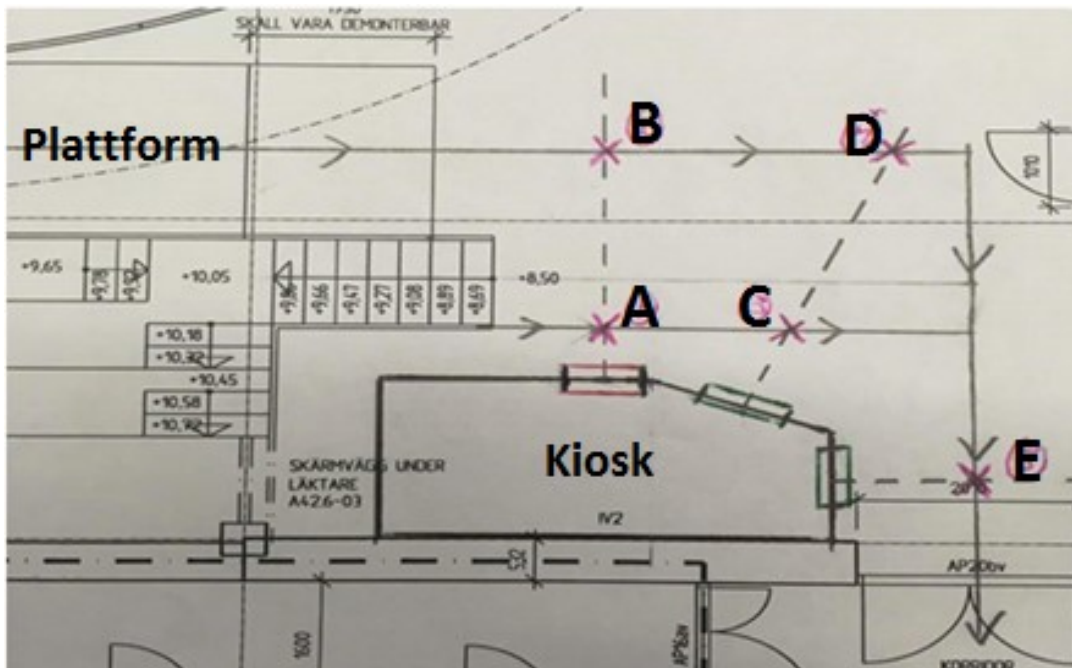
Vid strålningsberäkningarna användes ekvationen nedan.

$$\dot{q}'' = 4\phi\varepsilon\sigma T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Där \dot{q}'' är strålning per kvadratmeter [W/m^2], ϕ är synfaktor, ε är emissivitet, σ är Stefan Boltzmanns konstant ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$) och T är temperaturen i utrymmet [K].

Emissiviteten sätts till 1 av konservativa skäl och temperaturen i utrymmet antas vara $800 \text{ }^\circ\text{C}$ då detta är en vanlig temperatur i dessa sammanhang.

Stålningen beräknades i fem punkter vilka framgår i Figur I1. Avståndet från kiosken till varje punkt redogörs i Tabell I1.



Figur I 1 - De punkter som strålningen har beräknats i.

Avståndet från kiosken till varje punkt redogörs i Tabell I1.

Tabell I 1 - Avstånd från kiosk till punkter.

Punkt	Avstånd [m]
A	0,6
B	2,8
C	1,0
D	3,5
E	1,3

Synfaktorn för varje punkt beräknades enligt den metodik som återfinns i ”*An Introduction to Fire Dynamics*”, beräkningarna redovisas nedan (Drysdale, 2011).

För att ta fram en synfaktor beräknades S och α .

$$S = \frac{L_1}{L_2}$$

$$\alpha = \frac{L_1 \cdot L_2}{D^2}$$

Där L_1 är öppningens kortsida [m], L_2 dess långsida [m] och D avståndet från flamkällan till den punkt vilket strålningen beräknas i [m].

I Tabell I2 redovisas de indataparametrar som används vid beräkning av S och α , samt den erhållna synfaktorn som utläses ur Table 2.8 i ”*An Introduction to Fire Dynamics*” (Drysdale, 2011).

Tabell I 2 - Parametrar för framtagning av synfaktor.

Punkt	L_1	L_2	D	S	α	ϕ
A	0,365	0,975	0,6	0,4	1,0	0,1
B	0,365	0,975	2,8	0,4	0,05	0,02
C	0,4	0,5	1,0	0,8	0,2	0,05
D	0,4	0,5	3,5	0,8	0,02	0,006
E	0,375	0,725	1,3	0,5	0,2	0,048

Med alla parametrar i ekvationen kända beräknades strålningen, resultatet redovisas nedan i Tabell I3 i enheten [kW/m²].

Tabell I 3 - Strålning i punkterna.

	Punkt A	Punkt B	Punkt C	Punkt D	Punkt E
\dot{q}''	37	4,5	15	1,8	14

Bilaga J – Framtagning av effektkurva, hockeyförråd

I denna bilaga redovisas tillvägagångssättet för att få fram effektkurvan för en brand i hockeyförrådet.

För att få fram en effektkurva används en αt^2 -kurva för tillväxtfasen, för att få en representativ effektkurva används tidigare motsvarande försök av lagrad plast. Volymen i hockeyförrådet är $6,4 \times 3,8 \times 2,4 = 58 \text{ m}^3$. Öppningarna i ventilationen antas vara små att de kan försummas. Gallret som utgör skiljeväggar i förrådet är av stål och det antas inte påverka. Effekten har beräknats för två olika fall, i den ena fallet är dörren öppen 30 cm och i det andra är den helt öppen.

Uträkningarna har gjorts enligt *Selecting design fires* (Staffansson, 2010). För att kunna kontrollera om det blir en övertändning används ekvationen nedan och om resultatet är under \dot{Q}_{peak} kommer övertändning med stor sannolikhet att inträffa.

$$\dot{Q}_{fo} = 7,8A_t + 378A_o\sqrt{H_o}$$

Där \dot{Q}_{fo} är effekten som krävs för övertändning [kW], A_t utrymmets totala omslutningsyta inklusive ventilationsöppningar [m^2], A_o ventilationsöppningarnas area [m^2] och H_o ventilationsöppningarnas höjd [m]. Med omslutningsyta avses den yta som utgörs av golv, väggar och tak, med ventilationsöppningar avses dörröppningen.

De värden som använts i beräkningarna för \dot{Q}_{fo} redovisas nedan i Tabell J1 tillsammans med den erhållna effekten.

Tabell J 1 - Öppningsareor och effekt för övertändning.

	A_t [m^2]	A_o [m^2]	H_o [m]	\dot{Q}_{fo} [kW]
Dörr på glänt	98	0,8	2,1	1200
Helt öppen dörr	98	1,9	2,1	1800

Den maximala effektutvecklingen i ett ventilationskontrollerat utrymme kan bestämmas av luftflödet in till utrymmet. För att bestämma massflödet luft in genom en öppning används ekvationen nedan.

$$\dot{m}_a = 0,5A_o\sqrt{H_o}$$

Där \dot{m}_a är massflödet luft [kg/s], A_o ventilationsöppningarnas area [m^2] och H_o ventilationsöppningarnas höjd [m].

De värden som använt och de beräknade massflödena presenteras nedan i Tabell J2.

Tabell J 2 - Öppningsareor och massflödet för luft.

	A_o [m^2]	H_o [m]	\dot{m}_a [kg/s]
Dörr på glänt	0,8	2,1	0,55
Helt öppen dörr	1,9	2,1	1,4

Sedan kan den maximala effektutvecklingen beräknas utifrån ekvationen nedan.

$$\dot{Q}_{vent} = \dot{m}_a \cdot 13,1 \cdot 0,23$$

Där \dot{Q}_{vent} är den maximala effekt vilken är möjlig med avseende på syretillgången och \dot{m}_a är massflödet luft [kg/s]. Ekvationen bygger på att 1 kg syre antas ge 13,1 MJ med en syrehalt i luft på 23 massprocent. Eftersom syre flödar in i förrådet och mycket luft finns antas konservativt att allt syre förbränns.

De beräknade effekterna redovisas nedan i Tabell J3 tillsammans med de indataparametrar som använts i beräkningarna.

Tabell J 3 - Massflöde för luft och effekten för en ventilationskontrollerad brand.

	\dot{m}_a [kg/s]	\dot{Q}_{vent} [kW]
Dörr på glänt	0,55	1700
Helt öppen dörr	1,4	4100

För att avgöra ifall det är bränsle- eller syretillgången som är begränsande faktor för effekten beräknas den maximala effekt (\dot{Q}_{fuel}) bränslet skulle kunna medföra. Antar värde från *Initial Fires*, FMRC standard plastic commodity, plast som lagras (Särdqvist, 1993).

$$\dot{Q}_{fuel} = 4000 \text{ kW}$$

I Tabell J4 nedan har en sammanställning av effekterna gjorts. De slutsatser som kan dras är att det är ventilationen som är begränsande faktor för fallet med dörren på glänt men för det andra fallet, den helt öppna dörren, är det bränslet som är begränsande. Vidare kommer övertändning ske i båda fall men vid olika tidpunkter, dessa beräkningar följer senare i denna bilaga. Kontentan blir att \dot{Q}_{peak} blir 1700 kW för fallet med dörren på glänt och 4000 kW med den helt öppna dörren.

Tabell J 4 - Effekt för övertändning, ventilationskontrollerad, bränslekontrollerad samt den maximala effekten.

	\dot{Q}_{fo} [kW]	\dot{Q}_{vent} [kW]	\dot{Q}_{fuel} [kW]	\dot{Q}_{peak} [kW]
Dörr på glänt	1200	1700	4000	1700
Helt öppen dörr	1800	4100	4000	4000

För att beräkna tiden till övertändning kan ekvationen nedan användas.

$$t_{fo} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{fo}}{\alpha}}$$

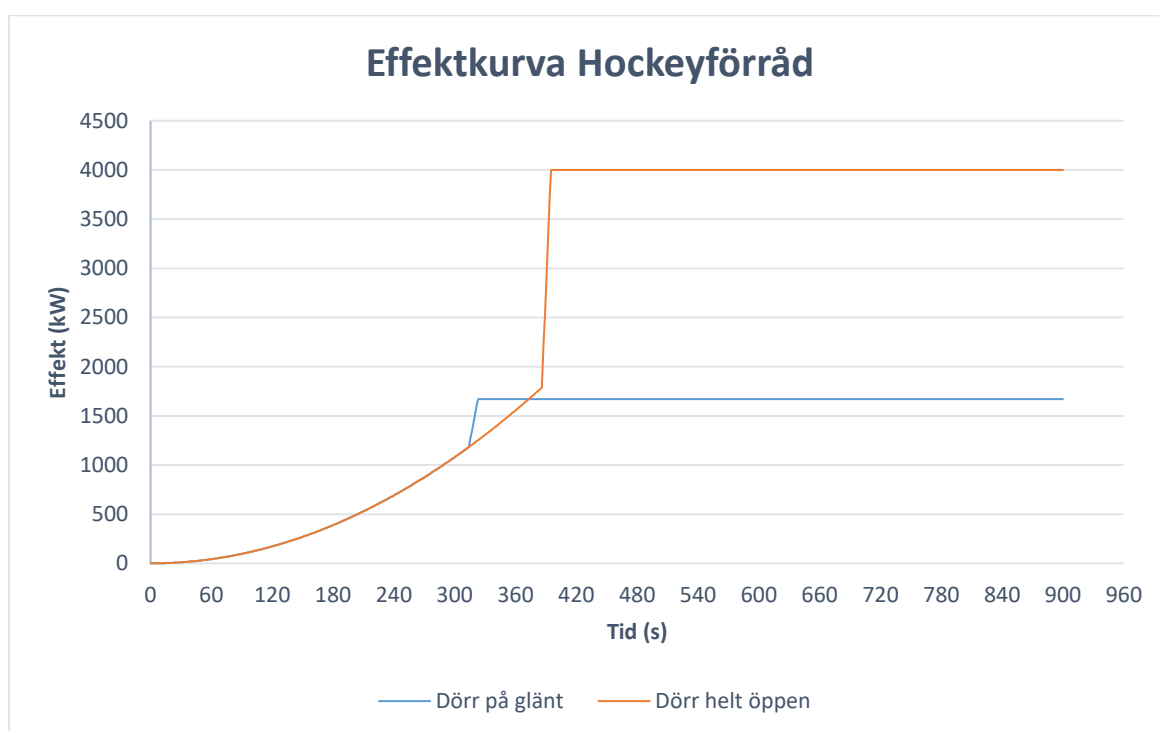
Där t_{fo} är tiden till övertändning [s], \dot{Q}_{fo} den effekt vid vilken övertändning sker [kW] och α tillväxthastigheten för branden [kW/s²].

För denna brand används $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$ och de beräknade tiderna till övertändning presenteras i Tabell J5 nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tabell J 5 - Effekt för övertändning, tillväxthastighet och tiden till övertändning.

	\dot{Q}_{fo} [kW]	α [kW/s ²]	t_{fo} [s]
Dörr på glänt	1200	0,012	310
Helt öppen dörr	1800	0,012	390

Övertändning sker alltså efter 310 sekunder för fallet då dörren står på glänt och efter 390 sekunder då dörren står helt öppen. De framtagna effektkurvorna återfinns i Figur J1 nedan.



Figur J 1- Effektkurvor för brand i hockeyförrådet.

Då sannolikheten för att dörren ska lämnas helt öppen bedöms som liten kommer den lägre effektkurvan att användas vid simuleringarna.

Bilaga K – Argos indata

I denna bilaga redovisas den indata som används vid simuleringen i Argos.

Tabell K 1 - Indata för Argosimulering.

Scenario name	Brand i Hockeyförråd
Client	Falkenbergs ishall
Consultant	Grupp 7
Company type	Service, consultant
Basic building construction	Concrete
Number of rooms	5

Informationen som erhålls ur Tabell K1 ovan är allmän information kring simuleringen så som simuleringens namn, vem arbetet utförs åt, vilken konsult och företag som utför arbetet samt den typ av material bygganden i huvudsak består av och hur många rum simuleringen innefattar.

I Tabell K2 nedan redovisas den uppställning vilken har använts för rummen i simuleringen.

Tabell K 2 - Indata för Argosimulering.

Rum					
	Hockeyförråd	Korridor del 1 av 4	Korridor del 2 av 4	Korridor del 3 av 4	Korridor del 4 av 4
Room use	Flammable store	Empty	Empty	Empty	Empty
Room area [m ²]	27,2	12,8	12,8	12,8	9,6
Average height [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Max. distance [m]	7,9	8,2	8,2	8,2	6,2
Floor type	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete
Length [m]	6,8	8	8	8	6

Korridoren delades upp i olika delar för att sen sättas ihop. Detta gjordes av den anledningen att Argos ska få ett mer tillförlitligt resultat. Bara halva korridoren, 30 m, tas med i simuleringen. Korridor 1 sitter ihop med korridor 2, korridor 2 med korridor 3 och korridor 3 med korridor 4. Korridor 2 och hockeyförrådet sitter ihop. Branden är placerad i hockeyförrådet. I Figur K1 framgår geometrin för det som simulerats.

Väggarna som ligger i anslutning till omgivningen antogs vara av det material som i Argos kallas "Prefab. Concrete external wall".

Vidare så representeras alla dörr som hål i Argos. Den input som används presenteras i Tabell K3 som följer.

Tabell K 3 - Indata för Argosimulering.

Wall part: Hole (Miscellaneous)					
	Förråd – korridorsdel 2	Förråd – omgivning	Korridorsdel 1 – korridorsdel 2	Korridorsdel 2 – korridorsdel 3	Korridorsdel 3 – korridorsdel 4
Type	Miscellaneous	Miscellaneous	Miscellaneous	Miscellaneous	Miscellaneous
No. of part	1	1	1	1	1
Width [m]	0,36	6,8	1,6	1,6	1,6
Height [m]	2,1	0,5	2,4	2,4	2,4

Ur Tabell K3 framgår att det är ett hål som motsvarar dörren mellan korridor 2 och förrådet. För att branden ska kunna nå rätt effekt görs en kompensering av byggnadens läckage i form av ett hål, detta hål placeras i golvnivå längs långsidan mot omgivningen i förrådet. Mellan varje korridorsdel finns ett hål som motsvarar korridorens tvärsnitt, resultatet blir en lång korridor men att Argos beräknar varje rum för sig. Detta ökar tillförlitligheten för utdata som erhålls från simuleringen.

Takets basmaterial antogs utgöras av det som i Argos kallas ”Concrete/mineral-wool/felt”.

Vidare så kräver Argos att man definierar den totala sträckan yttervägg som ligger i kontakt med omgivningen. Dessa längder för respektive rum presenteras nedan i Figur K1.

Tabell K 4 - Väggyta i kontakt med omgivningen.

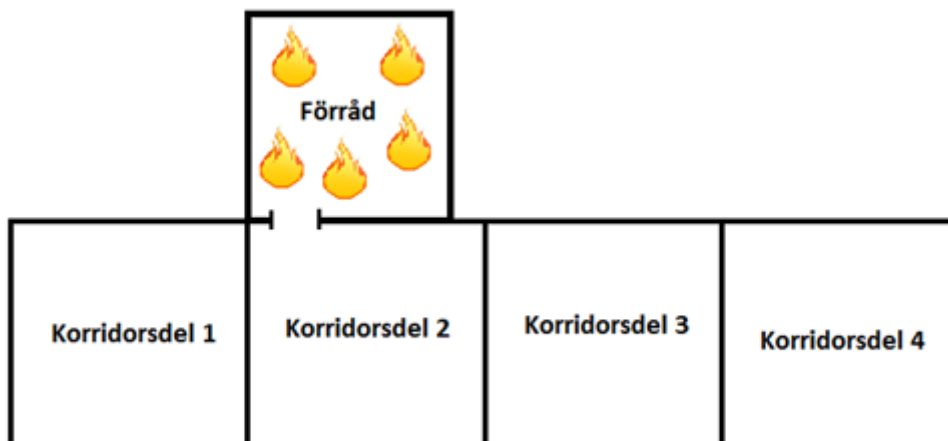
Surroundings [m]	
Hockeyförråd	14,8
Korridor 1	17,6
Korridor 2	9,2
Korridor 3	16
Korridor 4	13,6

Indatan som använts för att representera branden i scenariot redovisas i Tabell K5. Ur tabellen framgår bland annat den maximala effekten, tillväxthastigheten, optisk rökpotential samt strålningsfraktion. Den optiska rökpotentialen beräknas utifrån den smokeyield materialet som brinner har, denna beräkning hittas i slutet av denna bilaga.

Tabell K 5 - Indata för Argosimulering.

Fires	
Type	Energy Formula Fire
Name	Hockeyutrustning
Maximum Q(t) [MW]	1,68
Parabolic growth [MW/min ²]	0,043
Optical smoke potential [dB/m]	476
Radiation fraction	0,35

I Figur K1 nedan framgår den geometri som används vid simuleringarna samt i vilket rum branden startar.



Figur K 1 - Korridorrens uppbyggnad i Argos.

Nedan följer beräkningen för den optiska rökpotentialen (S_0), vilken är baserad på materialets smokeyield. Då det i förrådet finns flertalet material valdes ABS-plast som ett representativt material. Smokeyielden (y_s) för detta material är 0,105 och dess förbränningsentalpi (ΔH_{eff}) är 30000 kJ/kg. Ekvationen nedan används vid beräkning av den optiska rökpotentialen (Paulsen Husted, 2004).

$$S_0 = D_{0,10log} \cdot \frac{3000}{\Delta H_{eff}} \cdot 1200 = POD \cdot y_s \cdot \frac{1}{0,2303} \cdot \frac{3000}{\Delta H_{eff}} \cdot 1200$$

POD står för Particulate Optical Density och är i princip oberoende av bränsle men däremot direkt beroende av typen av brand, det vill säga ifall det är en flambrand eller glödbrand. Då vi har en flambrand används värdet $8,7 \text{ m}^2/g$ (Paulsen Husted, 2004). Med alla parametrar kända medför insättning:

$$S_0 = POD \cdot y_s \cdot \frac{1}{0,2303} \cdot \frac{3000}{\Delta H_{eff}} \cdot 1200 = 8,7 \cdot 0,105 \cdot \frac{1}{0,2303} \cdot \frac{3000}{30000} \cdot 1200 = 476 \text{ dB/m}$$

Bilaga L – Toxiciteten för Argosimuleringar

För att beräkna mängden CO₂ som bildas i Argosimuleringarna har följande beräkningsgång använts:

1. Först beräknades densiteten för koldioxid med hjälp av allmänna gaslagen.

$$\rho_{CO_2} = \frac{P \cdot M_{CO_2}}{R \cdot T_g} = \frac{101325 \cdot 44,01}{8,3145 \cdot T_g} = \frac{536330}{T_g}$$

Där ρ_{CO_2} är densiteten för koldioxid [g/m³], P trycket [Pa], M_{CO_2} molmassan [g/mol], R allmänna gaskonstanten [J/(mol·K)] och T_g de varma gasernas temperatur [K].

2. Därefter beräknades massan CO₂ som finns i utrymmet när 5 % av luften består av koldioxid genom följande formel:

$$m_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot Koncentration_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot 0,05$$

Där m_{CO_2} är massan koldioxid per kubikmeter [g/m³], ρ_{CO_2} densiteten för koldioxid [g/m³] och $Koncentration_{CO_2}$ volymprocenten koldioxid i luften [m³/m³]. Att koncentrationen sätts till 0,05 beror på att det är den högsta tillåtna koncentrationen för koldioxid enligt de kritiska förhållandena.

3. Massan sot som bildats beräknades genom:

$$m_s = m_{CO_2} \cdot \frac{y_s}{y_{CO_2}} = m_{CO_2} \cdot \frac{0,105}{1,5} = m_{CO_2} \cdot 0,07$$

Där m_s är massan sot per kubikmeter [g/m³], y_s sootyield [-] och y_{CO_2} yelden för koldioxid [-]. Värdena för yelderna är hämtade från (SFPE, 2002).

4. Den optiska densiteten fås av:

$$D_{0,log_{10}} = m_s \cdot POD = m_s \cdot 8,7$$

Där $D_{0,log_{10}}$ är den optiska densiteten [dB/m], m_s massan sot per kubikmeter [g/m³] och POD partikelformig optisk densitet [m²/g]. Värdet på POD är satt till 8,7 m²/g eftersom branden som beräknas i Argos är satt till en flambrand (Paulsen Husted, 2004).

5. Den optiska densiteten, som beräknades i punkt 4, jämfördes med grafer som fås ut av Argosimuleringar. Då går det att avläsa tiden till kritisk koncentration och vid vilken medeltemperatur som är i rummet då. För att kontrollera att resultatet är tillräckligt tillförlitligt ändvänder den nya temperaturen för att upprepa steg 1-4. Hamnar den nya optiska densiteten nära den första används den tiden. Annars återupprepas val av temperatur tills det blir rätt.

För att få ut när koncentrationen kolmonoxid når den kritiska nivån användes samma tillvägagångssätt som ovan har presenterats för koldioxid, men följande konstanta värden för kolmonoxid har använts istället:

$$M_{CO_2}: 28,01 \text{ g/mol}$$

$$\text{Koncentration}_{CO}: 0,0012$$

$$y_{CO_2}: 0,054$$

Koldioxidhalten i scenariot med hockeyförrådsbranden

Först ansattes temperatur till 80 °C.

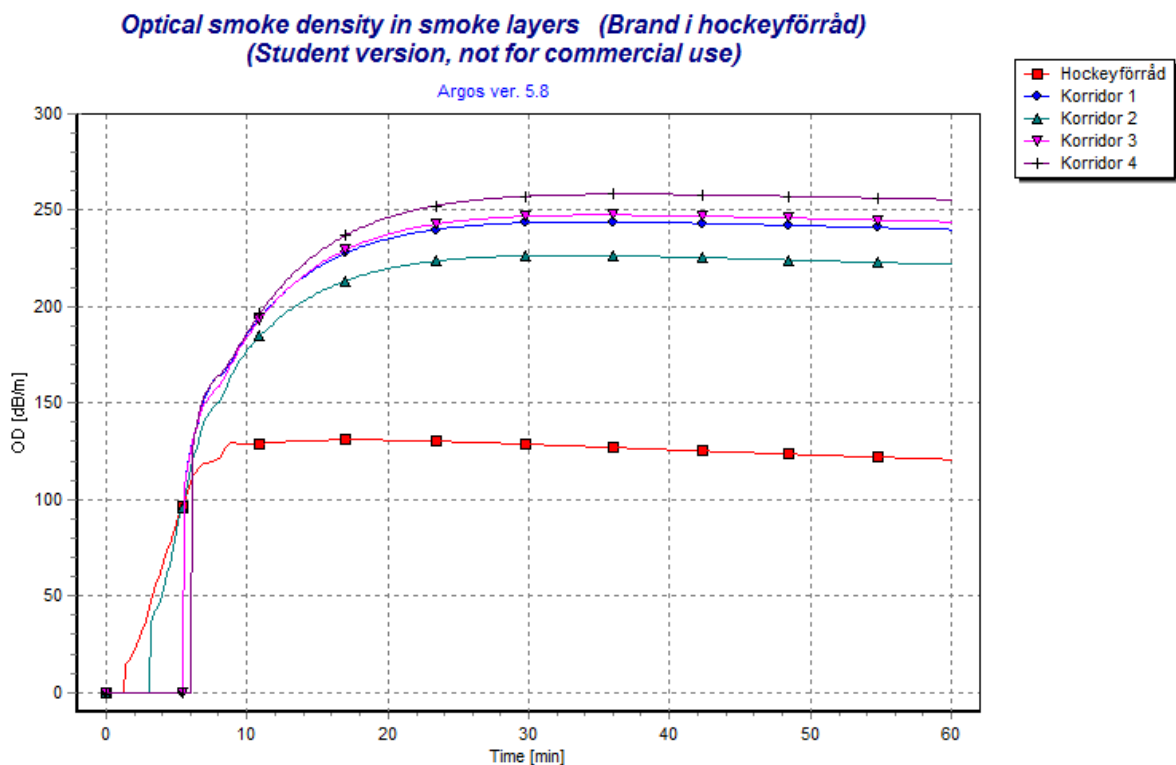
$$\rho_{CO_2} = \frac{536330}{T_g} = \frac{536330}{353} = 1519 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot 0,05 = 1519 \cdot 0,05 = 76,0 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO_2} \cdot 0,07 = 76,0 \cdot 0,07 = 5,32 \text{ g/m}^3$$

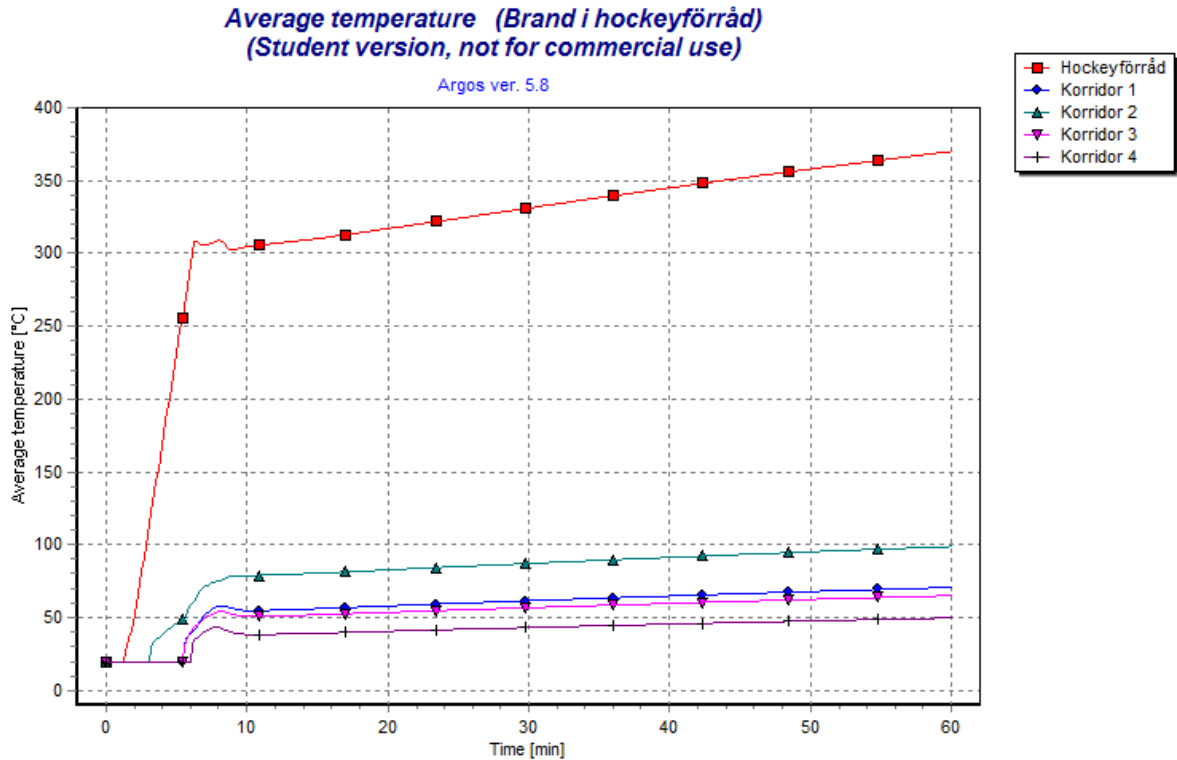
$$D_{0,log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 5,32 \cdot 8,7 = 46,3 \text{ dB/m}$$

Värdet 46,3 dB/m jämförs med den graf som Argosimuleringen gav, se Figur L1 för att få ut tiden.



Figur L 1 - Optisk densitet i brandgaslagret.

I Figur L2 går det att avläsa vilken temperatur som kommer vara i rummet vid denna tid.



Figur L 2 – Medeltemperatur i de olika rummen.

Grafen visar att den optiska densiteten uppnås efter ungefär 240 sekunder, då är temperaturen uppe i 40 °C. För att följa punkt 5 görs samma beräkningar för temperaturen 40 °C.

$$\rho_{CO_2} = \frac{536330}{T_g} = \frac{536330}{313} = 1714 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot 0,05 = 1714 \cdot 0,05 = 85,7 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO_2} \cdot 0,07 = 80,5 \cdot 0,07 = 6,00 \text{ g/m}^3$$

$$D_{0,log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 6,00 \cdot 8,7 = 52,2 \text{ dB/m}$$

En jämförelse med graferna visar åter att det tar ungefär 240 sekunder innan koldioxidhalten blir kritisk.

Kolmonoxidhalten i scenariot med hockeyförrådsbranden

Först ansattes temperatur till 80 °C.

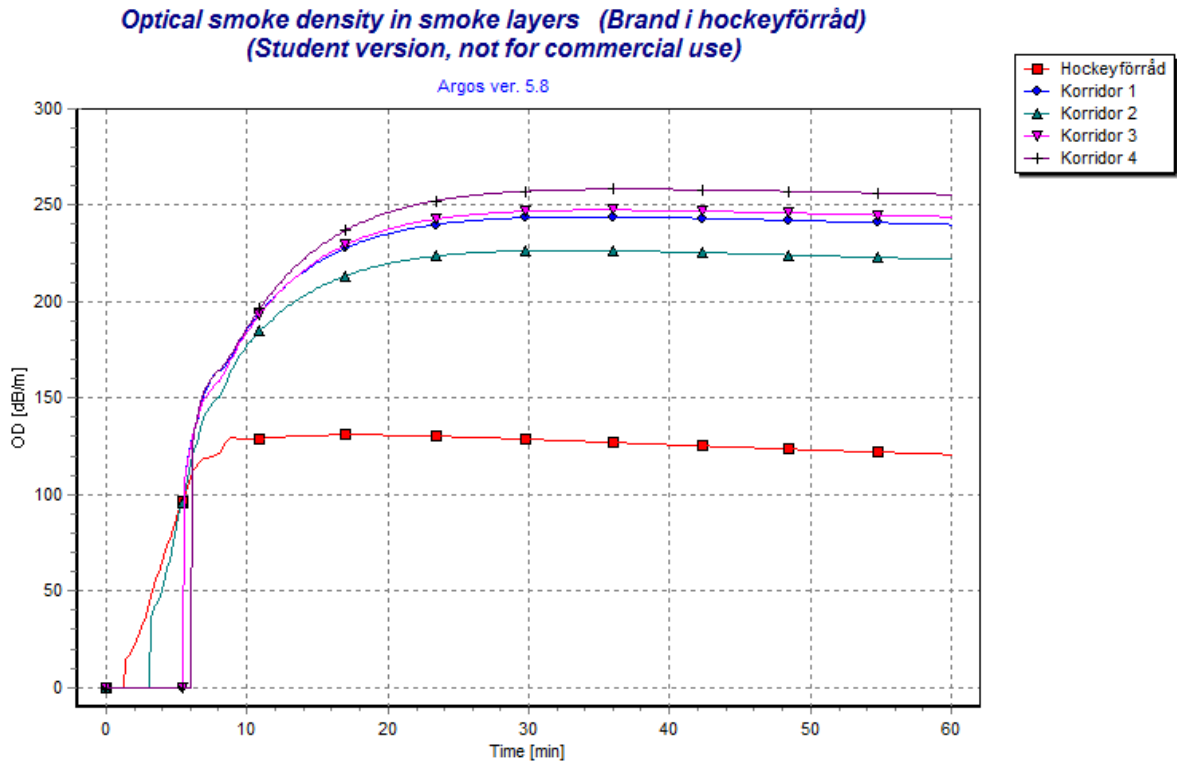
$$\rho_{CO} = \frac{536330}{T_g} = \frac{341345}{353} = 967 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO} = \rho_{CO} \cdot 0,0012 = 967 \cdot 0,0012 = 1,16 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO} \cdot 1,94 = 1,16 \cdot 1,94 = 2,26 \text{ g/m}^3$$

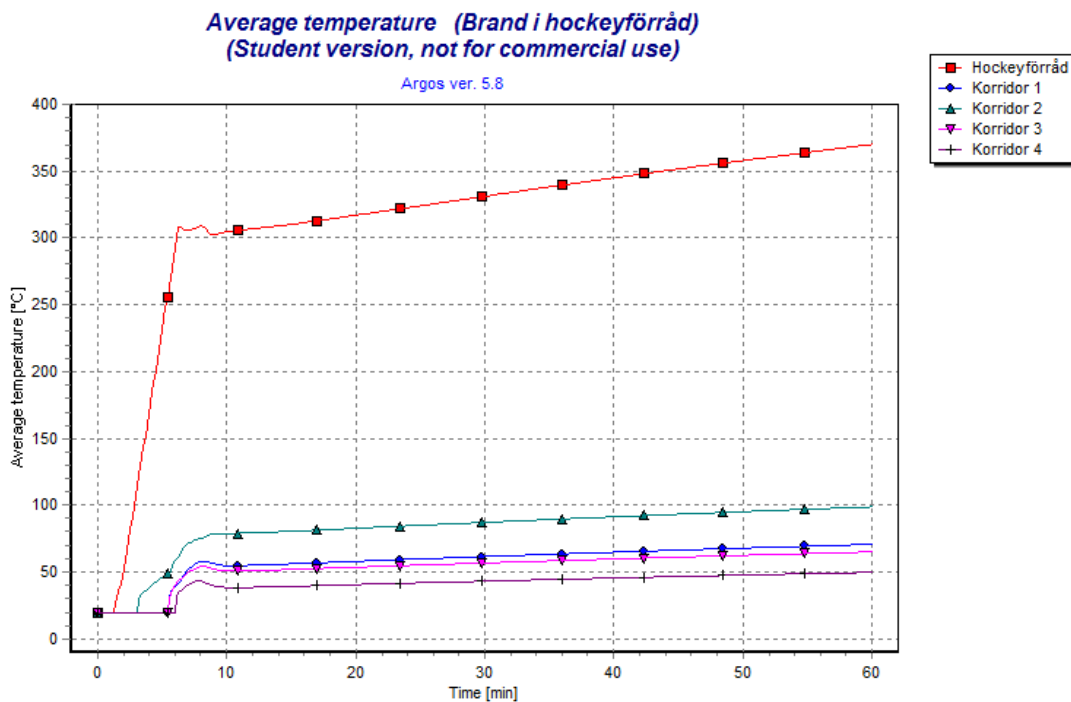
$$D_{0,log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 2,26 \cdot 8,7 = 19,6 \text{ dB/m}$$

Värdet 19,6 dB/m jämförs med den graf som Argos simuleringen gav, se Figur L3 för att få ut tiden.



Figur L 3 - Optisk densitet i brandgaslagret.

I Figur L4 går det att avläsa vilken temperatur som kommer vara i rummet vid denna tid.



Figur L 4 - Medeltemperatur i de olika rummen.

Grafen visar att den optiska densiteten uppnås efter ungefär 180 sekunder, då är temperaturen uppe i 30 °C. För att följa punkt 5 görs samma beräkningar för temperaturen 30 °C.

$$\rho_{CO} = \frac{536330}{T_g} = \frac{341345}{303} = 1127 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO} = \rho_{CO} \cdot 0,0012 = 1127 \cdot 0,0012 = 1,35 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO} \cdot 1,94 = 1,35 \cdot 1,94 = 2,63 \text{ g/m}^3$$

$$D_{0,\log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 2,63 \cdot 8,7 = 22,9 \text{ dB/m}$$

En jämförelse med graferna visar åter att det tar ungefär 180 sekunder innan kolmonoxidhalten blir kritisk.

Koldioxidhalten i scenariot med stadvagnsbranden

Först ansattes temperatur till 80 °C.

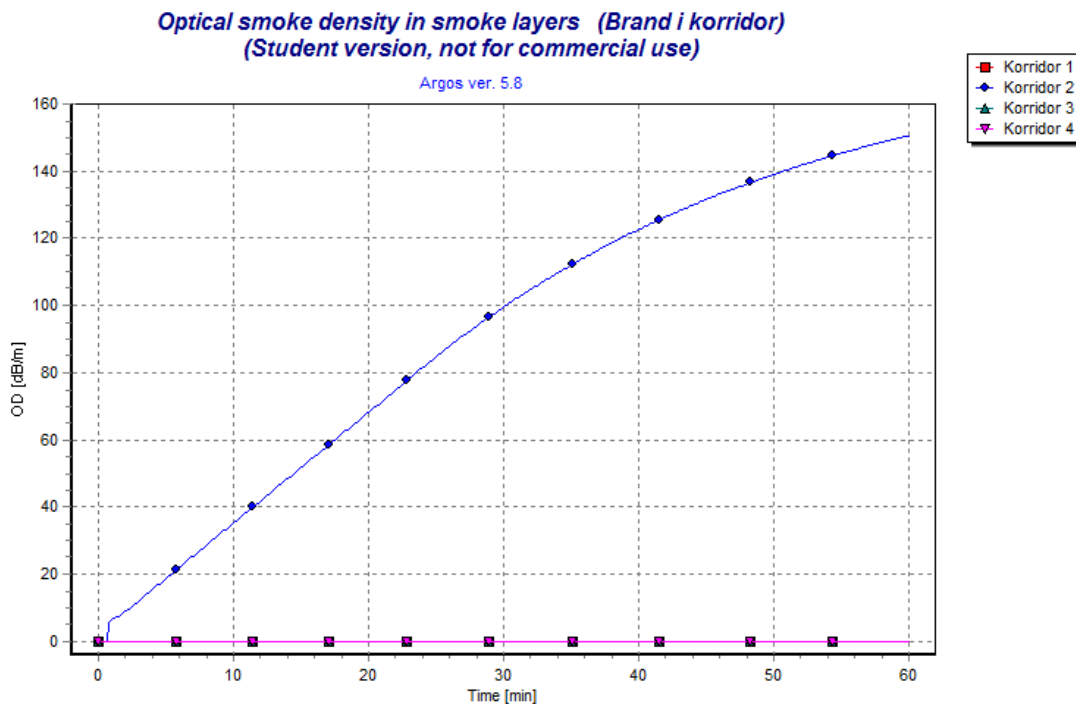
$$\rho_{CO_2} = \frac{536330}{T_g} = \frac{536330}{353} = 1519 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot 0,05 = 1519 \cdot 0,05 = 76,0 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO_2} \cdot 0,07 = 76,0 \cdot 0,07 = 5,32 \text{ g/m}^3$$

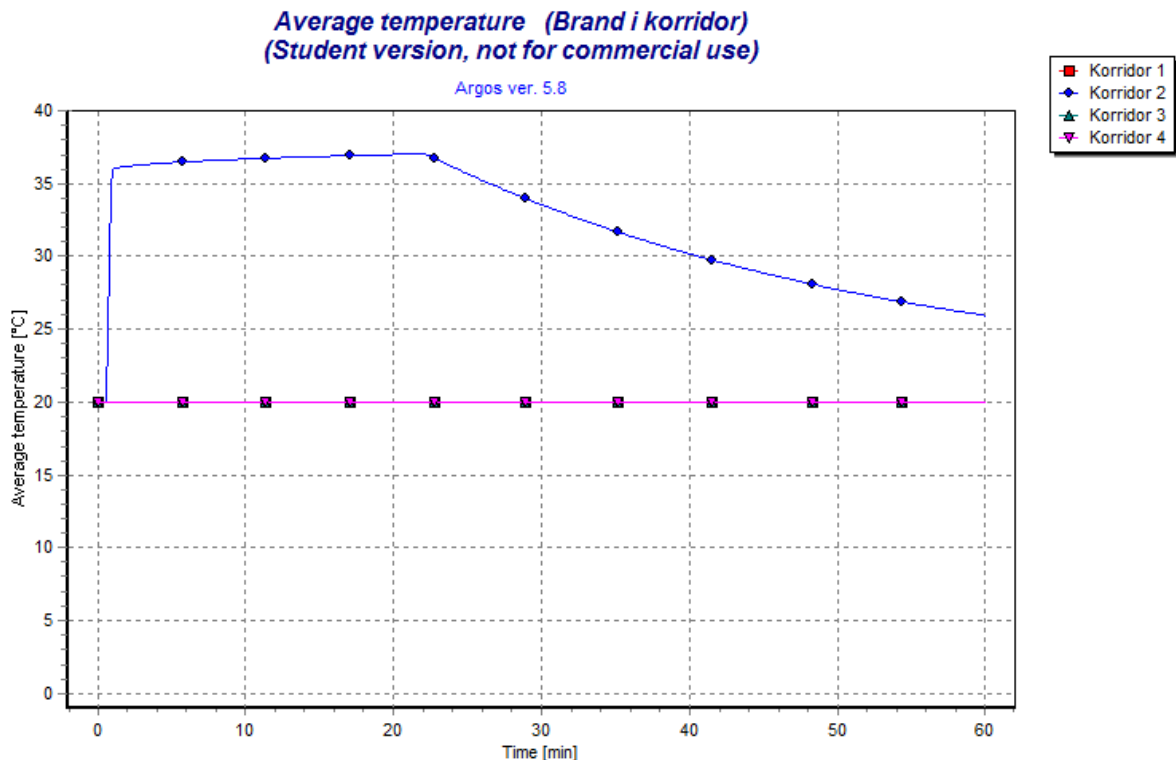
$$D_{0,\log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 5,32 \cdot 8,7 = 46,3 \text{ dB/m}$$

Värdet 46,3 dB/m jämförs med den graf som Argos simuleringen gav, se Figur L5 för att få ut tiden.



Figur L 5 - Optisk densitet i brandgaslagret.

I Figur L6 går det att avläsa vilken temperatur som kommer vara i rummet vid denna tid.



Figur L 6 - Medeltemperatur i de olika rummen.

Grafen visar att den optiska densiteten uppnås efter ungefär 780 sekunder, då är temperaturen uppe i 37 °C. För att följa punkt 5 görs samma beräkningar för temperaturen 37 °C.

$$\rho_{CO_2} = \frac{536330}{T_g} = \frac{536330}{310} = 1730 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot 0,05 = 1730 \cdot 0,05 = 86,5 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO_2} \cdot 0,07 = 86,5 \cdot 0,07 = 6,06 \text{ g/m}^3$$

$$D_{0,log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 6,06 \cdot 8,7 = 52,7 \text{ dB/m}$$

En jämförelse med graferna visar att det tar ungefär 840 sekunder innan koldioxidhalten blir kritisk. Vid 840 sekunder är även temperaturen 37 °C.

Kolmonoxidhalten i scenariot med städvagnsbranden

Först ansattes temperatur till 80 °C.

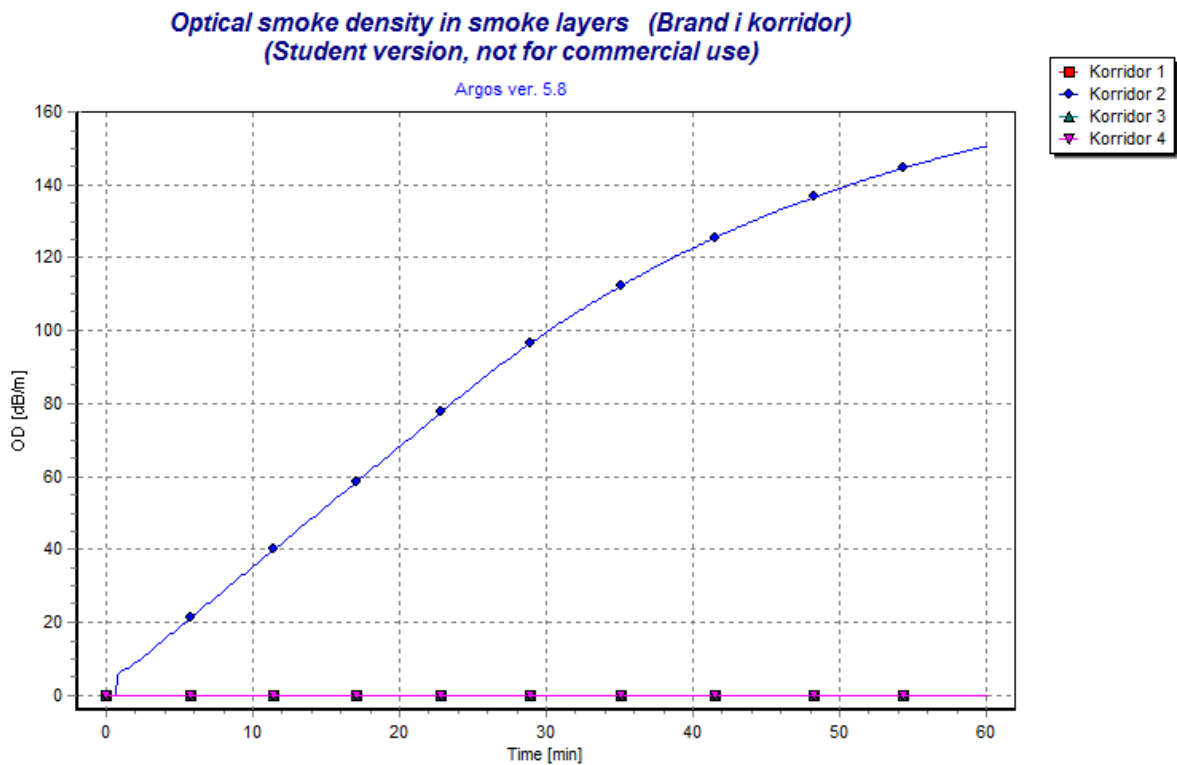
$$\rho_{CO} = \frac{536330}{T_g} = \frac{341345}{353} = 967 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO} = \rho_{CO} \cdot 0,0012 = 967 \cdot 0,0012 = 1,16 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO} \cdot 1,94 = 1,16 \cdot 1,94 = 2,26 \text{ g/m}^3$$

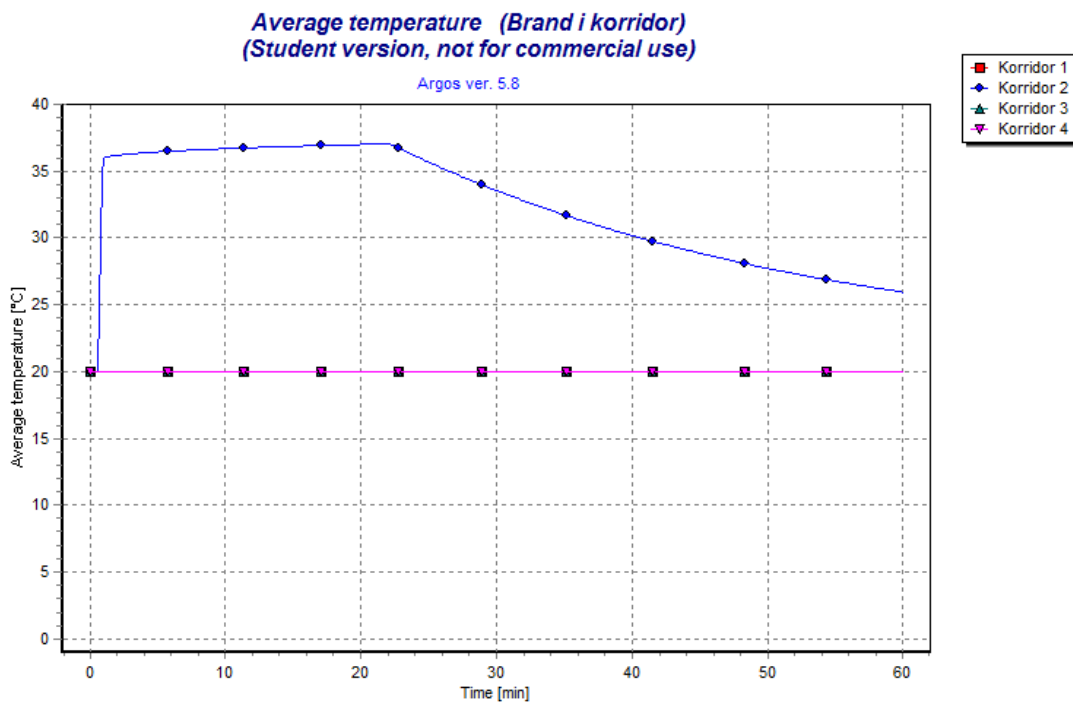
$$D_{0,log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 2,26 \cdot 8,7 = 19,6 \text{ dB/m}$$

Värdet 19,6 dB/m jämförs med den graf som Argos simuleringen gav, se Figur L7 för att få ut tiden.



Figur L 7 - Optisk densitet i brandgaslagret.

I Figur L8 går det att avläsa vilken temperatur som kommer vara i rummet vid denna tid.



Figur L 8 - Medeltemperatur i de olika rummen.

Grafen visar att den optiska densiteten uppnås efter ungefär 360 sekunder, då är temperaturen uppe i 37 °C. För att följa punkt 5 görs samma beräkningar för temperaturen 30 °C.

$$\rho_{CO} = \frac{536330}{T_g} = \frac{341345}{310} 1101 \text{ g/m}^3$$

$$m_{CO} = \rho_{CO} \cdot 0,0012 = 1101 \cdot 0,0012 = 1,32 \text{ g/m}^3$$

$$m_s = m_{CO} \cdot 1,94 = 1,32 \cdot 1,94 = 2,57 \text{ g/m}^3$$

$$D_{0,\log_{10}} = m_s \cdot 8,7 = 2,63 \cdot 8,7 = 22,3 \text{ dB/m}$$

En jämförelse med graferna visar åter att det tar ungefär 360 sekunder innan kolmonoxidhalten blir kritisk.

Bilaga M – Indata Argos efter åtgärdsförslag

I denna bilaga redovisas den indata som används vid simuleringen i Argos efter åtgärdsförslag. Eftersom branden i hockeyförrådet inte kommer vara dimensionerande efter åtgärdsförslagen har en beräkning genomförs för en stadvagn som tillfälligt befinner sig i korridoren. Effekten inhämtade från (Särdqvist, 1993) där maxeffekten 120 kW uppstår efter lite drygt en minut. Vagnen placeras utanför hockeyförrådet för att få dess potentiellt värsta placering i korridoren. En ny simulering i Argos utfördes.

Tabell M 1 - Indata för Argosimulering.

Scenario name	Brand i korridor
Client	Falkenbergs ishall
Consultant	Grupp 7
Company type	Service, consultant
Basic building construction	Concrete
Number of rooms	4

Informationen som erhålls ur Tabell M1 ovan är allmän information kring simuleringen så som simuleringens namn, vem arbetet utförs åt, vilken konsult och företag som utför arbetet samt den typ av material bygganden i huvudsak består av och hur många rum simuleringen innefattar. I Tabell M2 nedan redovisas den uppställning vilken har använts för rummen i simuleringen.

Tabell M 2 - Indata för Argosimulering.

	Korridorsdel 1 av 4	Korridorsdel 2 av 4	Korridorsdel 3 av 4	Korridorsdel 4 av 4
Room use	Empty	Empty	Empty	Empty
Room area [m ²]	12,8	12,8	12,8	9,6
Average height [m]	2,4	2,4	2,4	2,4
Max. distance [m]	8	8	8	6
Floor type	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete
Length [m]	8	8	8	6

Korridoren delades upp i olika delar för att sen sättas ihop. Detta gjordes av den anledningen att Argos ska få ett mer tillförlitligt resultat. Bara halva korridoren, 30 m, tas med i simuleringen. Korridor 1 sitter ihop med korridor 2, korridor 2 med korridor 3 och korridor 3 med korridor 4. Branden är placerad i korridor 2. I Figur M1 framgår geometrin för det som simulerats. Väggarna som ligger i anslutning till omgivningen antogs vara av det material som i Argos kallas "Prefab. Concrete external wall". Vidare så representeras alla dörrar som hål i Argos. Den input som används presenteras i Tabell M3 som följer.

Tabell M 3 - Indata för Argosimulering.

Wall part: Hole (Miscellaneous)				
	Korridorsdel 1 – omgivning	Korridorsdel 1 – korridorsdel 2	Korridorsdel 2 – korridorsdel 3	Korridorsdel 3 – korridorsdel 4
Type	Miscellaneous	Miscellaneous	Miscellaneous	Miscellaneous
No. of part	1	1	1	1
Width [m]	1,6	1,6	1,6	1,6
Height [m]	0,5	2,4	2,4	2,4

Ur Tabell M3 framgår att det är ett hål i korridorsdel 1 för att branden ska kunna nå rätt effekt. Det görs en kompensering av byggnadens läckage, detta hål placeras i golvnivå längs kortsidan mot omgivningen i korridorsdel 1. Mellan varje korridorsdel finns ett hål som motsvarar korridorens tvärsnitt, resultatet blir en lång korridor men att Argos beräknar varje del av korridoren för sig. Detta ökar tillförlitligheten för utdata som erhålls från simuleringen.

Takets basmaterial antogs utgöras av det som i Argos kallas ”Concrete/mineral-wool/felt”.

Vidare så kräver Argos att man definierar den totala sträckan yttervägg som ligger i kontakt med omgivningen. Dessa längder för respektive rum presenteras nedan i Tabell M4.

Tabell M 4 - Väggyta i kontakt med omgivningen.

Surroundings [m]	
Korridor 1	17,6
Korridor 2	16
Korridor 3	16
Korridor 4	13,6

Indatan som använts för att representera branden i scenariot redovisas i Tabell M5. Ur tabellen framgår bland annat den maximala effekten, tillväxthastigheten, optisk rökpotential samt strålningsfraktion. Den optiska rökpotentialen beräknas utifrån den smokeyield materialet som brinner har, denna beräkning hittas i slutet av denna bilaga.

Tabell M 5 - Indata för Argosimulering.

Fires	
Type	Energy Formula Fire
Name	Städvagn
Maximum Q(t) [MW]	0,12
Parabolic growth [MW/min ²]	0,1692
Optical smoke potential [dB/m]	180
Radiation fraction	0,35

I Figur M1 nedan framgår den geometri som används vid simuleringarna samt i vilken del av korridoren branden startar.



Figur M 1 - Korridorens uppbyggnad i Argos.

Nedan följer beräkningen för den optiska rökpotentialen (S_0), vilken är baserad på materialets smokeyield. Smokeyielden (y_s) för detta material är 0,0175 och dess förbränningsentalpi (ΔH_{eff}) är 13,2 kJ/g. Ekvationen nedan används vid beräkning av den optiska rökpotentialen (Paulsen Husted, 2004).

$$S_0 = D_{0,10log} \cdot \frac{3000}{\Delta H_{eff}} \cdot 1200 = POD \cdot y_s \cdot \frac{1}{0,2303} \cdot \frac{3000}{\Delta H_{eff}} \cdot 1200$$

POD står för Particulate Optical Density och är i princip oberoende av bränsle men däremot direkt beroende av typen av brand, det vill säga ifall det är en flambrand eller glödbrand. Då vi har en flambrand används värdet $8,7 \text{ m}^2/\text{g}$ (Paulsen Husted, 2004). Med alla parametrar kända medför insättning:

$$S_0 = POD \cdot y_s \cdot \frac{1}{0,2303} \cdot \frac{3000}{\Delta H_{eff}} \cdot 1200 = 8,7 \cdot 0,0175 \cdot \frac{1}{0,2303} \cdot \frac{3000}{13200} \cdot 1200 = 180 \text{ dB/m}$$