

Brandsäkerhet till sjöss

- beräkning av bränder på RO-RO fartyg

André Boman

Johan Wong

**Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Rapport 5217, Lund 2007

Brandsäkerhet till sjöss

- Beräkning av bränder på RO-RO fartyg

**André Boman
Johan Wong**

Lund 2007

Titel

Brandsäkerhet till sjöss – beräkning av bränder på RO-RO fartyg

Title

Fire safety at sea – calculations of fires at RO-RO vessels

Författare/Authors

André Boman

Johan Wong

Rapport/Report 5217

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5217--SE

Antal sidor/Number of pages: 78**Språk/Language: Svenska/Swedish****Illustrations:**

André Boman/Johan Wong

Keywords

FDS, *SIMULEX*, *C-Fast*, ships, evacuation, fire, fire spread, design fire

Sökord

FDS, *SIMULEX*, *C-Fast*, fartyg, utrymning, brand, brandspridning, dimensionerande brand

Abstract

This report evaluates the fire safety and safety of passenger's onboard RO-RO ships. *FDS* has been used for calculating fire and *SIMULEX* for calculating evacuation of passengers. Literature has been used for research regarding calculations of fires at sea. A different number of fire scenarios have been used to get the results that the report is based upon. These results have then been compared with the evacuation time results from simulations with *SIMULEX*.

Disclaimer

Vi som författare svarar för innehållet i denna rapport. Vid användandet av denna rapport som beslutsunderlag ansvarar läsaren för eventuella konsekvenser som kan uppstå. Vi som författare kan ej garantera att fel ej har uppstått i rapporten.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2007.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till dem som har hjälpt oss under hela färdigställande av denna rapport. Utan er hjälp och den vägledning som ni har gett oss hade vi aldrig kunna göra den.

Håkan Frantzich	Tack för all vägledning och hjälp vi har fått.
Jesper Axelsson	Tack för all hjälp som du har bidragit med. All den kunskap som du har delat med dig har vi haft enorm nytta av.
Jonas Lindeman och Magnus Ullner	Tack för all hjälp uppe på LTH:s kluster.
Maria Wong	Tack för att du har stått ut med mig under denna termin. Du har ställt upp mer än vad man kan begära...

André Boman & Johan Wong

Sammanfattning

Denna rapport ger till viss grad en grund till val av lättare material vid fartygstillverkning. Dessutom har stor vikt lagts vid personsäkerhet. För att undersöka utrymningstider har simuleringar gjorts med SIMULEX. Beräkningar har utförts för att få fram resultat gällande temperaturer, strålning och brandgasspridning.

Rapporten bygger på tre olika huvudberäkningar med en CFD-modell kallad *FDS*.

- Brand i en hytt med tillhörande korridor
- Brand i en mäss belägen inne i restaurangen
- Brand ute i restaurangen

Dessa tre är sedan uppdelade i ett antal underscenarion där olika förutsättningar gäller.

Rapporten ligger som grund för den avslutande delen i brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola och omfattar 10 akademiska poäng per författare. Projektet genomförs tillsammans med SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut).

Då säkerhetssystem såsom sprinkler och brandlarm till brandstyrka ombord inte fungerar visar resultaten att utrymning inte sker tillfredsställande för vissa brandscenarier. De scenarier som utrymningen inte sker tillfredsställande för är:

- Brand inne i mässen, både med hela och trasiga fönster
- Brand ute i restaurangen, både med hela och trasiga fönster

För hyttbranden uppstår eventuellt kritiska förhållanden i alla de fall där dörren är öppen från start eller där dörren öppnas efter angiven tid. Problemet är att det är svårt att avgöra höjden där temperaturen på brandgaserna är högre än de tillåtna 80°C.

Ur materialsynpunkt är det svårt att säga någonting om dess hållbarhet. Tanken med de resultat som genereras är att ge en fingervisning åt hur pass höga strålningsdoser och temperaturer som materialen utsätts för. Rapporten syftar därmed ej till att ge råd och rön om vilka material som kan användas i framtiden, detta problem lämnas åt exempelvis SP.

Vid utrymningssimuleringarna har IMO:s (*International Maritime Organisation*) regler gällande utrymning från passagerarfartyg använts. Dessa anger gånghastigheter, reaktionstider och ett antal scenarier gällande utrymning nattetid respektive dagtid. I de utrymningssimuleringar som gjorts har en slumpmässig fördelning för reaktionstiden hos passagerarna använts. Dessa i samband med de redan höga reaktionstiderna har lett till väldigt långa utrymningstider. En normalfördelning över reaktionstiden skulle förmodligen bättre spegla verkligheten, speciellt dagtid.

Följande betydande slutsatser för denna rapport kan dras utifrån de olika beräkningar som har gjorts med hjälp av de använda modellerna.

- Så länge säkerhetssystemen såsom brandlarm och sprinkler fungerar som de förväntas göra vid en eventuell brand är personsäkerheten god.
- Då säkerhetssystemen inte fungerar kan ej personsäkerheten fastställas. Detta gäller framför allt för restaurangbranden då siktbarheten är dålig, men även för hyttbranden finns det risk för att kritiska nivåer uppnås gällande temperaturen i brandgaserna.
- Restaurangen blir snabbt rökfylld. Detta beror sannolikt på att relativt lite brandgaser transporteras ut genom de små utgångarna från lokalen.
- Strålningsnivåer mot skrov blir inte så höga att strålningen har någon materialpåverkan. Brandgaserna som strömmar ut kyla snabbt av mot skrovet.
- Inne i brandrummen blir temperaturen hög, detta kan medföra direkta problem för de omkringliggande materialen. Samtidigt kan den uppkomna strålningen från branden i sig och varma brandgaser utgöra en negativ materialpåverkan.
- Utrymningstiderna blir relativt långa, detta beror framför allt på den långa responstid som är satt utifrån IMO:s regelverk. Dagtid anses en lognormal fördelning över responstiden vara mer trovärdig än en slumpmässigt fördelad kurva.
- Jämförelseanalys för *FDS* med hjälp av *C-Fast* visar att simuleringarna är trovärdiga. Nära branden tenderar en tvåzonsmodell (*C-Fast*) underskatta temperaturen och långt ifrån överskatta temperaturen. Diagrammen från jämförelsen påvisar att denna teori stämmer.

Summary

This report could, to a certain degree, lay as a foundation to choices of lightweight constructions at sea. Besides that the passenger safety has been an important part to evaluate. *SIMULEX* has been used to estimate the evacuation time for the passengers onboard a RO-RO ship. Calculations have been done to receive results regarding temperatures, radiation levels and the spread of fire smoke.

The report is build upon three main calculations using a CFD-model called *FDS*.

- Cabin fire and the corridor outside the cabin
- Fire inside the crew diner
- Fire inside the restaurant

These three has then been divided into a number of sub simulations where different conditions apply.

The report is a part of the final exam of the fire protection engineering programme at Lunds University in Lund, Sweden. The report is carried out by two students and in cooperation with SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut).

When all the safety equipment such as sprinkler and fire alarm to the fire crew onboard the ship is not working, some of the simulations show that the passenger's safety can not be established. These scenarios are:

- Fire inside the crew diner, both with the windows closed and with the windows broken
- Fire in the restaurant, both with the windows closed and with the windows broken

For the cabin fire it might be untenable conditions in all scenarios where the door is open from start or the door is opened after a certain given time. The problem is that it is difficult to decide the height where the smoke has a higher temperature then the allowed 80°C.

For the material it is difficult to say anything about its durability. The results that are given from the calculations can give a hint to the radiations levels that the materials might be exposed to. The report does not aim to give any kind of advice to what material that might be used in ship building. This problem is left to, for example, SP to solve.

When the evacuation simulations were carried out the authors was forced to use IMO's regulations regarding safety at sea. These regulations gives walking speeds of the passengers, the reaction time and a number of different scenarios regarding evacuation at daytime and night time. The evacuation simulations were carried out using a random distribution for the reaction time for the passengers. This together with the already long reaction time has lead to very long evacuation time. It might be more suitable with a lognormal distribution, especially at day time.

The following conclusions for this report may be done by analysing the calculations that have been done with the different models.

- As long as the safety systems, such as fire alarm and sprinkler are working the passengers safety is good.
- If the safety systems don't work as they should the passengers safety can not be guaranteed. This regards especially a fire in the restaurant where the visibility is bad, but there is some questions regarding a fire in the cabin as well.
- The restaurant is quickly filled with smoke. The reason is that the smoke transport out from the restaurant is bad.
- The radiation levels on the outside of the boat are not that high that it should affect the materials. The smoke that travels out from the broken windows is quickly cooled off.
- Inside the fire apartment the temperature is high; this may cause serious problems for the surrounding materials.
- The evacuation times are high. This is probably caused by the high response time that is a demand from IMO. At daytime the distribution should be a lognormal instead of the random distribution that is set by IMO today.
- The comparison between *FDS* and *C-Fast* shows that the simulations are reliable. Close to the fire *C-Fast* tends to underestimate the temperature and far from the fire *C-Fast* tends to overestimate the temperature. The charts show that this theory are accurate.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	3
1.3	Mål	3
1.4	Metod	3
1.5	Avgränsningar	3
1.6	Objektsbeskrivning	4
1.6.1	Byggnadstekniskt brandskydd	4
2	Analys av brandsäkerhet i båtar	5
3	Beräkningsuppställning	7
3.1	Restaurangbrand	7
3.1.1	Utdata	9
3.2	Hyttbrand	9
3.2.1	Utdata	11
3.3	Tidpunkt då fönster går sönder	11
3.3.1	Hyttbrand	11
3.3.2	Restaurangbrand	12
3.4	Ventilation	13
3.5	Tidpunkt då dörr öppnas	13
4	Resultat från FDS	15
4.1	Restaurangbrand	15
4.1.1	Temperatur	16
4.1.2	Brandgasspridning och siktbarhet	18
4.1.3	Strålning	20
4.1.3.1	Strålning från varma brandgaser	20
4.1.3.2	Strålning mot omgivande ytor intill branden	20
4.1.3.3	Strålning mot skrov	21
4.1.4	Sprinkleraktivering	22
4.1.5	Diskussion	22
4.1.6	Gridoberoende i restaurangbranden	23
4.2	Hyttbrand	24
4.2.1	Temperatur	25
4.2.2	Brandgasspridning och siktbarhet	26
4.2.3	Strålning	28
4.2.3.1	Strålning från varma brandgaser	28
4.2.3.2	Strålning mot omgivande ytor intill branden	30
4.2.3.3	Strålning mot skrov	30
4.2.4	Sprinkleraktivering	31
4.2.5	Diskussion	31
4.2.6	Gridoberoende i hyttbranden	32
5	Jämförelseanalys	33
5.1	Uppställning och resultat	33
6	SIMULEX och utrymning	35
6.1	Utrymning	35
6.1.1	Allmänt	35
6.1.2	Fall 1	35
6.1.3	Fall 2	36
6.1.4	Fall 3	37

6.1.5	Fall 4.....	37
6.2	Diskussion	38
7	Diskussion utifrån simuleringar	39
7.1	Personsäkerhet.....	39
7.1.1	Restaurangbrand	39
7.1.2	Hyttbrand.....	40
7.2	Material	40
8	Slutsats	41
9	Referenser	43
9.1	Litteratur.....	43
9.2	Elektroniska.....	43
9.3	Muntliga	43
	Förteckning över bilagor	45

1 Inledning

Detta är en rapport som är ett resultat av ett projektarbete på Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten är en del av den slutliga examinationen till brandingenjör. Projektet har genomförts av två studenter och omfattningen är 10 akademiska poäng per student. Arbetet påbörjades i september 2006.

1.1 Bakgrund

En brand på ett fartyg ute till sjöss innebär stor fara dels för själv båten i sig men framförallt för människorna ombord. I detta läge kan man inte som på land ringa 112 och invänta räddningstjänstens hjälpende hand, istället krävs det god säkerhet och utbildad personal ombord. Enligt statistik från Svenska Brandskyddsföreningen (*Internet 1, 2006*) inträffar det årligen cirka 15 bränder ombord på svenska fartyg. Då ska man ha i åtanke att svenska fartyg ändå har bra brandsäkerhet till skillnad från många andra länder. Med tanke på det utsatta läge ett fartyg befinner sig i ute till sjöss är det viktigt med ett bra brandskydd ombord. Det är dessutom av största vikt att fartyget är rätt utrustat ur brandförebyggande synvinkel och att det finns säkerhetsrutiner där besättningen är på det klara med vad de skall göra vid ett eventuellt tillbud. På grund av den geometri som ett fartyg har, med trånga utrymmen och små hytter rökfylles dessa snabbt. De trånga utrymmena gör det besvärligare för fartygets passagerare att utrymma än vad det är på land. Dessa omständigheter gör det därför lite mer komplicerat att evakuera människor till en säker plats vid ett brandtillbud på ett fartyg än på land. Andra faktorer som gör bränder mera svårhanterliga till sjöss är materialen i dagens fartyg, mestadels består de av stål- och aluminiumkonstruktioner som leder värme bra och kan orsaka brandspridning. Även farligt gods fraktas på fartyg vilket kan få stora konsekvenser vid en brand, samtidigt hanteras och används oljor i olika former under höga tryck, speciellt i maskinrummen. De fasta släcksystemen som består av vattensprinkler på fartygen kan vid användande leda till att fartyget blir instabilt på grund av de stora mängder vatten som pumpas ut inne i fartyget.

Nedan följer två exempel på katastrofer som drabbat fartyg utifrån ett brandscenario till sjöss. Färjan Al-Salam Boccaccio 98 som gick mellan Saudiarabien och Egypten sjönk i Röda havet med cirka 1300 passagerare varav omkring 900 omkom i februari 2006 (*Internet 2, 2006*). Utifrån överlevande passagerares berättelser tros olyckan ha inträffat på grund av instabilitet från det vatten som användes för att släcka en brand på bildäck, i samband med olyckan rådde även dåligt väder. (*Internet 3, 2006*)

En fartygsbrand som många minns är den då passagerarfärjan Scandinavian Star brann, den gången omkom 158 människor. Färjan trafikerade en sträcka mellan Fredrikshamn i Danmark och Oslo i Norge när en brand bröt ut utanför Sveriges kust på natten den 7 april 1990. Totalt befann sig 393 passagerare på färjan som var inte var redo för sjöfart, hytter var ostädade och besättningen på båten var uttrötta och hade dålig kännedom om fartyget med dess säkerhetsutrustning. Branden som orsakade denna stora katastrof anlades troligtvis i en hög med sängkläder ute i en korridor som spred sig snabbt upp i ett trapphus. Några timmar innan hade en annan brand anlagts i en hög med smutstvätt, denna släcktes dock av observanta passagerare. Ombord på fartyget gjorde besättningen inga egentliga försök att släcka branden samtidigt som förhållandena vid livbåtarna inte fungerade som det skulle. Enligt haverikommissionen gav besättningen ett intryck av att sakna överordnad ledning i samband med räddningsaktionen från brandens start tills att alla var evakuerade. (*Internet 4, 2000*).

Det är av stor vikt att dagens fartyg håller hög säkerhet ur brandsynpunkt. Denna förhöjda säkerhet kommer framtidens lättviktskonstruktioner delvis att skapa. Den tidigare höga värmeledning i fartygskonstruktionen minskar vilket även minskar brandspridningen, samtidigt som en viktnedskning gör att fartygets instabilitet påverkas mindre av det släckvatten man använder vid en brand. Den minskade instabiliteten gäller i första hand så kallade RO-RO fartyg som är kombinerade last- och passagerarfartyg, där den halvt påbyggda passagerardelen ovan däck görs i en lättviktskonstruktion. Lättviktskonstruktionen innebär en lägre tyngdpunkt vilket ökar stabiliteten i båten. Samtidigt genereras andra positiva effekter som bland annat minskad bränsleförbrukning och ökad lastkapacitet.

Om dagens fartyg skulle byggas i lättviktskonstruktioner istället för stål skapas helt nya möjligheter inom rederibranschen. Men innan alla de positiva faktorerna som nämnts ovan kan uppfyllas måste brandsäkerheten gällande lättviktskonstruktioner säkerställas och det är detta som ligger till grund för denna rapport.

SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut) i Borås har startat ett projekt tillsammans med bland annat Vinnova (en statlig myndighet som driver forsknings och utvecklingsprojekt). Projektet behandlar brandsäkerhet till sjöss. I projektet ingår en analys av nya konstruktioner av fartyg i lättare material. Dagens fartyg byggs idag nästan uteslutande i stål, detta på grund av att stål har den hållfasthet som krävs för dagens krav som bestäms av SOLAS (*International Convention Safety Of Life At Sea*). SOLAS anger att de material som skall användas till sjöss är av ”steel or equivalent material”. Detta betyder att man är helt begränsad till obrännbara material vilket i de flesta fall innebär just stålkonstruktioner. En stålkonstruktion innebär att fartygen blir relativt tunga vilket ger följdproblemen större bränsleförbrukning, mindre lastkapacitet och högre tyngdpunkt.
(Hertzberg, T, 2005)

I och med ändrade krav under 2002 i SOLAS 74 kapitel II-2 som innefattar funktionsbaserad utformning av brandskyddet kan man istället för de tidigare reglerna som gällde innan nu använda sig av funktionsbaserad brandsäkerhetsdesign. Denna nya regel har gjort det möjligt att bygga fartyg i betydligt lättare konstruktioner än stål. För att få bygga fartyg i lätta konstruktioner måste de material som skall användas genomgå hårda krav och tester för att få användas inom sjöfarten. De tester och försök man gör på de lättare kompositmaterialen måste resultera i samma motståndskraft vid brandpåverkan som dagens stålkonstruktioner. Dessa hårda krav på det nya materialet gör det viktigt att få fram data utifrån de brandsimuleringar som gjorts i denna rapport. Samtidigt är det även av stor vikt att utrymning kan ske tillfredsställande vid de olika brandscenerierna. Detta ligger till grund för SP-brandtekniks projekt LÄSS (*Lätta konstruktioner till sjöss*) som behandlar problemet med brandsäkerhet till sjöss då man vill använda andra typer av material än stål. I projektet behandlas fyra olika konceptfartyg vilka är byggda i olika kombinationer av lätta material.
(Internet 5, 2005)

Vidare studerar SP-brandteknik tillsammans med CETENA (ett mellanstatligt organ) den så kallade dimensionerande branden. Den dimensionerande branden är en central fråga då det gäller utrymning samt bedömning av släckinsatser och därmed viktig för att säkerställa en god brandsäkerhet. I och med de nya reglerna som behandlar

funktionsbaserad brandsäkerhetsdesign blir den dimensionerande branden en viktig del i hela SP:s projekt. Den dimensionerade branden bestäms utifrån de befintliga möbler och det förmodade bagage en resenär har med sig till hytten. I restaurangdelen dimensioneras branden utifrån förekommande möblemang och en heltäckande golvmatta.

1.2 Syfte

Resultaten ur de tester och beräkningar som ska göras kommer att bli en viktig del i det projekt som SP håller i. Detta på grund av att de studerade brandscenarierna kommer att generera resultat som visar vilken belastning omkringliggande material kommer att få motstå. Samtidigt är det av stor vikt att utrymningsproblematiken som kan uppstå i trånga utrymmen på fartyg i samband med en brand utreds. I och med detta bidrar detta arbete till en viktig del av brandpåverkan och personsäkerheten i samband med den lätta konstruktionsutvecklingen till sjöss. Därför ser vi det som väldigt intressant att göra detta projektarbete samtidigt som vi bidrar till forskningen inom detta område.

1.3 Mål

Genom att beräkna brandgasspridning, temperatur samt strålning med framför allt CFD-modellen *FDS* skall underlag för utrymningsberäkningar tas fram. Men framför allt ger dessa beräkningar ett underlag till hur pass höga temperaturer och strålningsintensiteter som framtida lättviktskonstruktioner inom båtbyggande kommer att utsättas för. Vidare skall utrymningsberäkningar med *SIMULEX* ge insyn i hur evakueringsproblematiken ser ut ombord på ett RO-RO fartyg (passagerare fartyg som även tar last i form av bilar/lastbilar).

1.4 Metod

Till en början har relevant litteratur studerats för att ge en inblick i den problematik som kan uppstå i samband med bränder ombord på fartyg. Utifrån dessa studier har sedan fakta i form av ritningar, bestämmelser, testresultat, dataprograminformation med mera samlats in för att kunna genomföra nödvändiga simuleringar och med utgångspunkt från resultaten dra slutsatser. De scenarier som kommer att studeras har tagits fram av SP-brandteknik tillsammans med CATENA och speglar den verklighet som är på fartygen. Exempel på scenarier är hyttbrand med dörr öppen, dörr som öppnas efter en specifik tid, dörr stängd, brand på natten/dagen osv. Simuleringen av utrymningsförsök har skett med hjälp av *SIMULEX* simultant med rökspridnings- och flamspridningsberäkningar där CFD-modellen *FDS* används. Som känslighetsanalys valideras *FDS* med *C-Fast* som är en två-zonsmodell för brandgasspridning. Vid de CFD beräkningar som gjorts har dataklustret *Lunarc* i V-huset på LTH använts, detta för att spara tid i den annars så tidskrävande process som en CFD-simulering innebär. SP har bistått med kon-data på olika möbler, bagage och golvmattor, dessa data har använts i både tvåzons- samt CFD-beräkningarna. Även undersökningar av tidigare gjorda arbeten inom detta område har gjorts eftersom ingen information som kan påverka resultaten skall gå till spillo.

1.5 Avgränsningar

De enda utrymmen som kommer behandlas i denna rapport är en hytt med tillhörande korridor på däck 8 samt en cafeteria/restaurang på däck 7. Övriga utrymmen som till exempel lastutrymme, bildäck och maskinrum avgränsas helt. De ekonomiska aspekterna för materielen som fartyget är tillverkat av behandlas inte i rapporten.

Termisk data från material som normalt används i dagsläget gäller i beräkningarna eftersom data från de nya lättviktsmaterialen ej finns att tillgå.

1.6 Objektsbeskrivning

Den fartygsmodell denna rapport syftar till att undersöka är av typen RO-RO. RO-RO fartygen är kombinerade last- och passagerarfartyg där själva fartygskroppen används som lastutrymme för fordon och övrigt gods. Ovanpå fartygskroppen finns en påbyggnad som är konstruerad för fartygets passagerare och besättning, påbyggnaden innehåller bland annat mäss och restaurangdel, bryggan och hytter.

De aktuella delarna inom påbyggnaden för denna rapport är däck 7 och 8. På däck 7 finns fartygets restaurang och mäss där både passagerare och besättning befinner sig under dygnets all timmar. Ut efter fartygets båda långsidor finns utrymningsvägar ut i det fria till fartygets däck. Ovanför på däck 8 finns hytter avsedda för fartygets passagerare. Totalt finns det 4 stycken utrymningsvägar ner till plan 7, där 2 stycken leder ner till restaurang- och mässdelen och de andra 2 leder direkt ut i det fria på däck 7.

De olika planen 7 och 8 samt en överblick på ett RO-RO fartyg kan åskådliggöras i bilaga D. På den överskådliga bilden av fartyget kan plan 7 urskiljas längst ner mot fartygskroppen och högst upp plan 9 som är avgränsat från denna rapport.

1.6.1 Byggnadstekniskt brandskydd

Fartyget är sektionerat i ett antal vattentäta skott som är tvärställda över dess bredd. De vattentäta skotten är till för att förhindra att fartyget sjunker vid ett eventuellt hål i skrovet och fungerar samtidigt som brandcellsindelning.

2 Analys av brandsäkerhet i båtar

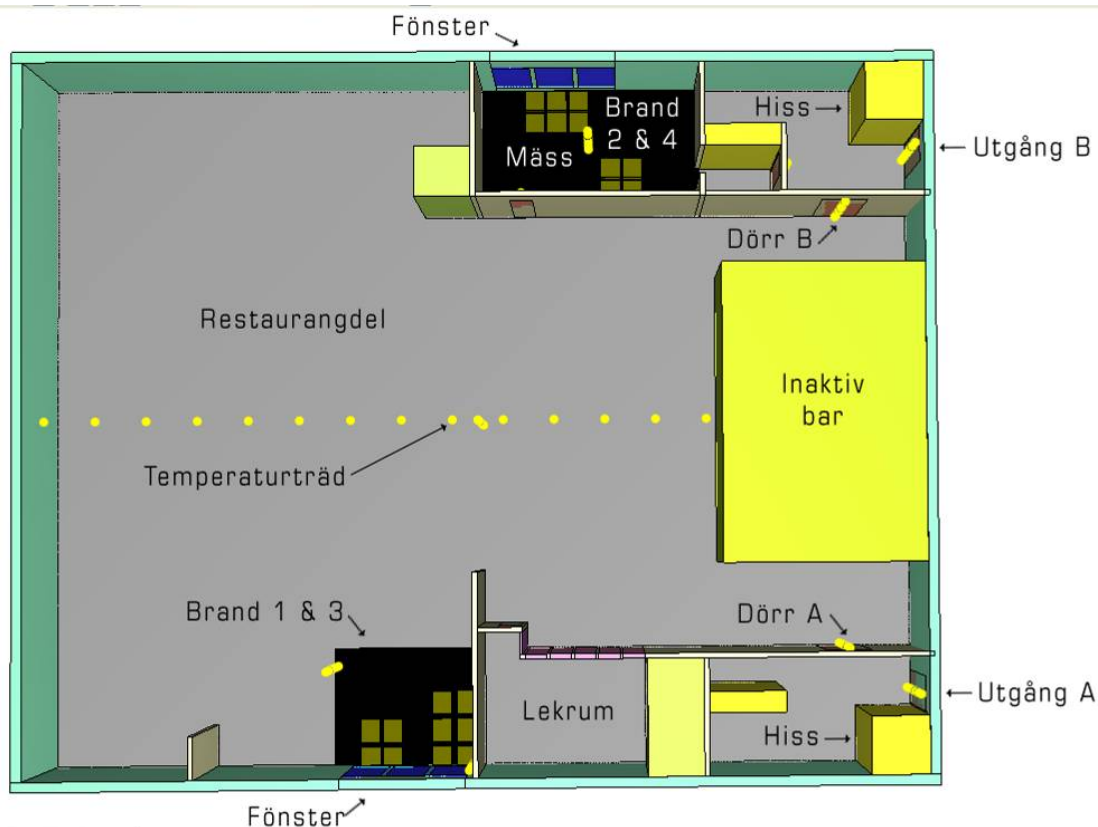
Ett bekymmer som måste lösas för att utreda brandsäkerheten är att ta reda på den effektutveckling som genereras vid de olika scenarierna och hur brand- och brandgasspridning sker. Samtidigt skapas stor strålningsintensitet av den uppkomna branden och påverkar omgivande material. Detta tas fram och studeras utifrån de simuleringar som gjorts med *FDS* för de olika scenarierna. *FDS* valdes utifrån användarvänlighet, den goda support som finns lättillgänglig, kostnadseffektiviteten och att programmet i stor utsträckning används för dimensionering av brandskydd (McGrattan, K, Forney, G, 2006). Simuleringarna jämförs även med de utrymningsförsök som gjorts i datorprogrammet *SIMULEX*, detta för att se förhållandena mellan tid till kritiska förhållanden gentemot tid för utrymning. Förutom Simulex finns det även andra datorprogram som kan simulera utrymning. IMO (International Maritime Organisation) anger hur utrymningsberäkningar skall utföras för det marina. Detta innebär att det finns regler för hur passagerare och personal ombord ett fartyg skall definieras i en modell. Detta gäller även för handberäkningar (IMO, 2002). I denna rapport valdes Simulex bland annat utifrån tillgänglighet, kostnad och att fördefinierade människor från IMO:s reglemente fanns i programmet.

3 Beräkningsuppställning

Utifrån uppdragsgivarens SP:s krav har kriterier satts upp för de olika beräkningarna gällande vilka delar av fartyget som skall undersökas. Dessa kriterier är till exempel, skall dörrar vara öppna eller inte, hur stor är brandbelastningen etc. SP har tillsammans med CETENA gjort en grovanalys på de bränder som anses vara mest troliga och ha störst betydelse för person- och materialsäkerhet. De olika brandförloppen presenteras mer ingående under respektive scenario. Två huvuddelar på fartyget kommer att ingå i beräkningen. Den ena är en brand i en hytt med tillhörande korridor, den andra är en brand i restaurang-/restaurangdelen. Dessa är sedan uppdelade i ett flertal beräkningar med olika typer av förutsättningar gällande dörrar som är öppna eller stängda, fönster som går sönder etc. Alla beräkningar har en beräkningstid på 600 sekunder då stationära förhållanden antas ha uppstått vid denna tidpunkt. I alla beräkningar har polyuretan använts som bränsle. I hyttbranden har det antagits att det är sängar som brinner och i restaurang/mässbranden är det stolar samt mattor på golv som brinner, detta är anledningen till valet av bränsle.

3.1 Restaurangbrand

Restaurangbranden delas upp i två brandförlopp utifrån de två tilldelade brandscenarierna. Den ena är en brand inne i besättningsmännens mäss och den andra är en brand ute i restaurangdelen. Dessa delas sedan upp i två olika händelser där den ena branden har intakta fönster och i den andra går fönstren sönder. I beräkningarna delas sedan branden upp i ytterligare två bränder där storleken på rutnätet ändras från ett grovt rutnät på 20 cm celler till ett finare på 10 cm celler. För att få en överblick hur restaurangen är uppbyggd i Pyrosim, se figur 1.



Figur 1. Bild på restaurangen. Bilden är tagen från Pyrosim.

SP och CETENA har tillsammans kommit överens om ett antal brandscenarier. Hur dessa skall simuleras med avseende på exempelvis sprinkleraktivering eller ej, öppna eller stängda dörrar till brandrummet, fönster som spricker på grund av värme etc. Detta redovisas i tabellform nedan.

Restaurangbrand 1a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	20 cm	Kuber om 20 cm stora celler
Plats	Ute i restaurangdelen	

Restaurangbrand 1b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	10 cm	Kuber om 10 cm stora celler
Plats	Ute i restaurangdelen	

Restaurangbrand 2a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	20 cm	Kuber om 20 cm stora celler
Plats	Inne i mässen	

Restaurangbrand 2b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	10 cm	Kuber om 10 cm stora celler
Plats	Inne i mässen	

Restaurangbrand 3a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	20 cm	Kuber om 20 cm stora celler
Plats	Ute i restaurangdelen	

Restaurangbrand 3b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	10 cm	Kuber om 10 cm stora celler
Plats	Ute i restaurangdelen	

3. Beräkningsuppställning

Restaurangbrand 4a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	20 cm	Kuber om 20 cm stora celler
Plats	Inne i massen	

Restaurangbrand 4b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	10 cm	Kuber om 10 cm stora celler
Plats	Inne i massen	

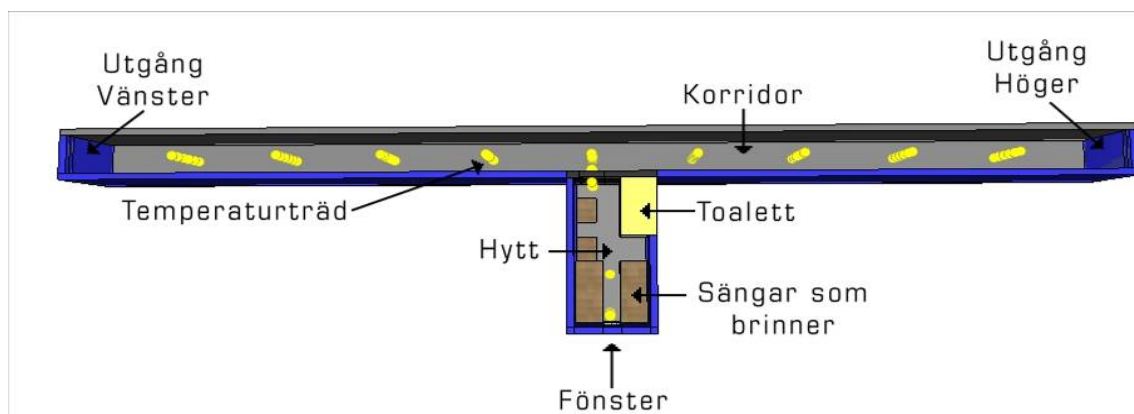
3.1.1 Utdata

Vid beräkningarna erhålls ett antal olika utdata utifrån de parametrar som anges i FDS. Denna information måste specificeras specifikt inför varje beräkning och utgör en viktig grund för vidare tolkningar som ligger till grund för bland annat utrymningssimuleringar. Den information som anses vara av vikt för fortsatta analyser i detta arbete är:

- Temperatur i taket som funktion av tiden
- Brandgasspridning, strålning samt siktbarhet
- Indata till utrymning
- Undersöka strålning mot däck då fönster går sönder
- Temperatur på fönstret
- Data angående när en sprinkler skulle ha utlöst

3.2 Hyttbrand

Nedan redovisas hyttbranden. För att få en överblick hur hytten är uppbyggd i Pyrosim, se figur 2. Längden på korridoren är 30 meter och bredden är 1,6 meter.



Figur 2. Hytten med tillhörande korridor. Bilden är tagen från Pyrosim.

Som tidigare beskrivits anges de ingående parametrarna för de olika brandscenarierna i tabellform nedan.

Hyttbrand 1a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Öppen	Ej troligt, men skulle kunna inträffa pga oaktsamhet
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	10 samt 20 cm	Inne i hytten, kuber om 10 cm. i korridoren, kuber om 20 cm

Hyttbrand 1b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Öppen	Ej troligt, men skulle kunna inträffa pga oaktsamhet
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	5 samt 10 cm	Inne i hytten, kuber om 5 cm. i korridoren, kuber om 10 cm

Hyttbrand 2a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Stängd	Det troliga tillståndet
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	10 samt 20 cm	Inne i hytten, kuber om 10 cm. i korridoren, kuber om 20 cm

Hyttbrand 2b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Stängd	Det troliga tillståndet
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	5 samt 10 cm	Inne i hytten, kuber om 5 cm. i korridoren, kuber om 10 cm

Hyttbrand 3a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Öppen	Ej troligt, men skulle kunna inträffa pga oaktsamhet
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	10 samt 20 cm	Inne i hytten, kuber om 10 cm. i korridoren, kuber om 20 cm

Hyttbrand 3b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Öppen	Ej troligt, men skulle kunna inträffa pga oaktsamhet
Fönster	Intakt → sönder	Går sönder efter en uppnådd temperatur på 300°C
Cellstorlek	5 samt 10 cm	Inne i hytten, kuber om 5 cm. i korridoren, kuber om 10 cm

3. Beräkningsuppställning

Hyttbrand 4a

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Stängd → öppen	Stängd från början, sedan öppnad efter en specificerad tid. Mest troligt pga att brandpersonal öppnar den
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	10 samt 20 cm	Inne i hytten, kuber om 10 cm. i korridoren, kuber om 20 cm

Hyttbrand 4b

Del	Tillstånd	Kommentar
HVAC	På	Ventilationen är på, stängs av vid brand
Sprinkler	Av	Annars antas branden bli kontrollerad
Dörr	Stängd → öppen	Stängd från början, sedan öppnad efter en specificerad tid. Mest troligt pga att brandpersonal öppnar den
Fönster	Intakt.	
Cellstorlek	5 samt 10 cm	Inne i hytten, kuber om 5 cm. i korridoren, kuber om 10 cm

3.2.1 Utdata

Den information som anses vara av vikt för fortsatta analyser gällande hyttbranden är:

- Temperatur i taket som funktion av tiden, samt omgivande ytor
- Brandgasspridning, strålning samt siktbarhet
- Indata till utrymning
- Undersöka strålning mot däck då fönster går sönder
- Temperatur på fönstret
- Data angående när en sprinkler skulle ha utlöst

3.3 Tidpunkt då fönster går sönder

För att få reda på vid vilken tidpunkt som ett fönster går sönder har det gjorts undersökningar i samband med testkörningar i *FDS*. Med hjälp av en modul i *FDS* som kallas *FDS2ascii* samt med *Smokeview* (program som visuellt visar data från *FDS*) har detta kunnat åstadkommas. Modulen *FDS2ascii* gör att man kan på ett lämpligt sätt få fram olika sifferdata med hjälp av slice-filer (genomskärningsbild), boundary-filer (filer som presenterar data för olika ytor) samt plot3D-filer. Dessa filer används normalt i *Smokeview* där man ser olika utdata grafiskt, men det går alltså även att få ut dem som siffror. I fallen då det gäller fönstren har en slice-fil placerats intill ett fönster och sedan har det i *Smokeview* undersökts på ett ungefär när en temperatur som motsvarar 300°C uppnåtts. Detta innebär att ingen hänsyn har tagits till det ökade tryck som en brand ger, utan endast temperaturen tas i beaktning. 300°C är en temperatur som har valts genom antagande, någon närmare undersökning har ej gjorts.

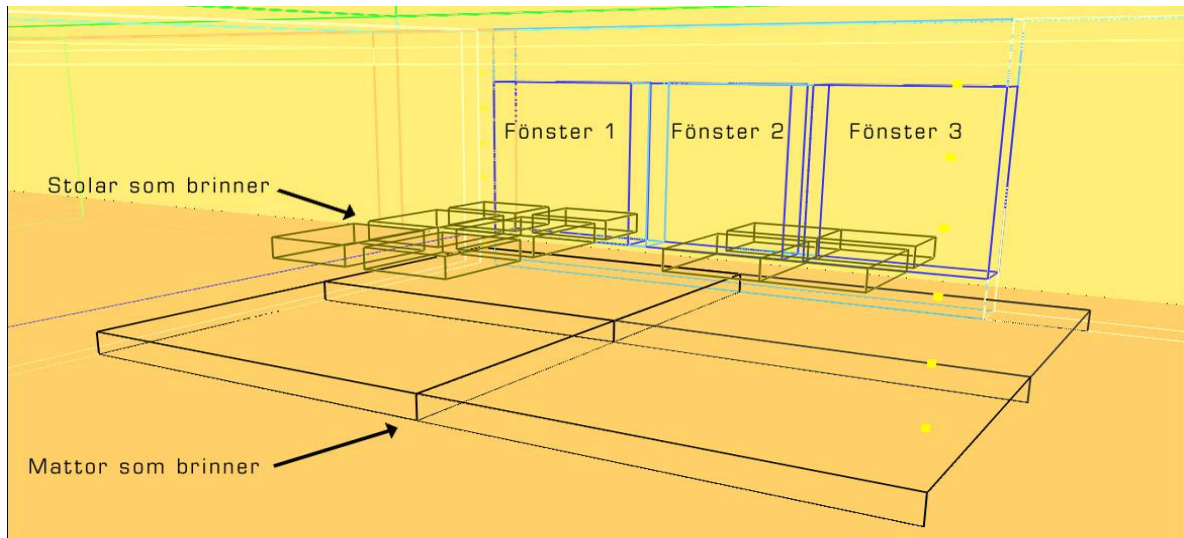
För att överhuvudtaget kunna simulera att ett fönster går sönder i *FDS* används kommandot *T_REMOVE*. När detta kommando skrivs in i indatafilen försvinner objektet momentant vid den tid som anges.

3.3.1 Hyttbrand

Vid tiden 300 sekunder visade resultaten att fönstret går sönder i det fall då dörren är öppen från början. Vid tiden 360 sekunder visade resultaten att fönstret går sönder i det fall då dörren är stängd initialt.

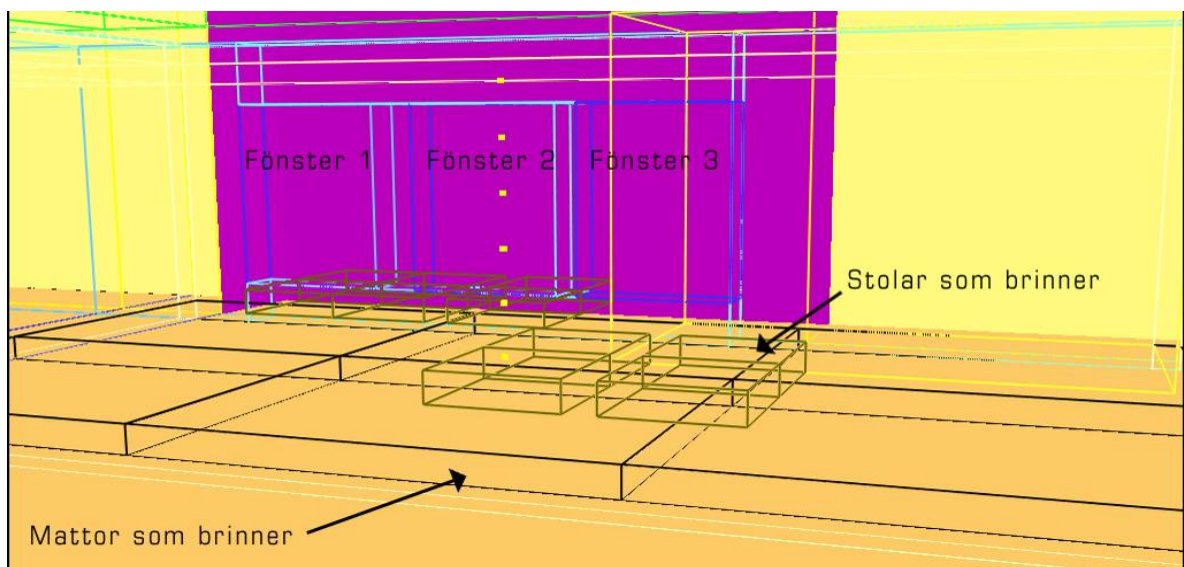
3.3.2 Restaurangbrand

Eftersom en brand både har angetts inne i mässdelen och ute i restaurangen har olika tider för då fönstren går sönder uppnåts. Det finns ett flertal fönster intill branden både inne i mässen och inne i restaurangdelen, se figur 3 för restaurangdelen och figur 4 för mässen. Dessa fönster går sönder vid olika tider eftersom temperaturen 300°C uppnås vid olika tidpunkter. Figurerna nedan beskriver endast hur det ser ut omkring branden i de två olika fallen. För läsaren kan det vara svårt att uppfatta hur det ser ut i verkligheten, men vad som anses vara av intresse är orienteringen för fönstren enligt figur 3.



Figur 3. Bild över branden inne i restaurangdelen som dessutom visar i vilken ordning fönstren kommer att gå sönder.

Inne i restaurangdelen visade det sig att fönster 1 uppnår en temperatur på 300°C vid tiden 155 sekunder, fönster 2 uppnår 300°C vid tiden 190 sekunder och fönster 3 uppnår 300°C vid tiden 255 sekunder.



Figur 4. Bild över branden inne i mässen som dessutom visar i vilken ordning fönstren kommer att gå sönder.

Inne i massen visade det sig att fönster 1 uppnår en temperatur på 300°C vid tiden 150 sekunder, fönster 2 uppnår 300°C vid tiden 190 sekunder och fönster 3 uppnår 300°C vid tiden 205 sekunder.

3.4 Ventilation

Enligt uppgift stängs ventilationen av vid brand. Detta sker samtidigt som brandspjäll ser till att ingen transport av brandgaser kan ske till intilliggande brandceller. (Axelsson J, 2006)

3.5 Tidpunkt då dörr öppnas

För att få reda på när en dörr med största sannolikhet öppnas i samband med brand har en kontakt tagits med en anställd styrman vid ett känt rederi. Efter samtal med den anställda kunde det konstateras att det tar maximalt två minuter efter ett inkommet larm till dess att brandstyrkan når den utsatta hytten. Vid framkomst öppnas dörren till hytten och släckningsåtgärder vidtas omedelbart. Tester har visat att alarmeringen från hytten upp till bryggan tar ungefär 30 sekunder. Den totala tiden tills dess att dörren in till den brandutsatta hytten öppnas blir därmed 2,5 minuter baserat på inhämtade uppgifter. (Prag A, 2006)

4 Resultat från FDS

Nedan redovisas de resultat som *FDS* och dess beräkningar har genererat. Tid till kritiska förhållanden gällande temperatur, siktbarhet samt strålning har studerats. De kriterier som rapportern är baserad på är tagna från brandskyddshandboken (*brandskyddshandboken 2002*) eftersom inga generella krav finns för fartyg. Följande kriterier bör uppfyllas vid utrymning.

- Temperaturen på luften får inte överstiga 80°C
- En kortvarig strålning på max 10 kW/m², en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m² utöver en strålning på 1 kW/m².
- En långvarig strålning på max 2,5 kW/m².
- Brandgasnivå på lägst 1,6 + (0,1 x H) där H är rumshöjden, uttryckt i meter.
- Sikten får ej understiga 10 m i utrymningsvägarna.
- Toxicitet

Brandgasnivån går inte att fastställa med hjälp av beräkningar i *FDS*, annat än visuella bedömningar i exempelvis Smokeview. Därmed är det svårt att säga något om gränsen mellan brandgaserna och det skikt som ej består av brandgaser. *FDS* är ingen tvåzonsmodell vilket gör att det är mer intressant att bestämma hur pass bra siktbarheten är i brandgaserna istället för att nämna en klar gräns på brandgasnivåerna.

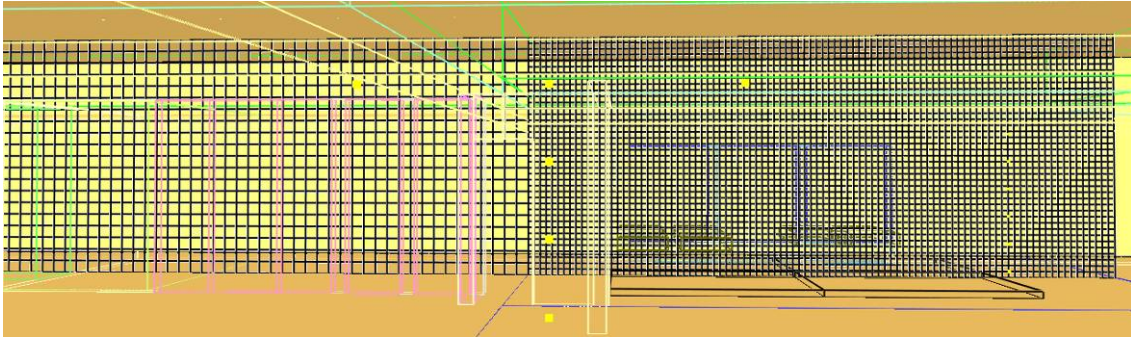
De resultat gällande toxicitet som fås ur beräkningarna med *FDS* är inte bra. Dessa är endast fingervisningar om hur giftiga brandgaserna är inne i brandrummet. Därmed avgränsas dessa helt från denna rapport.

Resultaten har tagits fram vid två tidpunkter, vid maximal effekt samt vid den totala beräkningstiden. I de fall som kritiska förhållanden uppstår redovisas den aktuella tidpunkten. För restaurangbranden uppnås maximal effekt vid 300 sekunder. För hyttbranden uppnås maximal effekt vid 450 sekunder. I båda fallen är den maximala beräkningstiden satt till 600 sekunder. Se bilaga A angående effektutveckling för de olika scenarierna.

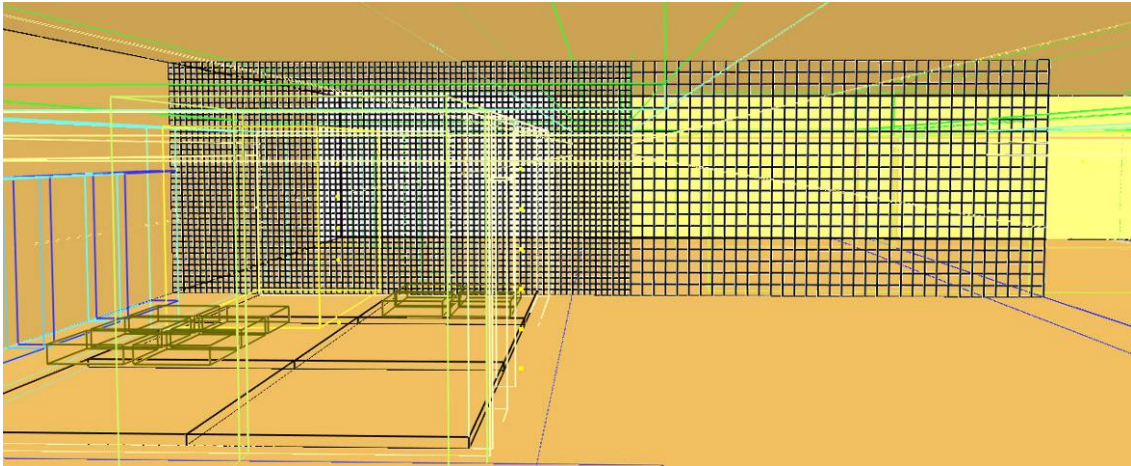
4.1 Restaurangbrand

Nedan redovisas ett antal resultat från en brand inne i restaurangdelen samt i mässen som finns belägen inne i restaurangen. Nedan visas en översiktsbild (figur 8) av restaurangen för att få en inblick av hur geometrin är uppbyggd enligt.

Figur 8 nedan visar rutnätets konfiguration för en brand i restaurangdelen och figur 9 visar rutnätets konfiguration för en brand inne i mässen. Storleken på rutnätet vid området kring branden är 10 cm och utanför området är storleken 20 cm.



Figur 8. Bilden visar rutnätskonfigurationen i restaurangdelen.

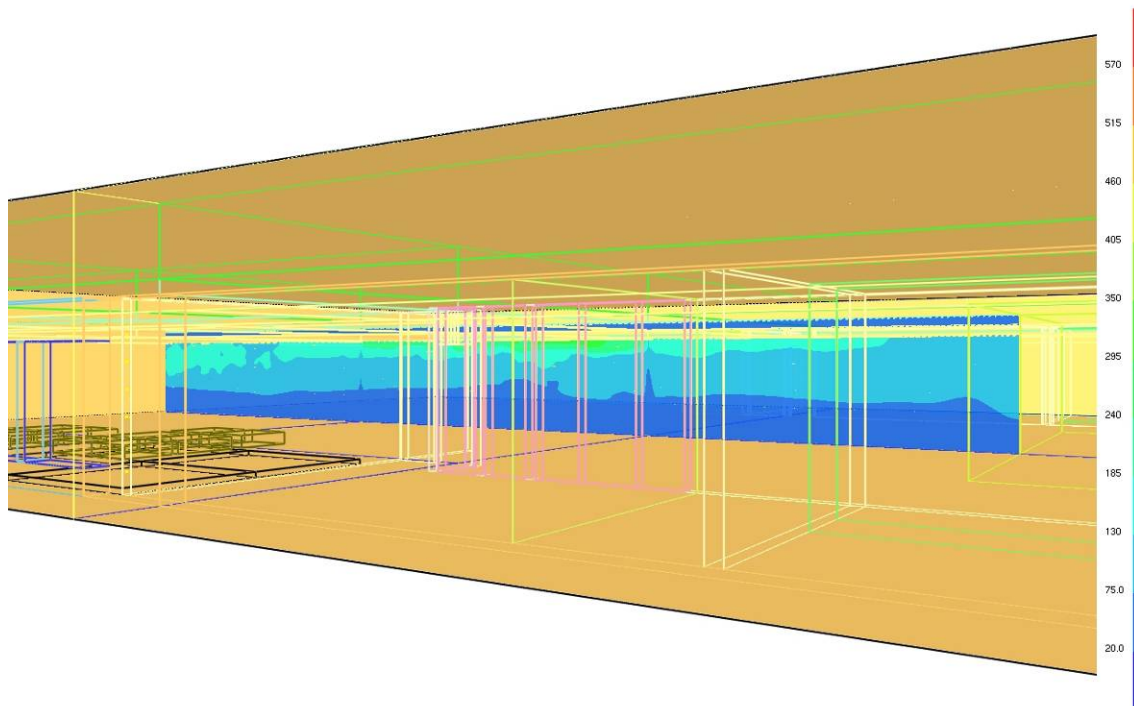


Figur 9. Bilden visar rutnätskonfigurationen inne i mässen.

4.1.1 Temperatur

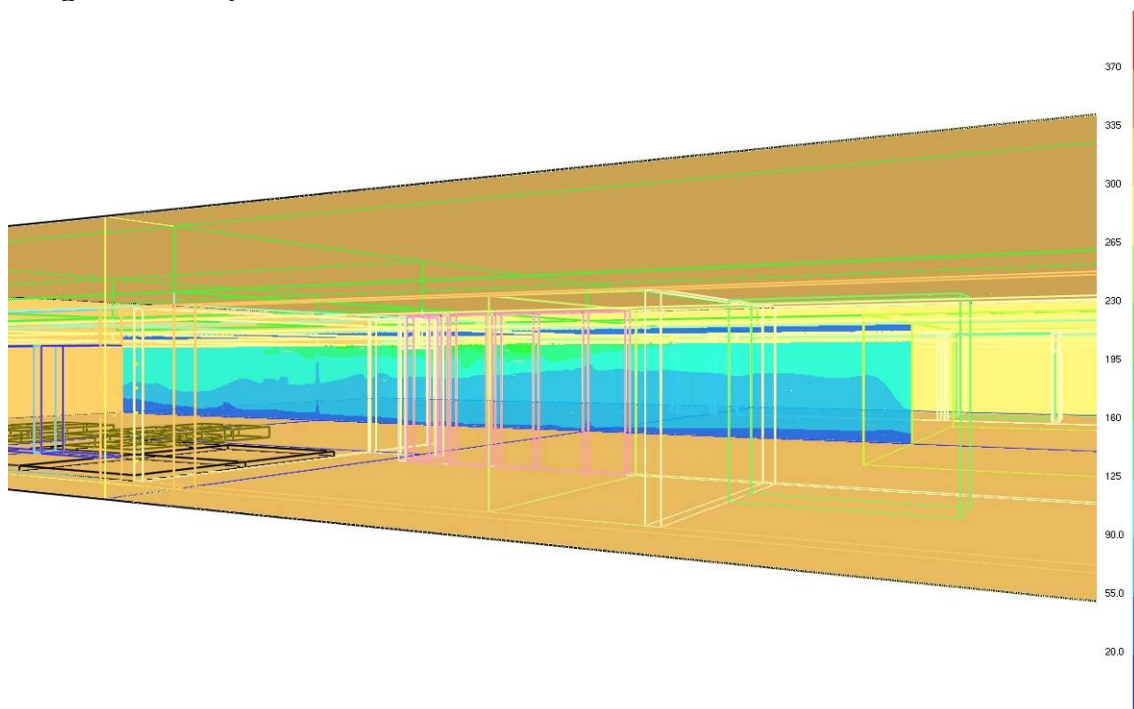
Resultaten från de två olika brandscenarierna redovisas vid tidpunkterna 300 och 600 sekunder. Anledningen till valet av dessa tidpunkter beror på att vid 300 sekunder uppnås maxeffekt, därefter avtar effekten med tiden till den totala beräkningstiden 600 sekunder.

Den tillhörande temperaturskalan för figur 10 börjar på 20°C och slutar på 570°C med ett intervall på 55°C. Maximal temperatur vid denna tidpunkt på cirka 2 meter uppgår till ungefär 80°C och påverkar därmed inte personsäkerheten vid utrymning. I taket uppnås en temperatur på cirka 200°C vilket inte bör påverka materialets hållfasthet.



Figur 10. Temperatur vid tiden 300 sekunder för fint rutnät (cafe_1)

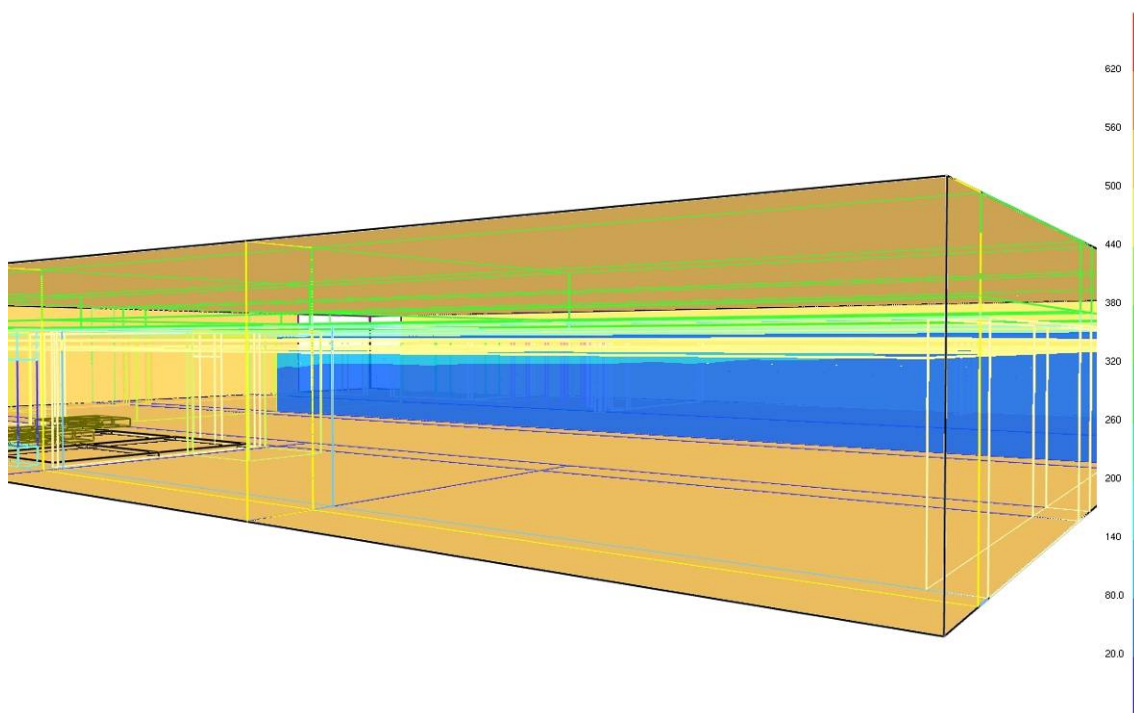
Den tillhörande temperaturskalan för figur 11 börjar på 20°C och slutar på 370°C med ett intervall på 35°C. De förhållanden som uppstår vid denna tidpunkt är lindrigare än i föregående exempel.



Figur 11. Temperatur vid tiden 600 sekunder för fint rutnät (cafe_1)

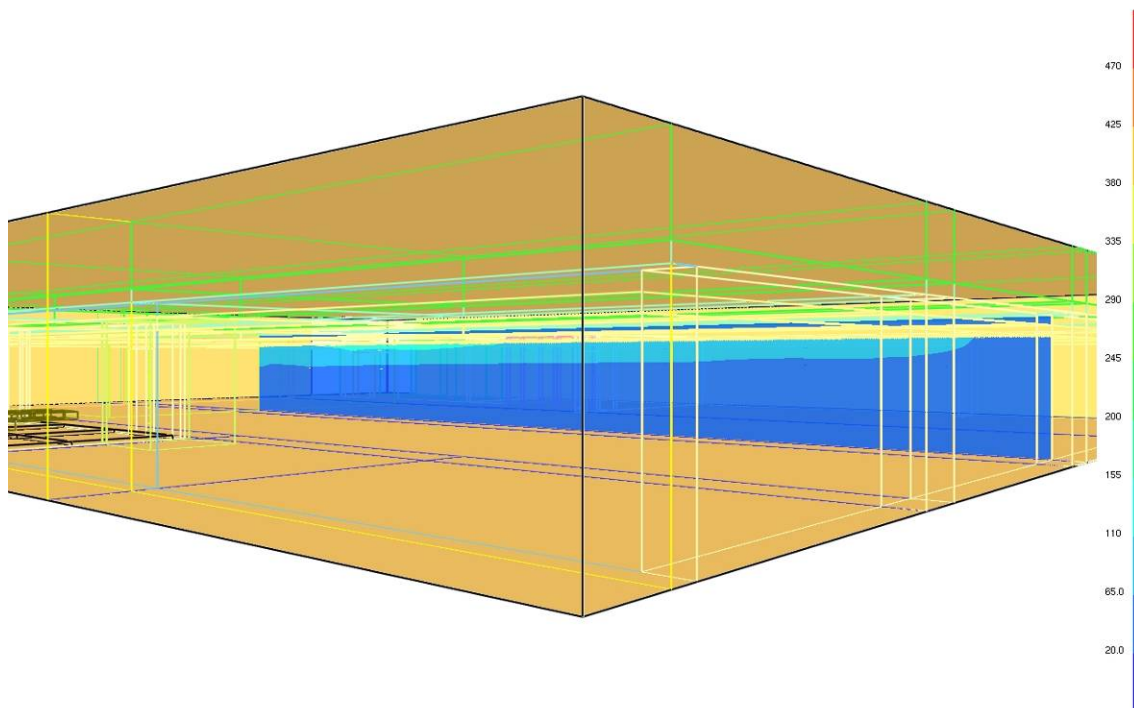
Den tillhörande temperaturskalan för figur 12 börjar på 20°C och slutar på 620°C med ett intervall på 40°C. På grund av att branden är belägen inne i massen och därmed avskärmd från resten av restaurangdelen blir temperaturen låg, eftersom mindre varma

brandgaser transporteras ut i restaurangdelen. Det uppstår inte kritiska förhållanden, varken ur utrymnings- eller materialsynpunkt.



Figur 12. Temperatur vid tiden 300 sekunder för fint rutnät (cafe_2)

Vid tiden 600 sekunder (figuren nedan) har branden avtagit och temperaturen i hela tvärsnittet blivit något lägre.

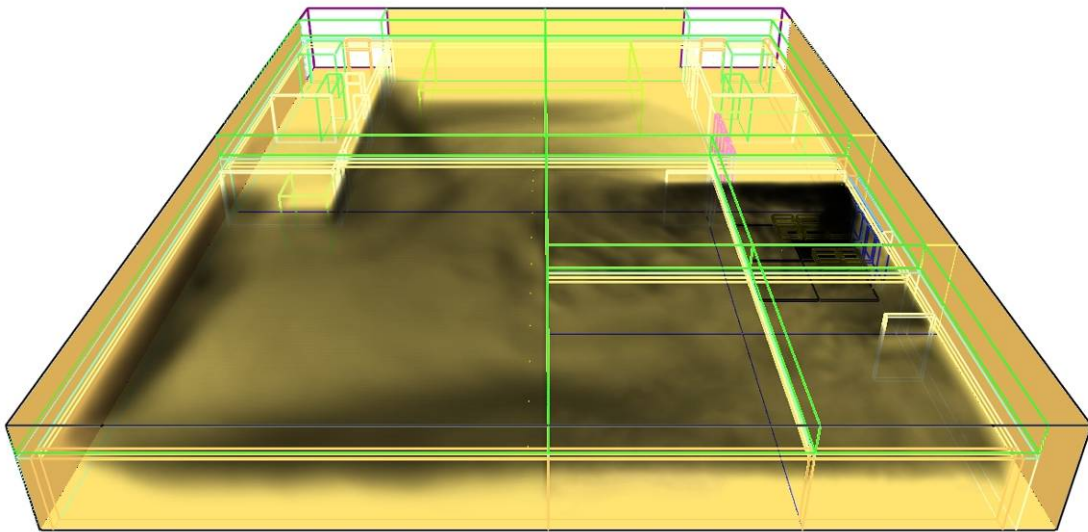


Figur 13. Temperatur vid tiden 600 sekunder för fint rutnät (cafe_2)

4.1.2 Brandgasspridning och siktbarhet

Brandgaserna begränsas inom lokalen eftersom spridningsmöjligheterna ut är små på grund av lokalens geometri dörrar ut till omgivningen. Inom en relativt kort tid efter

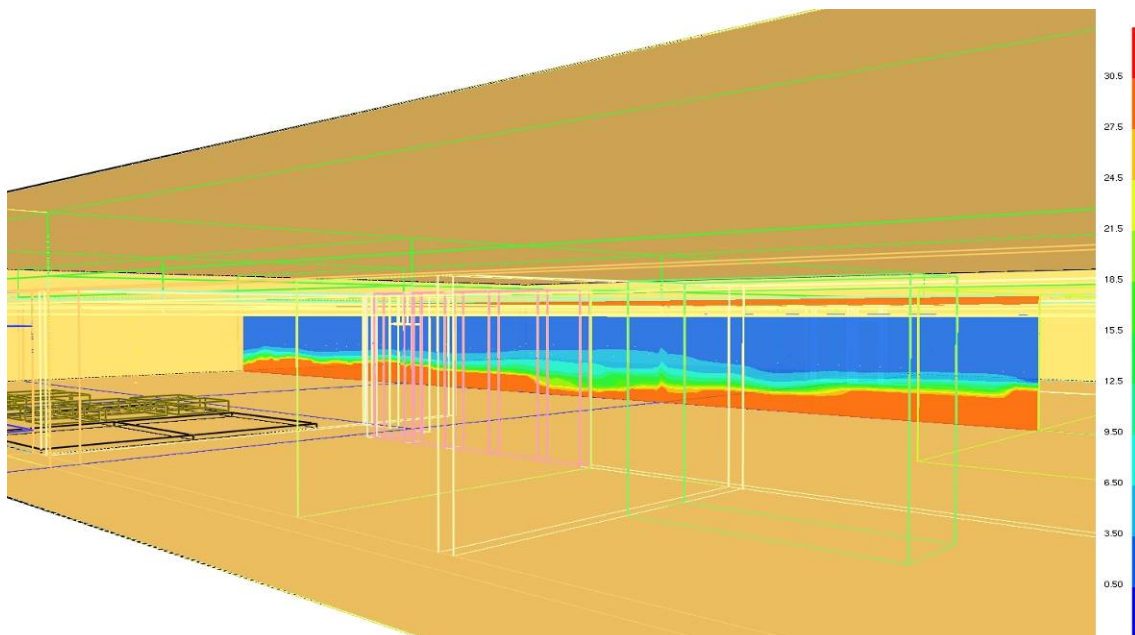
brandens utbrott har det genererats stora mängder brandgaser vilket kan åskådliggöras i bilden nedan.



Figur 14. Brandgasspridning vid tiden 160 sekunder för en brand i restaurangdelen

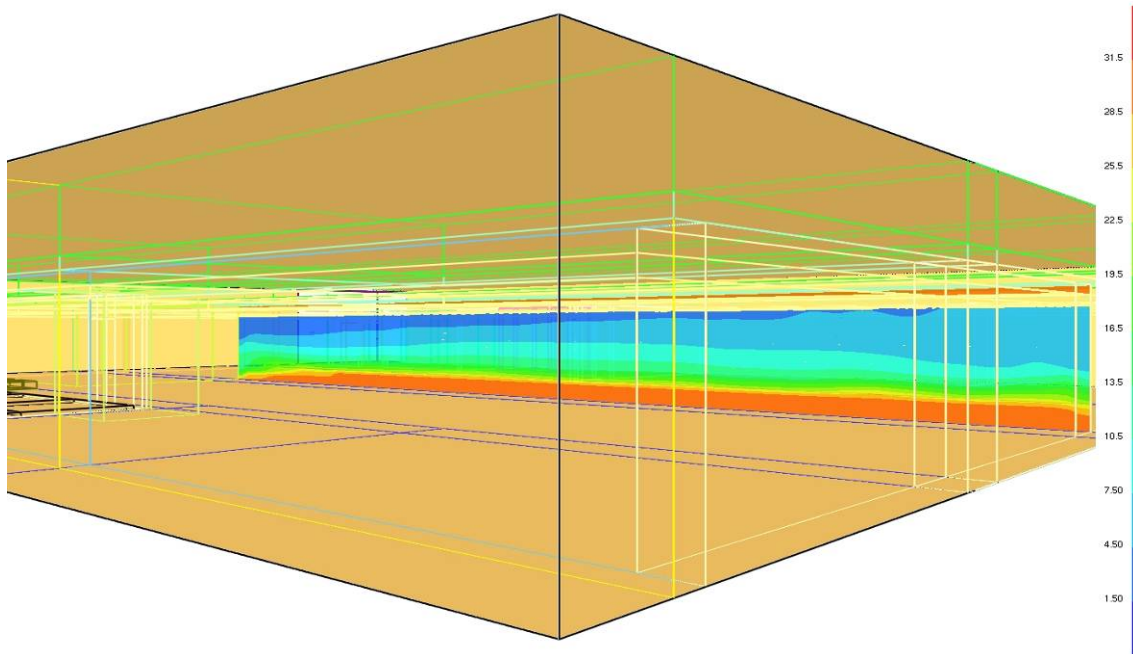
Resultaten från de båda scenarierna gällande siktbarheten redovisas vid 220 respektive 350 sekunder. Vid dessa tidpunkter uppstår kritiska förhållanden gällande personsäkerheten vid utrymning för respektive scenario. Eftersom branden i cafe_2 är belägen i massen begränsas flödet av brandgaser till restaurangdelen, därav den längre tiden till kritiska förhållanden.

Den tillhörande skalan för siktbarheten i figur 15 börjar på 0,5 och slutar på 30,5 meter med ett intervall på 3 meter.



Figur 15. Siktbarhet vid tiden 220 sekunder för fint rutnät (cafe_1)

Den tillhörande skalan för siktbarheten i figur 16 börjar på 1,5 och slutar på 31,5 meter med ett intervall på 3 meter.



Figur 16. Siktbarhet vid tiden 350 sekunder för fint rutnät (cafe_2)

4.1.3 Strålning

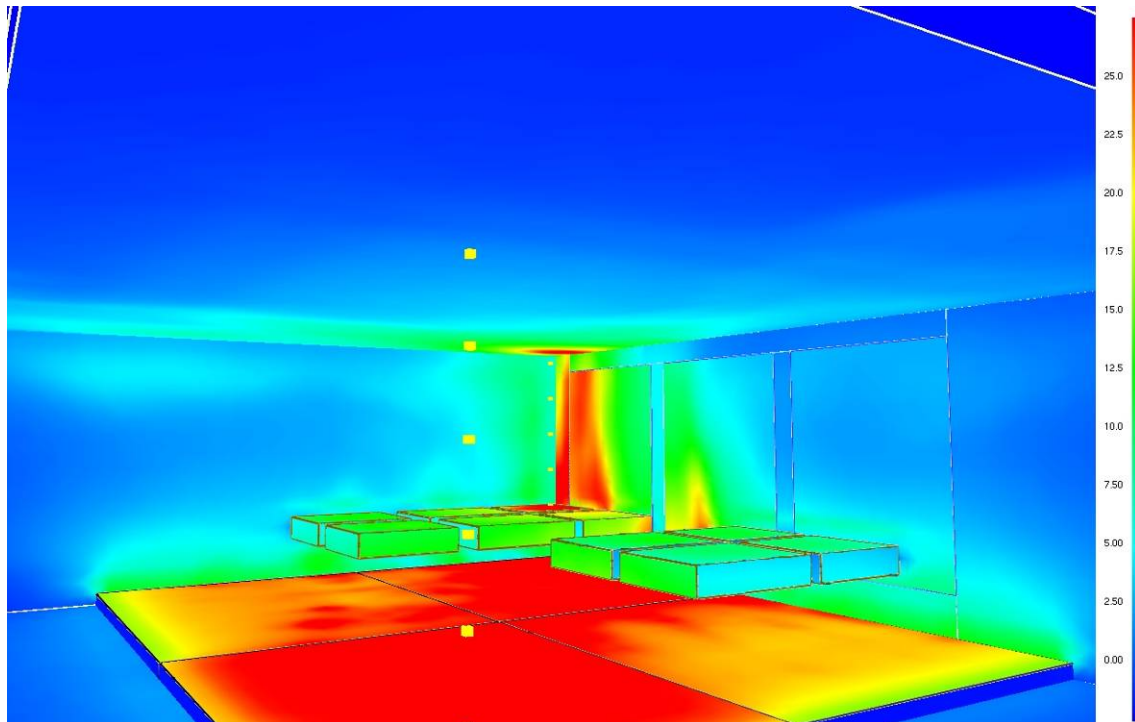
Eftersom värmestrålning påverkar ett materials hållfasthet negativt är det viktigt att ta reda på hur stor strålningen blir mot skrovet på fartygets utsida då det byts ut från stål till lättviktsmaterial. Det är dessutom viktigt att undersöka strålning inne i passagerarutrymmen eftersom kriterier ur den aspekten måste uppfyllas då det gäller personsäkerheten ombord på båten.

4.1.3.1 Strålning från varma brandgaser

Någon strålning inne i restaurangdelen från brandgaserna tas inte hänsyn till eftersom kritiska förhållanden för utrymning uppstår långt tidigare med avseende på siktbarheten. Brandgaserna genererar inga höga temperaturer vilket i sin tur inte bidrar till någon betydande strålningsintensitet.

4.1.3.2 Strålning mot omgivande ytor intill branden

Som tidigare nämnts uppnås maximal effekt vid 300 sekunder för både brand i restaurang- och mässdelen. I figuren visas strålningsintensiteten vid 300 sekunder mot omgivande ytor. Tillhörande skala går från 0 – 25 kW/m² med ett intervall på 2,5 kW/m². Strålningsintensiteten är förhållandevis hög nära branden, det visar sig att strålningen blir högre än 20 kW/m². Detta värde kan ses som ett gränsvärde där många material antänder (Drysdale D, 1998). En anledning till den höga strålningsintensitet som visas i beräkningen är att lågor från branden träffar väggen. Vidare anses inte strålningsintensiteten vara av betydelse en bit från branden där den endast kommer upp i maximalt 8 kW/m².

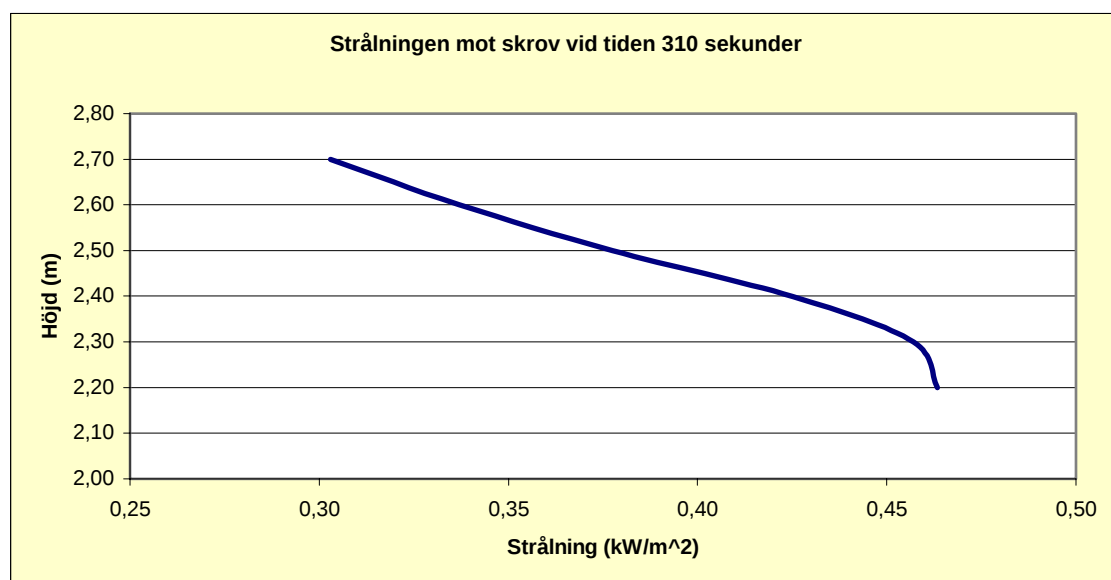


Figur 17. Strålning mot omgivande ytor i beräkning cafe_1

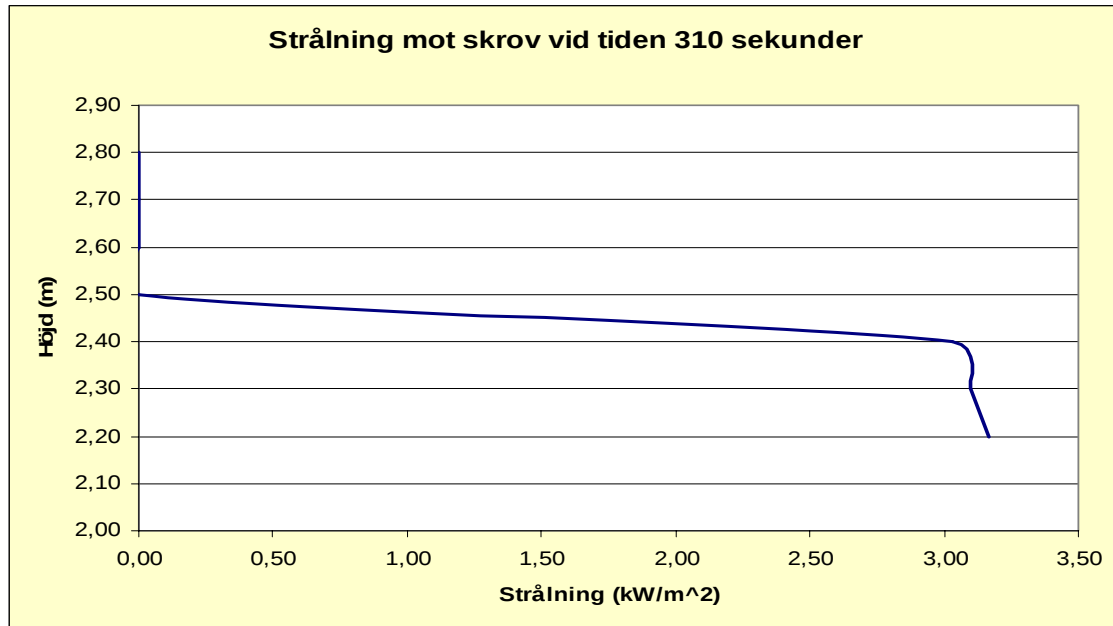
4.1.3.3 Strålning mot skrov

Om ett eller flera fönster skulle gå sönder vid en brand kommer strålning att uppstå mot fartygets utsida ovanför det trasiga fönstret. Strålningen mot skrovet uppkommer på grund av varma brandgaser och eventuella flammor.

Strålningen för de två olika scenarier som simulerats redovisas i diagramform vid 310 sekunder då strålningen uppskattades vara som högst eftersom temperaturen är högst vid denna tidpunkt. I scenariot cafe_4 är branden belägen i mässen som är ett mindre rum inneslutet i restaurangen. Detta skapar en högre temperatur och därmed strålning, vilket kan åskådliggöras i diagrammen nedan.



Figur 18. Strålning mot skrovet utanför fönstret i cafe_3



Figur 19. Strålning mot skrovet utanför fönstret i cafe_4

4.1.4 Sprinkleraktivering

Data angående sprinklerna på fartyget är tagna från de uppgifter som SP har angivit. Sprinklerna som finns installerade på fartyget som beräkningarna bygger på har ett RTI-värde på $50 \sqrt{m \cdot s}$ samt en aktiveringstemperatur på 68°C. En aktiveringstemperatur på 57°C är ett värde som enligt uppgift från SP skulle kunna användas. Då det råder osäkerhet kring vilka bulber som verkligen används antas bulber som aktiverar vid 68°C för att vara konservativ då dessa aktiverar senare. I FDS finns möjligheten att placera sprinklers och göra beräkningar på när dessa aktiveras. Det är i första hand av stort intresse att ta fram den tidpunkt en sprinkler aktiverar eftersom aktiveringen måste ske innan kritiska förhållanden uppstår.

Resultaten från beräkningarna visar att sprinkleraktivering inne i mässen sker vid 130 sekunder. Ute i restaurangdelen sker en aktivering av sprinklerna ovan branden vid tiden 140 sekunder.

4.1.5 Diskussion

Resultaten av de beräkningar som gjorts påvisar att kritiska förhållanden ur utrymningssynpunkt uppstår vid cirka 3,5 minuter med avseende på sikten för brand inne i restaurangdelen, samt cirka 6 minuter för brand inne i mässdelen. Resonemanget bygger på att sprinklerna ej aktiveras. För strålning respektive temperatur uppnås inte kritiska förhållanden.

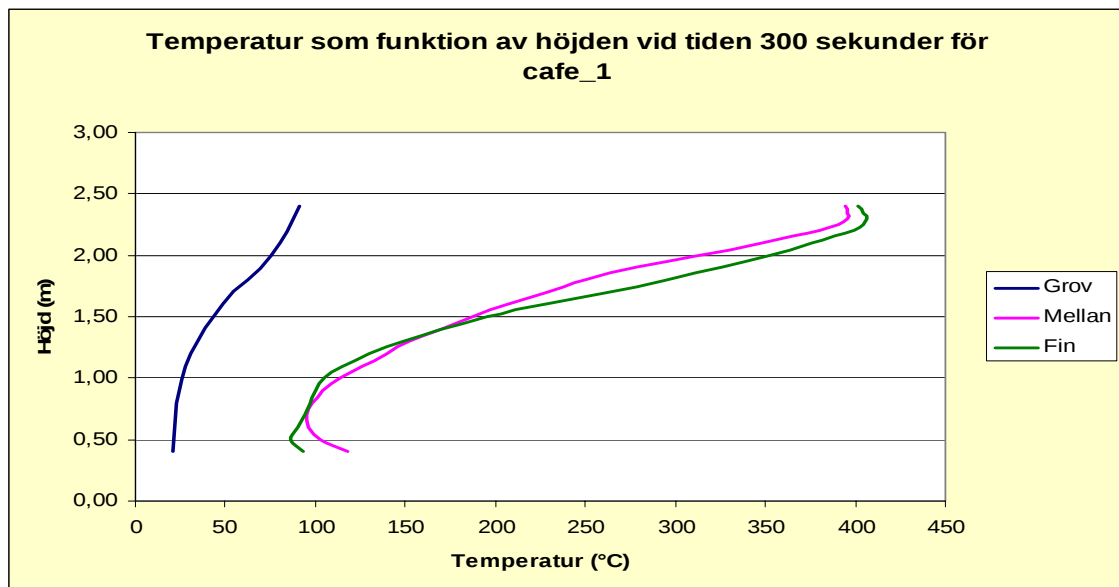
Materialet inne i brandrummet påverkas inte av strålning eller temperatur från brandgaserna, men nära branden blir temperatur och strålning så pass hög att materialpåverkan kan uppstå. Strålningen mot fartygets skrov visar en relativt låg strålningsintensitet vilket beror på att FDS inte är ett bra program för strålningsberäkningar. Sannolikt är strålningen högre eftersom varma brandgaser kommer att antändas utanför det trasiga fönstret och träffa skrovet. Under rubrik 5.1.1 (gridoberoende i restaurangbranden) kan temperaturerna i branden utläsas.

Sprinkleraktiveringen sker innan kritiska förhållanden uppstår och då anses branden bli kontrollerad. I vissa (generella) fall kan en sprinkler ge upphov till att blanda brandgaserna så pass mycket att synbarheten påverkas. Denna effekt bör inte påverka synbarheten ute i restaurangen då denna har så pass stor volym att detta fenomen kan förbises.

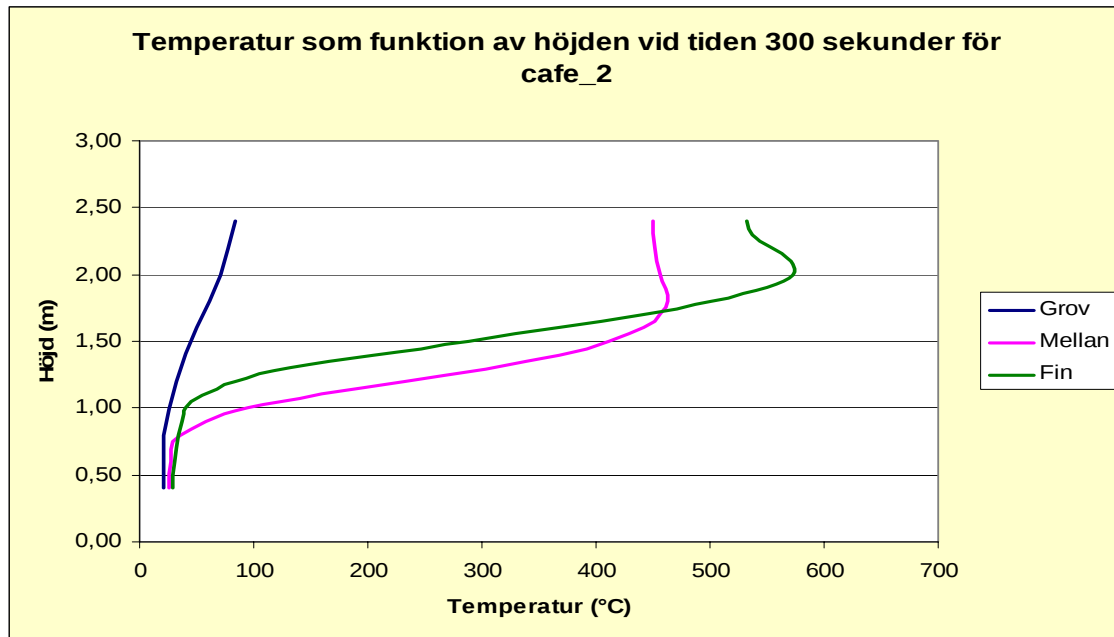
4.1.6 Gridoberoende i restaurangbranden

För att undersöka gridoberoende har temperaturen i branden plottats mot höjden med avseende på tre olika rutnätstorlekar, grov, mellan och fin. De olika storlekarna motsvarar 40 (beräkning c), 20 (beräkning b) respektive 10 cm (beräkning a). Vid en jämförelse dem emellan kan det konstateras att lösningen går mot gridoberoende då rutnätet närmar sig en storlek på 10 cm.

Restaurangbranden är uppdelad i två olika bränder. Den ena är belägen i restaurangdelen och den andra i massen, därmed undersöks dessa var för sig.



Figur 6. Gridoberoende i cafe_1

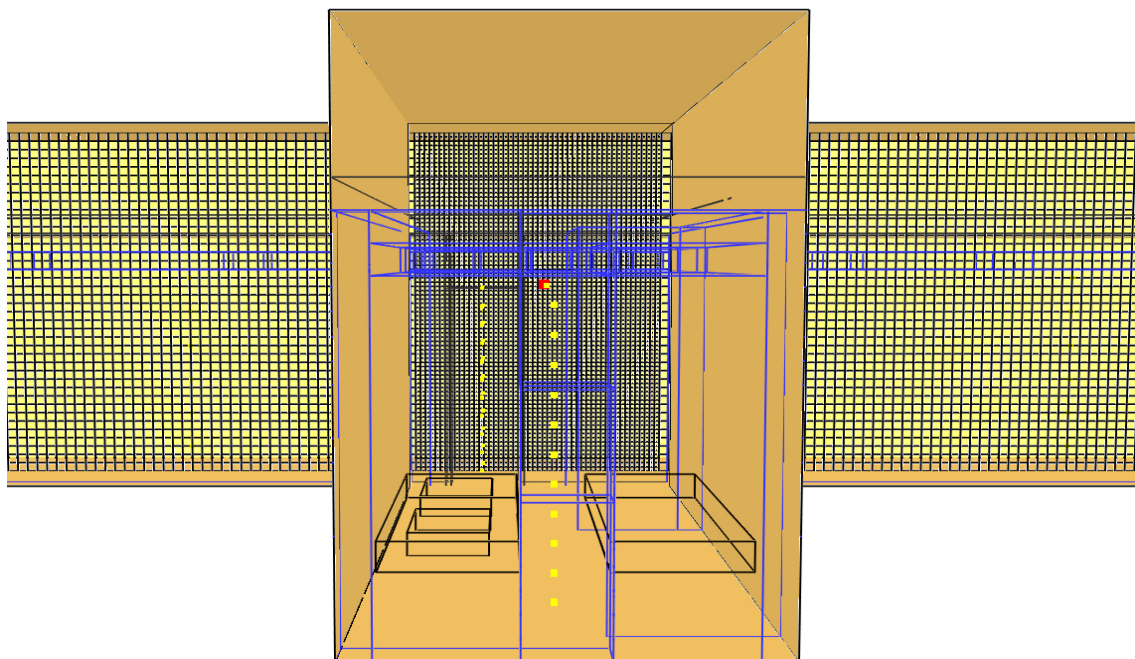


Figur 7. Gridoberoende i cafe_2

4.2 Hyttbrand

I detta avsnitt redovisas ett antal resultat från en brand inne i en hytt med tillhörande korridor. Ett antal olika scenarier har studerats utifrån samma brandbelastning, (se simuleringsuppställning). Utifrån dessa scenarier har strålning, temperatur samt siktbarhet studerats.

Nedan visas en bild över hur rutnätet är konfigurerat för hyttbranden. Bilden visar det fina rutnätet då storleken i korridoren och hytten är 10 cm respektive 5 cm.

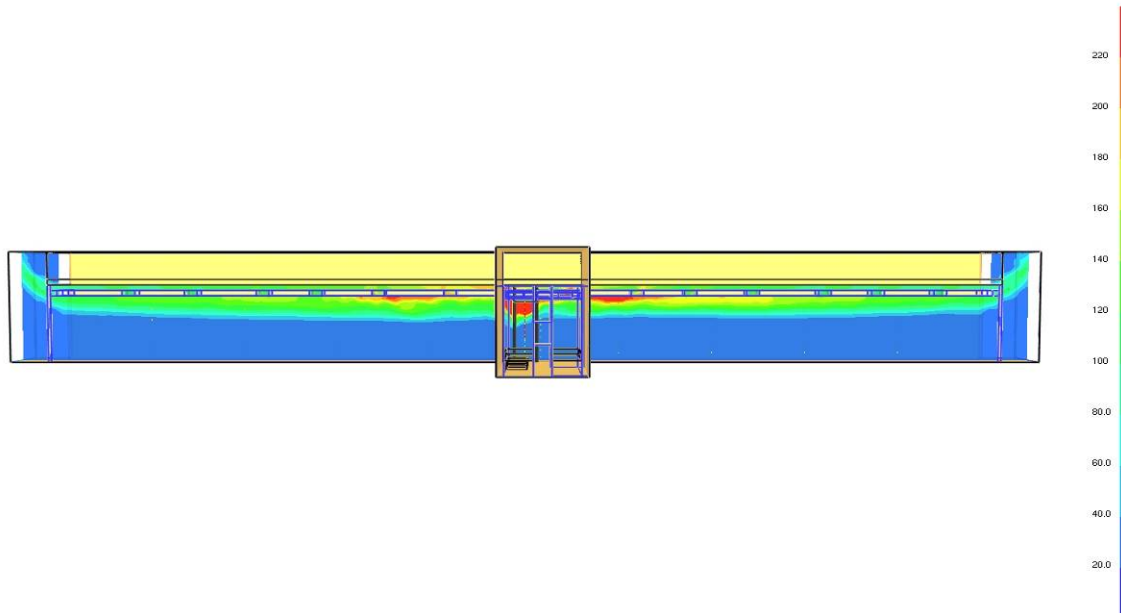


Figur 22. Gridkonfiguration för hyttbrand.

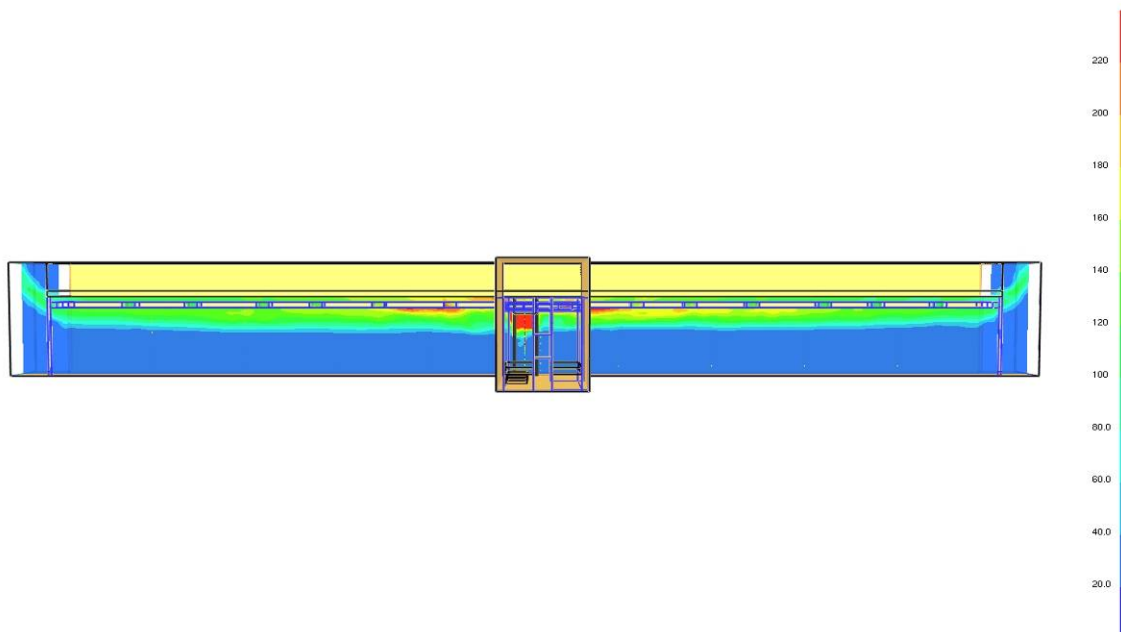
4.2.1 Temperatur

Resultatet för hyttbranden redovisas vid tidpunkten 450 sekunder då maximal effekt uppnås, samt vid total beräkningstid 600 sekunder.

Tillhörande temperaturskala för figurerna nedan börjar på 20°C och slutar på 220°C med ett intervall på 20°C. Maximal temperatur vid de båda tidpunkterna på cirka 2 meter uppgår till ungefär 150°C. I taket uppnås en temperatur på närmare 200°C.



Figur 23. Temperatur vid tiden 450 sekunder i korridoren med fint rutnät

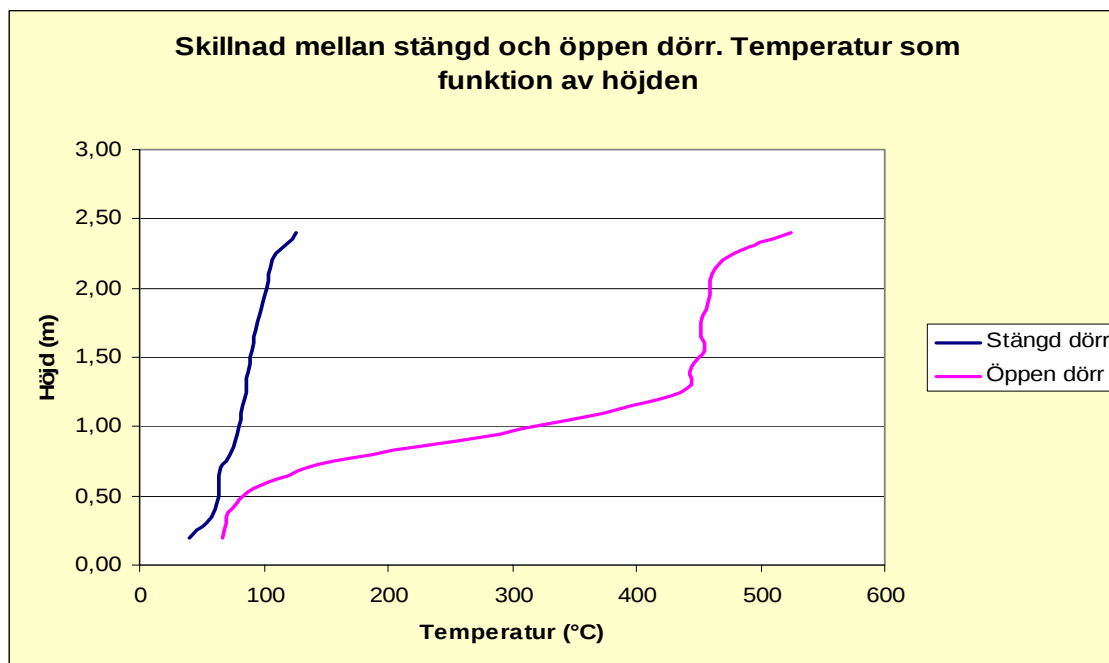


Figur 24. Temperatur vid tiden 600 sekunder i korridoren med fint rutnät

En stängd respektive en öppen dörr intill ett brandrum kan göra stor skillnad då det gäller personsäkerhet. Förutom att brandgaser hindras från att spridas, begränsas även effektutvecklingen i branden. Följden av detta blir en lägre temperatur på grund av den minskade syretillförseln. Nedan illustreras enligt figur 25 skillnaden i temperatur mellan

stängd respektive öppen dörr inne i hytten, bilden påvisar att det råder stor skillnad mellan fallet då dörren är öppen respektive stängd. Temperaturen är tagen från tiden 450 sekunder.

Då kurvan studeras är det viktigt att tänka på att *FDS* inte behärskar underventilerade bränder vidare bra. Men det ger en fingervisning om den uppenbara skillnaden.



Figur 25. Skillnad i temperatur då dörren är stängd respektive öppen till hytten

4.2.2 Brandgasspridning och siktbarhet

Enligt figurerna nedan ändras inte höjden på brandgaserna anmärkningsvärt mellan 7,5 minuter och 10 minuter. Båda figurerna under är tagna från beräkning cabin_1b.

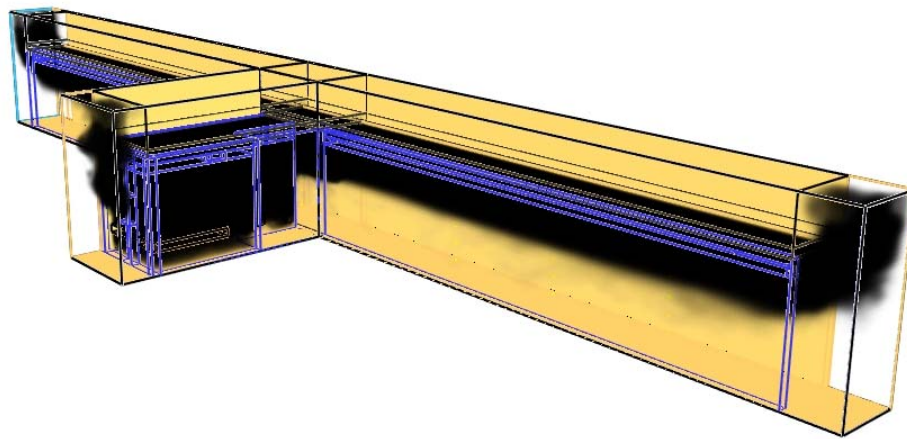


Figur 26. Brandgasspridning i korridor vid tiden 450 sekunder.



Figur 27. Brandgasspridning i korridor vid tiden 600 sekunder.

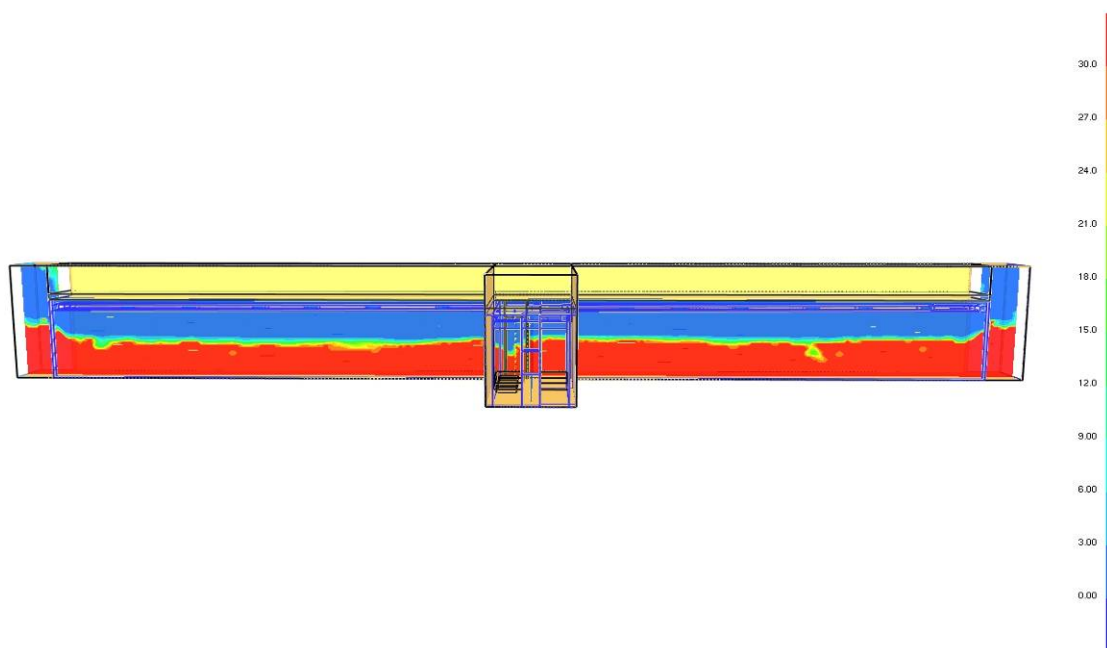
Figuren nedan är från beräkning cabin_3b där fönstret har gått sönder vid tiden 370 sekunder. Noterbart är att brandgasnivån inte skiljer sig speciellt från fallet då fönstret inte går sönder.



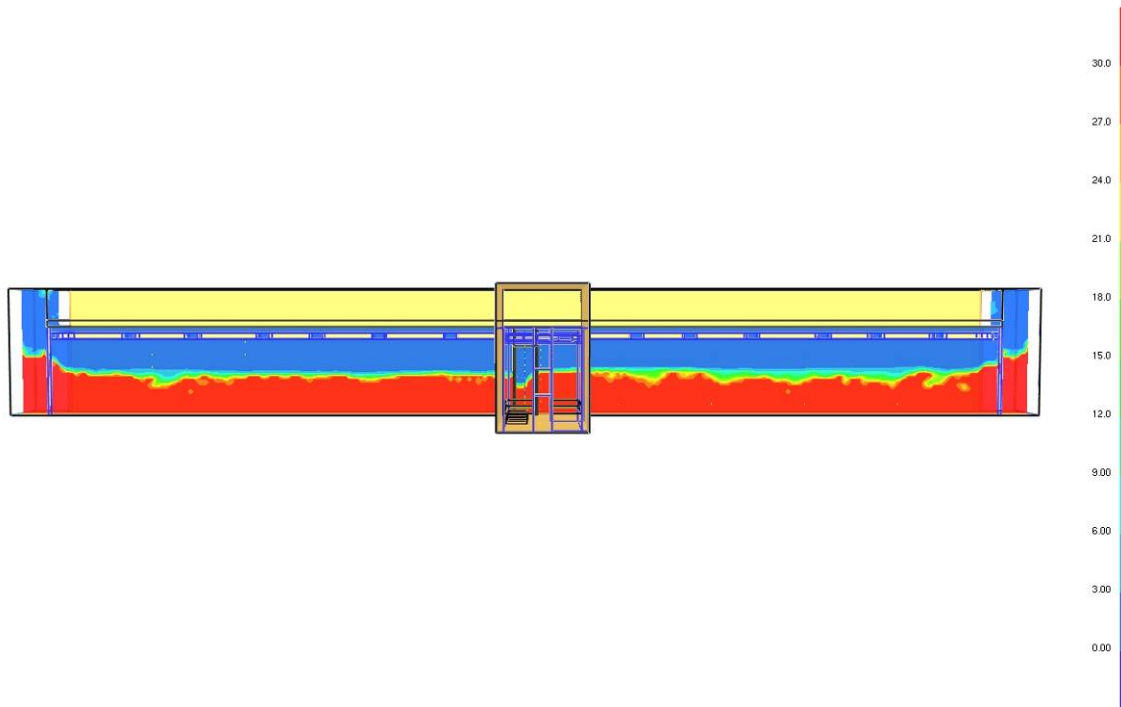
Figur 28. Brandgasspridning i korridor samt utanför fönster vid tiden 450 sekunder.

Den tillhörande skalan för siktbarheten för de båda figurerna nedan börjar på 0 och slutar på 30 meter med ett intervall på 3 meter.

Vid tiden 450 sekunder noteras en siktbarhet som är sämre än vid tiden 600 sekunder. Detta kan förklaras med att effektutvecklingen är maximal vid 450 sekunder för att sedan avta. Sett ur personsäkerhetssynpunkt visar resultaten att en säker utrymning kan utföras med avseende siktbarheten.



Figur 29. Siktbarhet i korridor vid tiden 450 sekunder



Figur 30. Siktbarhet i korridor vid tiden 600 sekunder

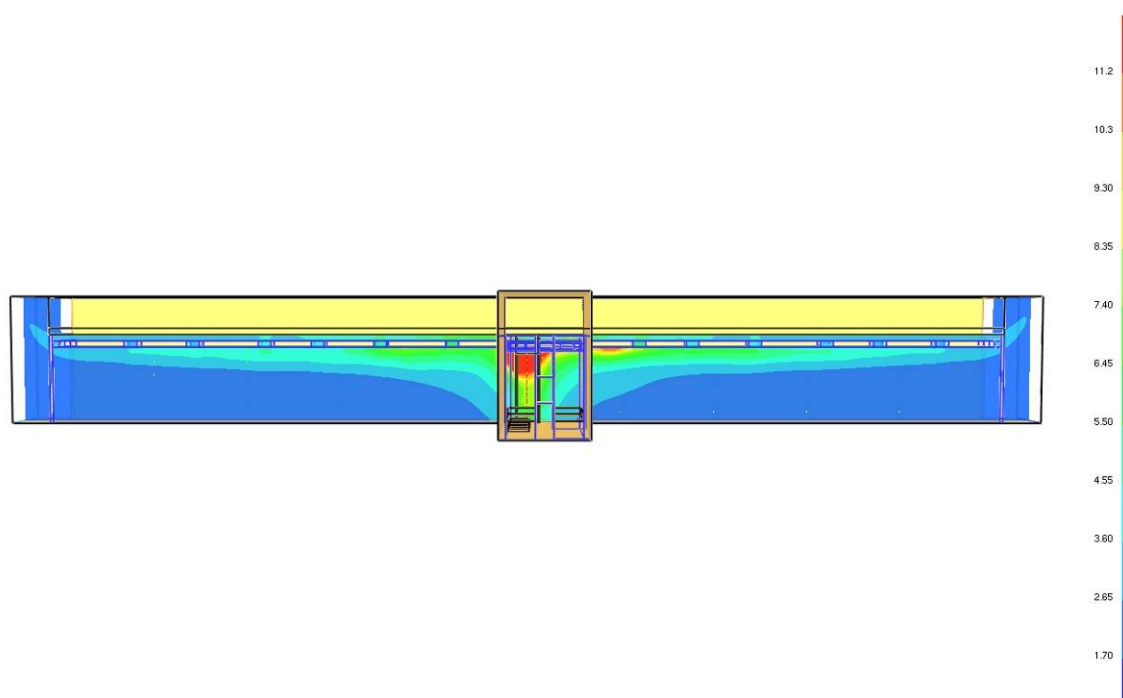
4.2.3 Strålning

Så som beskrivet i restaurangbranden gällande strålning, är det ur materialsynpunkt viktigt att ta reda på hur stor strålningen blir mot skrovet på fartygets utsida. Detta då det eventuellt ska bytas ut från stål till lättviktsmaterial. Ur samma aspekt är det viktigt att undersöka strålning mot omgivande ytor intill branden. Det är dessutom viktigt att undersöka strålning inne i korridoren utanför hytten eftersom den används som utrymningsväg.

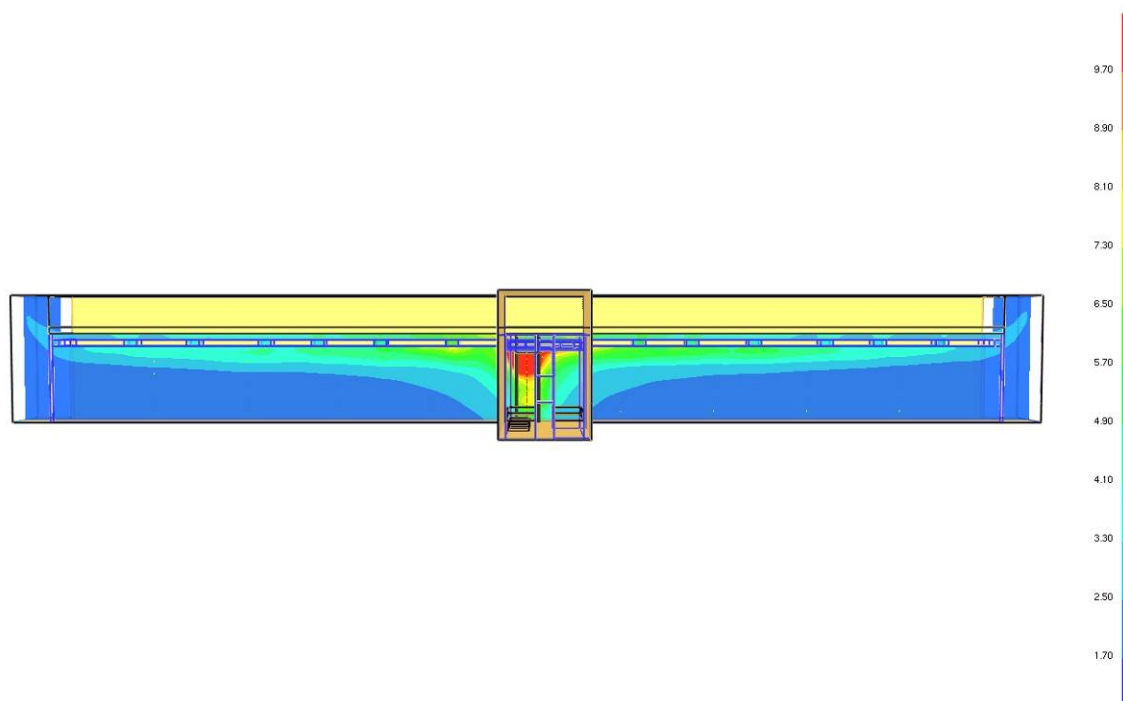
4.2.3.1 Strålning från varma brandgaser

Enligt den övre figurens tillhörande skala över strålningen, börjar skalan på 1,7 och slutar på 11,2 kW/m², med ett intervall på 0,95 kW/m². Den nedre figurens tillhörande skala över strålningen börjar på 1,7 och slutar på 9,7 kW/m², med ett intervall på 0,8 kW/m².

Resultaten utifrån bilderna visar att varken vid 450 eller 600 sekunder påverkas utrymningen eller materialet i korridoren.



Figur 31. Strålningsintensitet vid tiden 450 sekunder i korridoren med fint rutnät

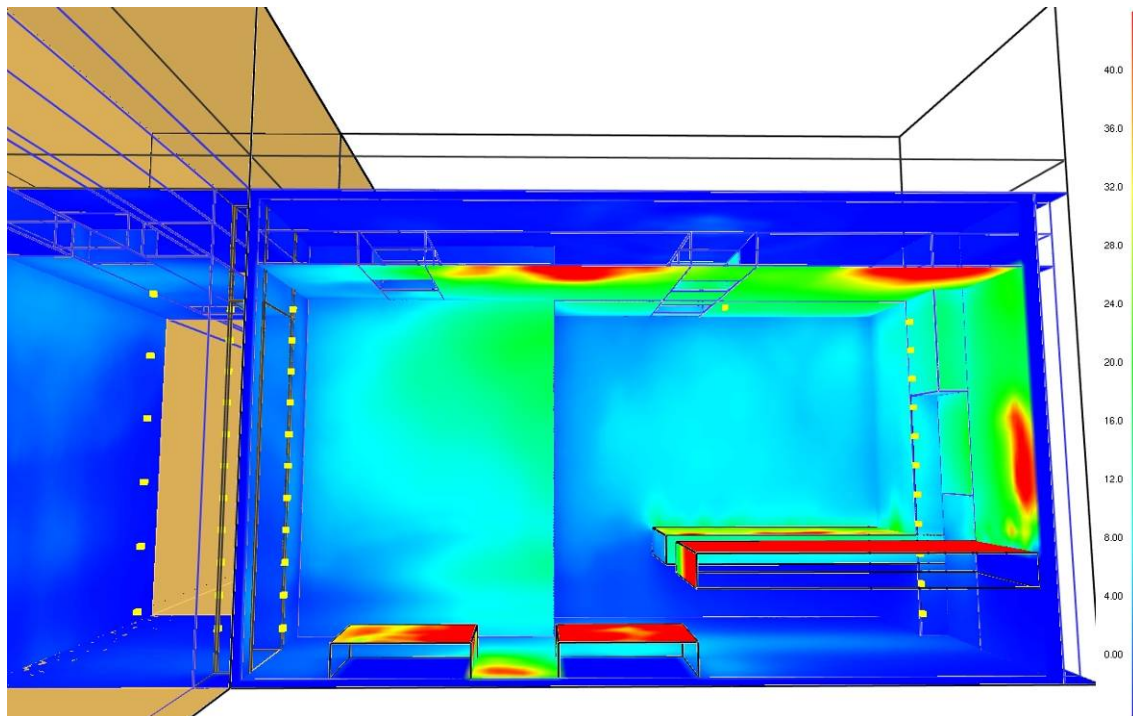


Figur 32. Strålningsintensitet vid tiden 600 sekunder i korridoren med fint rutnät

4.2.3.2 Strålning mot omgivande ytor intill branden

Ur materialsynpunkt är det viktigt att studera strålningsintensiteten mot omgivande ytor vid maximal effektutveckling eftersom strålningen är som störst då. Som tidigare nämnts uppnås maximal effekt vid 450 sekunder för brand i hytten.

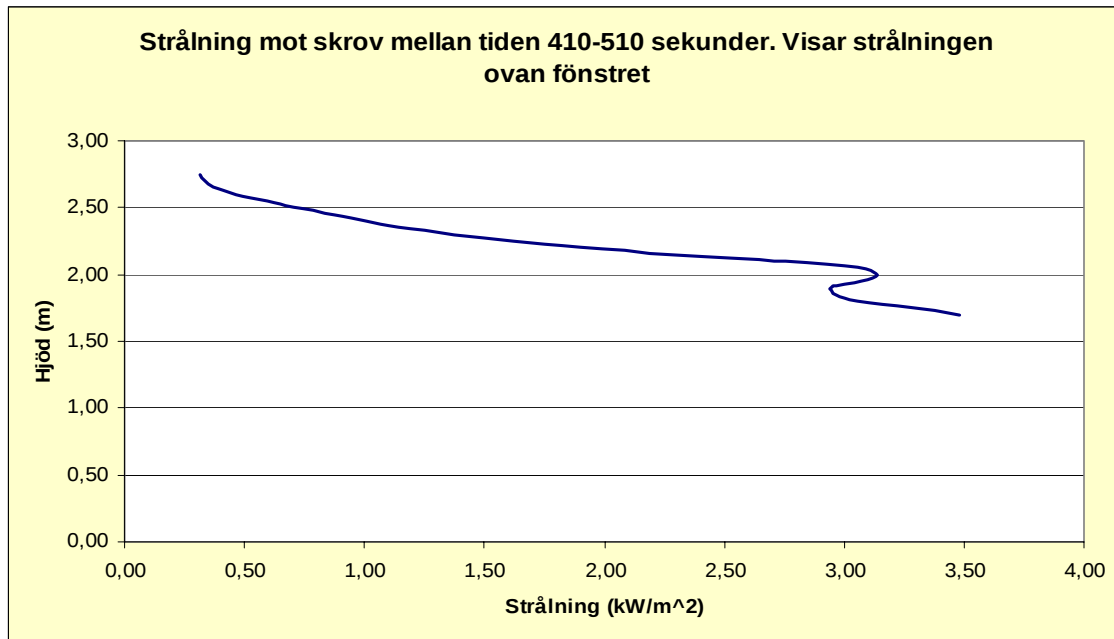
I figuren visas strålningsintensiteten vid 450 sekunder mot omgivande ytor. Tillhörande skala går från 0 – 40 kW/m² med ett intervall på 4 kW/m².



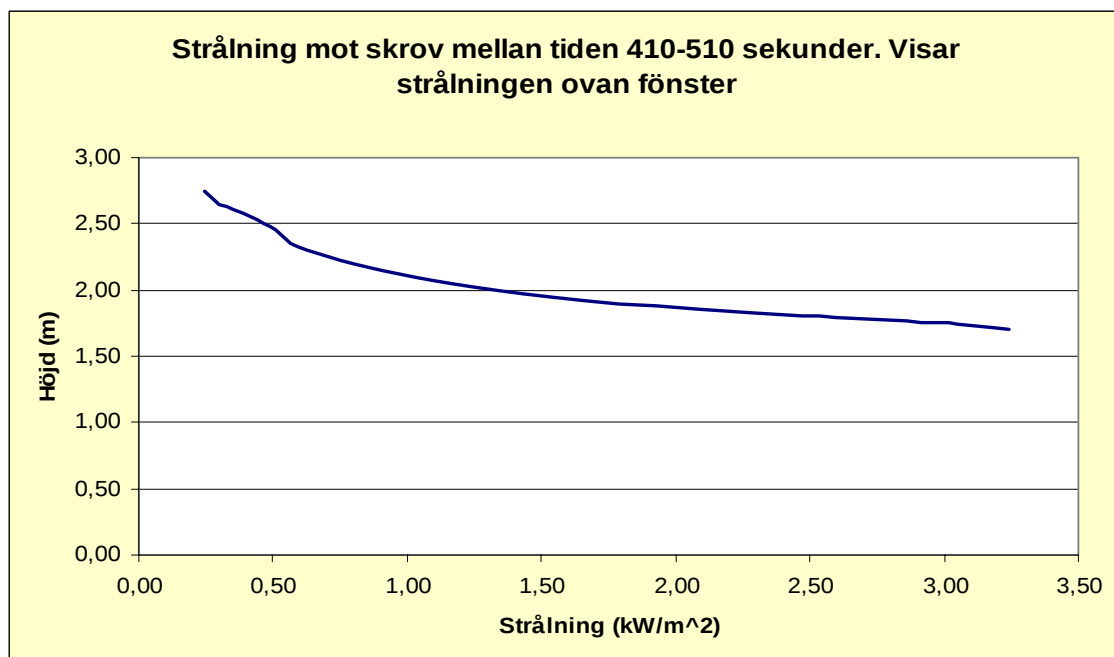
Figur 33. Bilden visar strålning mot omgivande ytor intill branden vid 450 sekunder

4.2.3.3 Strålning mot skrov

Diagrammen nedan visar strålningen mot skrovet ovan fönstret efter att det har gått sönder på grund av värme. Som tidigare nämnts antas fönstret gå sönder vid en temperatur på 300°C. Skillnaden mellan de olika beräkningarna cabin_2b och cabin_3b är att i den förstnämnda är dörren stängd under hela brandförloppet och i den sistnämnda är dörren öppen under hela brandförloppet. I båda beräkningarna uppgår strålningen mot skrovet till ungefär 3,5 kW/m². I figur 34 ökar strålningen något vid höjden 2 meter för att sedan fortsätta att minska. Detta kan förklaras med att det lokalt är varmare just vid den höjden.



Figur 34. Visar strålningen mot skrovet för hyttbrand med fint rutnät (cabin_2b)



Figur 35. Visar strålningen mot skrovet för hyttbrand med fint rutnät (cabin_3b)

4.2.4 Sprinkleraktivering

Resultaten visar att en sprinkler i hyttbranden med öppen dörr aktiveras vid 170 sekunder. I fallet då dörren är stängd aktiveras sprinklern efter cirka 130 sekunder.

4.2.5 Diskussion

Enligt tidigare redovisade kriterier för säker utrymning får temperaturen vara högst 80°C i utrymningsvägen. Utifrån de resultat som beräkningarna gett kan det påvisas att kritiska förhållanden eventuellt uppkommer, på grund av den temperatur som uppstår i korridoren vid de aktuella tidpunkterna. Det är svårt att avgöra en exakt temperatur mellan 1,5 – 2 meter, men det kan konstateras att under 1,5 meter överstiger ej

temperaturen 80°C. I övrigt med avseende på gällande kriterier uppstår inte kritiska förhållanden ute i korridoren.

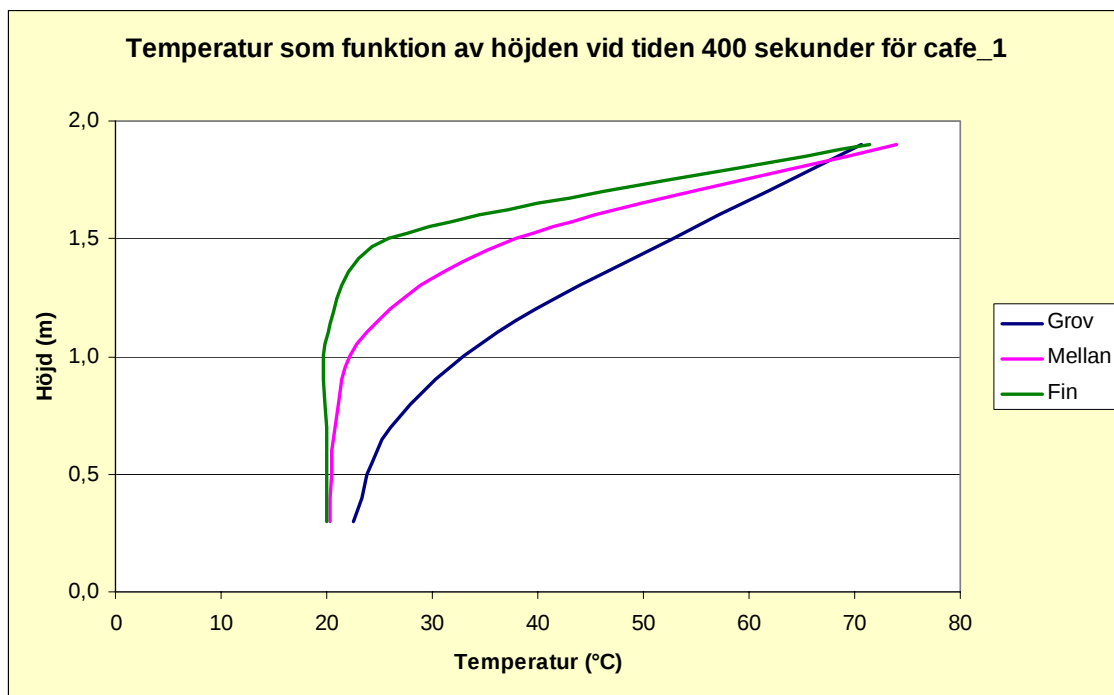
Materialet påverkas inte av strålning eller temperatur från brandgaserna, men nära branden blir temperatur och strålning så pass hög att materialpåverkan kan uppstå. Som beskrevs tidigare i restaurangbranden är resultatet för strålningen mot skrovet lågt och inte helt tillförlitligt eftersom *FDS* inte är bra vid strålningsberäkningar. Under rubrik 5.2.1 (gridoberoende i hyttbranden) kan temperaturerna i branden utläsas.

Sprinkleraktivering sker vid ungefär 3 minuter. Detta får till följd att brandgaserna kylls så pass mycket att kritiska förhållanden ej kommer att uppstå på grund av temperaturen, varken för personsäkerheten eller ur materialsynpunkt.

4.2.6 Gridoberoende i hyttbranden

För att undersöka gridoberoende har temperaturen i branden plottats mot höjden med avseende på tre olika storlekar för rutnätet, grov, mellan och fin. De olika storlekarna är 40, 20 respektive 10 cm. Det visar sig att lösningen går mot gridoberoende. Slutsatsen om gridoberoende dras utifrån att differensen mellan fingriden och mellangriden är mindre än mellan grovgriden och mellangriden.

Den beräkning som undersöks är *cabin_1*.



Figur 21. Gridoberoende i *cabin_1*

5 Jämförelseanalys

Vid all användning av CFD-modeller är det bra att jämföra de resultat man får med andra modeller, exempelvis två-zonsmodeller. Detta för att man inte kan förlita sig på endast en modell och de resultat den visar. Eftersom CFD-modellen inte är begränsad av geometri och material kan det vara bra att jämföra med en två-zonsmodell som har begränsningar ur de aspekterna. Utifrån detta har *FDS* jämförts med två-zonsmodellen *C-Fast*.

För att göra en bra jämförelse mellan modellerna undersöks temperaturerna både i och långt ifrån branden. På grund av att *C-Fast* gör sina beräkningar med en form av medeltemperatur och momentan spridning, bör temperaturen vara högre långt ifrån brandkällan jämfört med CFD-modellen. Motsatt resonemang gäller nära brandkällan vilket leder till en lägre temperatur med *C-Fast* jämfört med CFD-modellen.

5.1 Uppställning och resultat

C-Fast har begränsningar gällande geometrin som gör att stora rum med normaltakhöjd inte fungerar att göra beräkningar på. Ett exempel på detta problem är en lång korridor såsom i fallet med hyttbranden. För att kunna göra en beräkning på hyttbranden delades korridoren upp i 10 olika block. Materialen i väggarna antogs vara gips och taket antogs vara av stål. Effektkurva som SP har fått fram genom konförsök med en madrass användes som dimensionerande brand.

För restaurangbranden delades domänen upp i 5 olika block, där materialen i väggar och tak antogs till samma som i hyttbranden. Branden bestod av brinnande stolar samt en brinnande golvmatta, där data har tagits från de data som SP och CATENA har fått fram genom konförsök.

De resultat som tagits fram utifrån beräkningar med *C-Fast* och *FDS* påvisar att *FDS* stämmer väl överens med den teori som beskrivits ovan.

För att se resultat på jämförelseanalysen för restaurang- och hyttbranden, se diagram i bilaga C (se framför allt figur 47).

6 SIMULEX och utrymning

SIMULEX är en modell som används för att simulera utrymningstider. Programmet kan importera CAD-filer utan problem och genom detta kan i stort sett vilka ritningar som helst importeras. I programmet finns ett antal fördefinierade personer och olika beteenden för dessa personer. Bland annat finns IMO:s krav i programmet vilket gör modellen relevant för utrymningsförsöken. Eftersom detta projektarbete på många sätt är begränsat att följa vissa regler och krav som är uppsatta av IMO är det en fördel att SIMULEX har detta förinstallerat. Vidare har valideringsförsök gjorts av ett antal olika företag och universitet. Försök där modellen har jämförts med verkliga utrymningar visar på att modellen stämmer väl överens med verkligheten. (*Internet 6, 2006*)

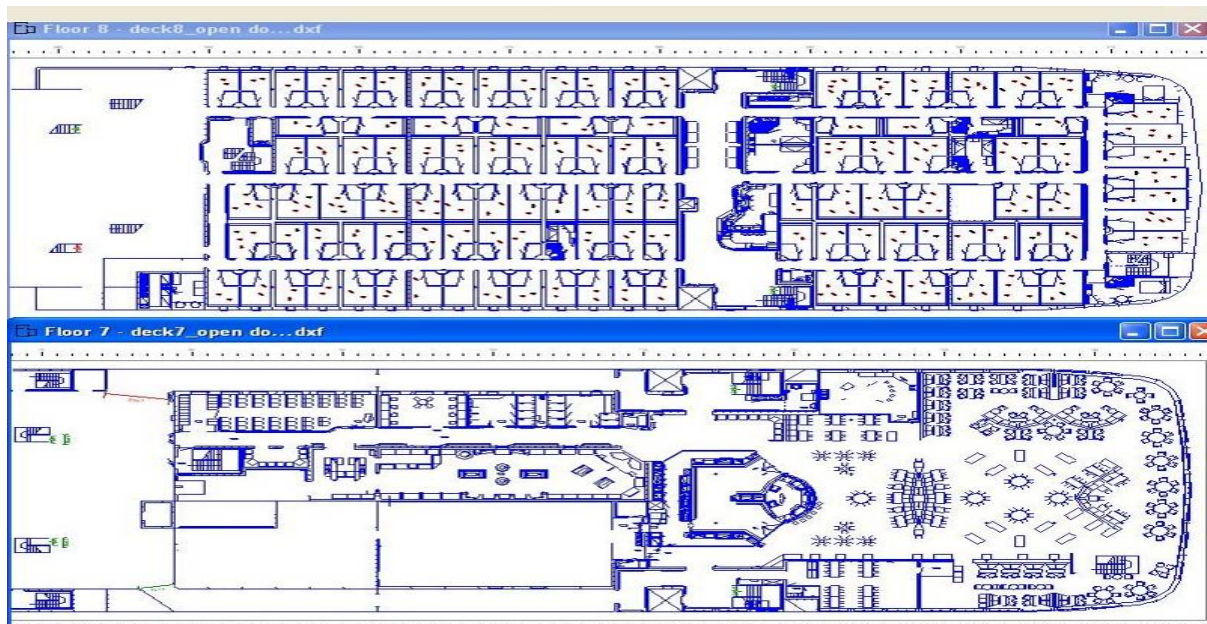
6.1 Utrymning

6.1.1 Allmänt

De fyra olika fall som har simulerats har tagits fram utifrån uppdragsgivarens krav och IMO:s regler om utrymning. Den modell som har använts är SIMULEX version 11.1.3 och har tillhandahållits av Lunds Tekniska Högskola. I modellen finns IMO:s bestämmelser angående personal och passagerare på fartyg till sjöss. Dessa har den fördelning och gånghastighet som finns beskrivet i IMO:s regelverk.

6.1.2 Fall 1

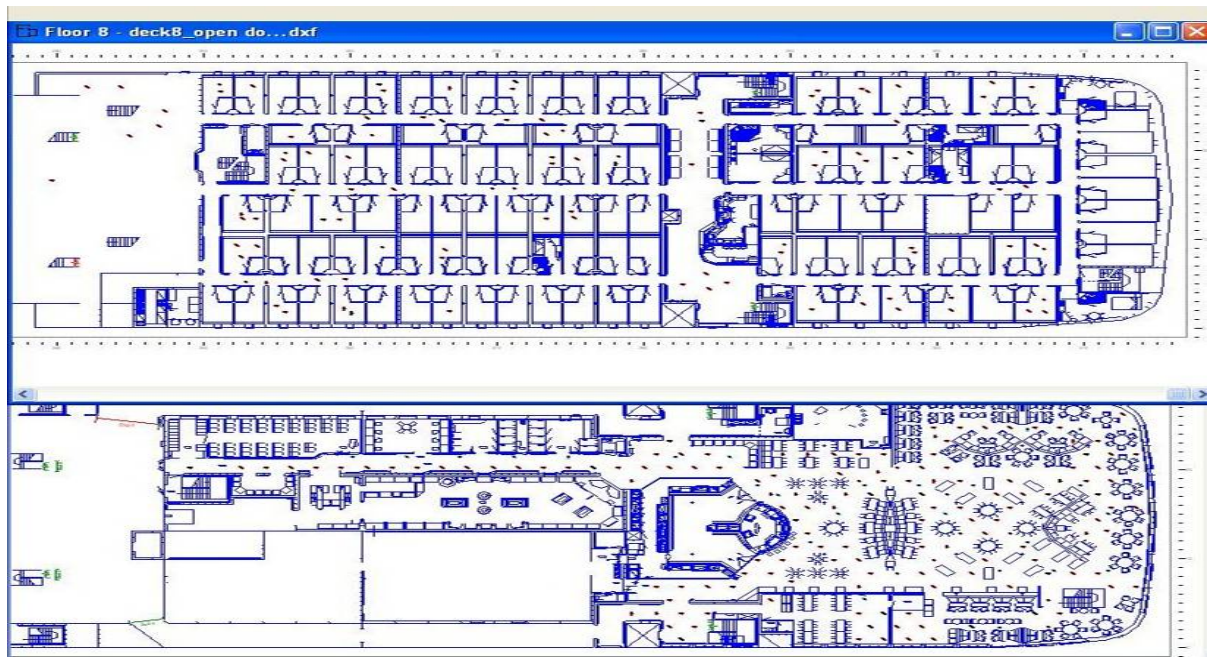
I fall 1 simulerades utrymning vid en hyttbrand på däck 8 nattetid med maximal belastning i passagerarhytterna. I översiktsskildern nedan ges en överblick av scenariot där den tomma hytten symboliserar den hytt som brinner. Däcket har vidare delats in i fyra ungefär lika stora block där en trappa centralt i vart och ett av blocken leder ner till däck 7. Passagerarna i de olika blocken är kopplade till närmaste länk som leder ner till däck 7. Vid utrymningen passerar inga människor den brinnande hytten eftersom brandgaser och strålning skulle hindra detta i verkligheten. Totalt utrymde 291 personer från hytterna på däck 8 ner till däck 7. Responstiden är satt till 600 ± 180 sekunder av IMO och innefattar varseblivnings- besluts- och reaktionstid utifrån givna föreskrifter från de regler som IMO har fastställt. Totalt tog det 16 minuter för alla människor att ta sig ut i det fria på däck 7. Vid simuleringen har bara passagerare utrymt från de olika däckerna och ingen hänsyn till besättningsmän har tagits. Detta på grund av att antalet besättningsmän är svårt att uppskatta nattetid och vidare anses besättningsmännens närvaro ej fördröja utrymningen utan snarare påskynda den.



Figur 36. Bild över fall 1 innan simuleringsstart.

6.1.3 Fall 2

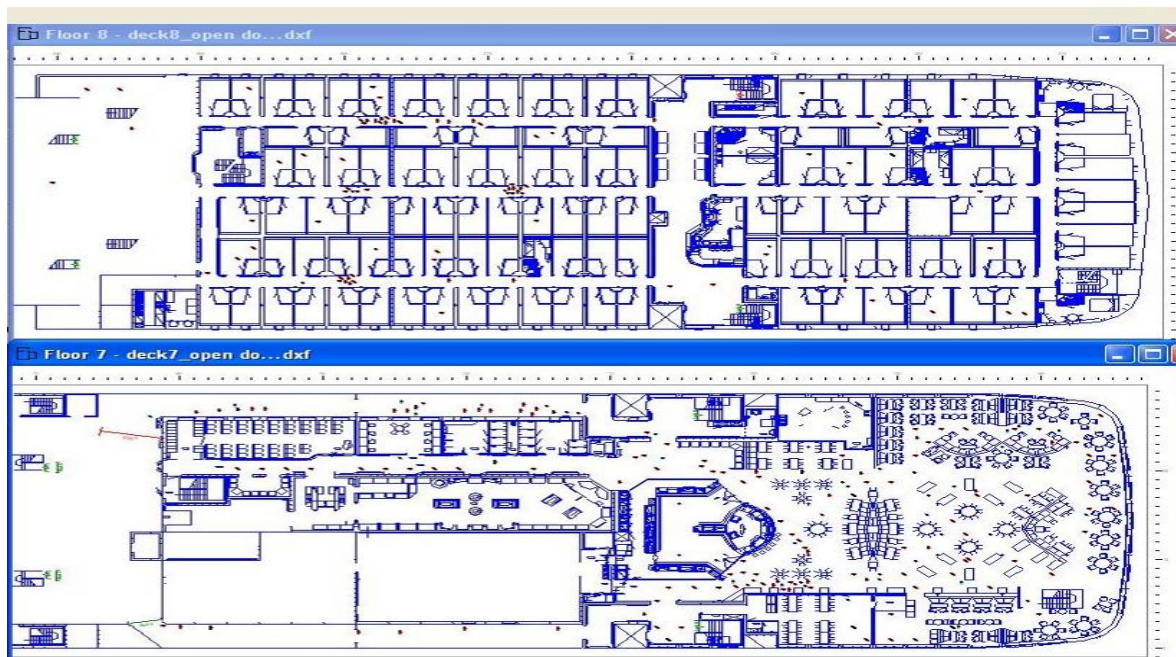
I fall 2 simulerades en utrymning vid en brand i restaurangen. Branden antas äga rum under dagtid och passagerare befinner sig utspritt i alla tänkbara utrymmen både på däck 8 och däck 7. Precis som i fall 1 under nattetid är personerna på däck 8 länkade till den närmaste av de fyra trapporna som finns att tillgå. På däck 7 finns två olika utgångar där personerna inte är länkade till någon specifik utgång. Totalt sett utrymmer 275 personer varav 26 stycken är besättningsmän och resten är vanliga passagerare. Större delen av människorna 175 stycken befinner sig i restaurangen på däck 7 och resterande befinner sig ovanför på däck 8. Responstiden var satt till 300 ± 90 sekunder. Totalt tog det 9 minuter och 52 sekunder för alla personerna att ta sig ut i det fria på däck 7.



Figur 37. Bild över fall 2 innan simuleringsstart

6.1.4 Fall 3

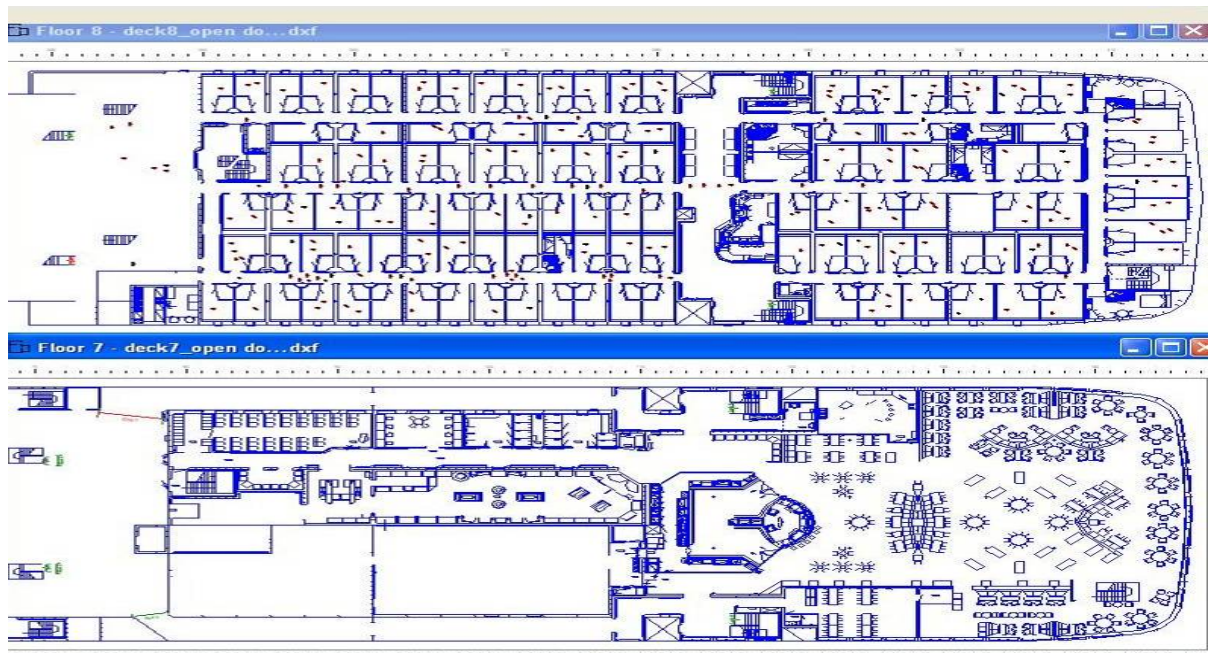
Fall 3 simulerades utifrån samma förutsättningar som fall 2 förutom att 2 stycken trappor tagits bort från däck 8. De borttagna trapporna leder ner till branden i restaurangen och skulle inte vara möjliga att använda på grund av eventuell brandgasspridning i trapphuset. Totalt tog det 9 minuter och 53 sekunder för alla personerna att ta sig ut i det fria på däck 7. Denna tid är i princip identiskt som fall 2 vilket är anmärkningsvärt, detta diskuteras vidare under rubriken diskussion.



Figur 38. Bild över fall 3 efter 4,59 sekunder från simuleringsstart

6.1.5 Fall 4

Fall 4 simulerades utifrån samma förutsättningar som fall 1 förutom att 2 stycken trappor tagits bort från däck 8 för att undersöka om utrymningstiden blir förändrad. De borttagna trapporna leder ner till restaurangen och motsvarar de krav som ställs av IMO. Totalt tog det 15 minuter och 54 sekunder för alla personerna att ta sig ut i det fria på däck 7. Detta är 5 sekunder snabbare än i fall 1 vilket är anmärkningsvärt.



Figur 39. Bild över fall 4 efter 9,33 sekunder från simuleringstart

6.2 Diskussion

De likartade tiderna mellan då trapporna används och inte används beror förmodligen på den stora spridningen i besluts- och reaktionstiden. Vidare är besluts- och reaktionstiden slumpmässigt fördelad, vilket är en likformig fördelning och antalet personer som påbörjar utrymning mellan 420 och 780 s är över tiden konstant. Den stora spridningen på besluts- och reaktionstiden medför att trappornas bredd inte blir begränsande för flödet eftersom personflödet i trapporna över tiden blir liten.

Jämförelsedigrammen i bilaga B visar att trapporna inte är en begränsande faktor då det gäller personflöde till återsamlingsplatsen ute på däck. Vidare kan man tänka sig att om man tar hänsyn till gruppdyamik kommer människor att utrymma tillsammans i större utsträckning. Detta medför att om man tar hänsyn till gruppdyamiken så kommer fler att utrymma samtidigt och trapporna kan då bli en begränsande faktor, då dessa kan ses som flaskhalsar.

7 Diskussion utifrån simuleringar

Nedan diskuteras personsäkerhet och påverkan på byggnadsmaterialen vid brand. Då det gäller personsäkerheten har de kriterier gällande utrymning som finns skrivna i Brandskyddshandboken (*Brandskyddshandboken*) använts, detta för att det inte finns några skrivna regler för sjöfarten. Då materialen i fartyget skall ersättas med lättare material hade det varit en fördel att beräkna bränder med de termiska data som gäller för de kommande materialen. Men eftersom ingen vet vilket material som ersätter vad, går det inte att göra sådana beräkningar. Därmed är beräkningarna utförda på dagens byggnadsmaterial med dess termiska egenskaper.

7.1 Personsäkerhet

För att kunna säkerställa en tillfredställande utrymning måste vissa kriterier vara uppfyllda. Detta betyder att utrymningen måste vara avklarad innan kritiska nivåer är uppnådda för något av dessa kriterier. På grund av de krav som IMO (*International Maritime Organisation*) har fastställt blir utrymningstiderna från både en hyttbrand och en restaurangbrand väldigt långa. Detta beror främst på att reaktionstiderna nattetid är ställda till 600 ± 180 sekunder. Men även dagtid är reaktionstiderna ett problem då tiderna är satta till 300 ± 90 sekunder. IMO har som krav att reaktionstiderna ska följa en slumpmässig fördelning. Detta fungerar med all säkerhet nattetid då människorna till största delen reagerar oberoende av varandra, speciellt vid hytterna då de flesta ligger och sover. Dagt看 vi att reaktionen hos passagerare bör följa en lognormalfördelad kurva eftersom människorna med all sannolikhet reagerar beroende av varandra.

7.1.1 Restaurangbrand

För restaurangbranden uppnås kritiska förhållanden gällande synbarheten, sikten understiger här 10 meter. Detta gäller både för en brand inne i massen samt en brand i restaurangdelen. Tiderna uppgick till 350 sekunder för mässbranden respektive 220 sekunder för restaurangbranden. Jämfört med de resultat som ges av SIMULEX anses inte en tillfredsställande utrymning från restaurangen kunna ske då utrymningen tar 10 minuter dagtid.

Nattetid har personerna på båten inte ens reagerat innan kritiska nivåer har uppstått. Reaktionstiderna i sig är ett problem som vi menar borde revideras. Det verkar inte rimligt med en reaktionstid på 600 ± 180 sekunder.

Ovanstående resonemang gäller ej då sprinkler aktiveras. Vid sprinkleraktivering anses branden bli kontrollerad och därmed infinner sig inte kritiska förhållanden. Inne i massen aktiveras sprinkler vid 130 sekunder och ute i restaurangdelen vid tiden 140 sekunder. Detta betyder att branden blir kontrollerad innan kritiska förhållanden har uppstått.

Man kanske kan tänka sig att kritiska förhållanden uppstår med avseende på siktbarheten när sprinklerna aktiveras. Detta på grund av att brandgaslagret sjunker och omblandas med luften under när den kyls ner. Men på grund av den stora volym som restaurangen utgör anses inte siktbarheten ur denna aspekt utgöra ett problem.

7.1.2 Hyttbrand

För en brand i hytten med tillhörande korridor kan eventuellt kritiska förhållanden uppstå gällande temperaturen. Detta är svårt att avgöra då kriterierna säger att temperaturen ej får överstiga 80°C i den del som utrymningen sker i. Vid höjden 1,5 meter kan det konstateras att temperaturen understiger 80°C. Från 1,5 meter upp till 2,4 meter är det dessvärre väldigt svårt att avgöra temperaturen. Bedömningen blir ändå att inga kritiska förhållanden bör uppstå ur utrymningsperspektiv.

Då det gäller hyttbranden aktiveras sprinklern vid tiden 170 sekunder. Men då inga kritiska förhållanden bör uppstå anses inte sprinkleraktiveringen vara av vikt för personsäkerheten då det gäller temperatur. Ett problem som skulle kunna uppstå i samband med att en sprinkler utlöser är den ökande uppkomsten av oförbrända brandgaser på grund av kylning. Detta kan göra att korridoren till viss del rökfylls från golv till tak, vilket kan göra att siktbarheten försämras så pass mycket att den når kritiska nivåer.

Beräkningarna har påvisat vikten av stängda dörrar in till hytterna. Med stängda dörrar fås en betydligt lägre effektutveckling samtidigt som brandgasspridning begränsas ut till övriga domäner.

På fartyget finns även en brandstyrka som är brandutbildade och är på plats vid branden inom 2 minuter. Detta tillsammans med fungerande sprinklers, gör att personsäkerheten kan anses vara tillfredsställande god.

7.2 Material

Strålningen mot skrovet ovan fönster då detta har spruckit bedöms vara så pass låg i alla scenarier (endast 3,5 kW/m²) att ingen påverkan kan anses vara av vikt.

Temperaturen i brandrummet för hyttbranden anses bli så pass hög att påverkan kan ske på material och omgivande ytor. Detsamma gäller för strålningen inne i hytten. Ute i korridoren sker ingen materialpåverkan.

För brand i restaurangdelen och i mässen gäller att temperatur och strålning är så pass hög att materialpåverkan kan ske. Detta gäller endast i anslutning till branden. En bit ifrån branden anses ingen påverkan kunna ske.

8 Slutsats

Följande betydande slutsatser för denna rapport kan dras utifrån de olika beräkningar som har gjorts med hjälp av de använda modellerna.

- Så länge säkerhetssystemen såsom brandlarm och sprinkler fungerar som de förväntas göra vid en eventuell brand är personsäkerheten god.
- Då säkerhetssystemen inte fungerar kan ej personsäkerheten fastställas. Detta gäller framför allt för restaurangbranden då siktbarheten är dålig, men även för hyttbranden finns det risk för att kritiska nivåer uppnås gällande temperaturen i brandgaserna.
- Restaurangen blir snabbt rökfylld. Detta beror sannolikt på att relativt lite brandgaser transporteras ut genom de små utgångarna från lokalen.
- Strålningsnivåer mot skrov blir inte så höga att strålningen har någon materialpåverkan. Brandgaserna som strömmar ut kyla snabbt av mot skrovet.
- Inne i brandrummen blir temperaturen hög, detta kan medföra direkta problem för de omkringliggande materialen. Samtidigt kan den uppkomna strålningen från branden i sig och varma brandgaser utgöra en negativ materialpåverkan.
- Utrymningstiderna blir relativt långa, detta beror framför allt på den långa responstid som är satt utifrån IMO:s regelverk. Dagtid anses en lognormal fördelning över responstiden vara mer trovärdig än en slumpmässigt fördelad kurva.
- Jämförelseanalys för *FDS* med hjälp av *C-Fast* visar att beräkningarna är trovärdiga. Nära branden tenderar en två-zonsmodell (*C-Fast*) underskatta temperaturen och långt ifrån överskatta temperaturen. Diagrammen från jämförelsen påvisar att denna teori stämmer.

9 Referenser

9.1 Litteratur

Andersson, J. D, *Computational Fluid Dynamics*, McGraw-Hill, New York, USA, 1995

Brandskyddshandboken. Rapport 3117, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, Sverige, 2002

Dittmer, T. Jämtäng, U, *Känslighetsanalys av FDS och dess undermodeller i ett tunnelscenario*, Lund, Sverige, 2006

Drysdale, D. *An Introduction to Fire Dynamics*, 1998

IMO, *IMO Document MSC/Circ. 1033*, 2002

Hertzberg T, *BrandPosten nr 33-2005. Sidan 4-5*, SP, Borås, Sverige, 2005

McGrattan, K. Forney, G, *FDS (Version 4) User's Guide*, NIST, Washington, USA, 2006

McGrattan, K, *FDS (Version 4) Technical Reference Guide*, NIST, Washington, USA, 2006

9.2 Elektroniska

Internet 1, <http://www.svbf.se>, Svenska Brandskyddsföreningen, Sverige, 2006

Internet 2, http://sv.wikipedia.org/wiki/Al-Salam_Boccaccio_98, Wikipedia, Sverige, 2006

Internet 3, <http://www.sr.se/cgi-bin/ekot/artikel.asp?Artikel=78819>, Sveriges Radio, Sverige, 2006

Internet 4, <http://www.socialstyrelsen.se/Publicerat/1993/4947/1993-3-3+Sammanfattning.htm>, Socialstyrelsen, Sverige, 2000

Internet 5, <http://www.lass.nu>, Sverige, 2005

Internet 6, <http://www.crowddynamics.com/Egress/simulex.html>, Crowd Dynamics Ltd, England, 2006

9.3 Muntliga

Axelsson Jesper, *Anställd på SP samt uppdragsgivare*, Sverige 2006

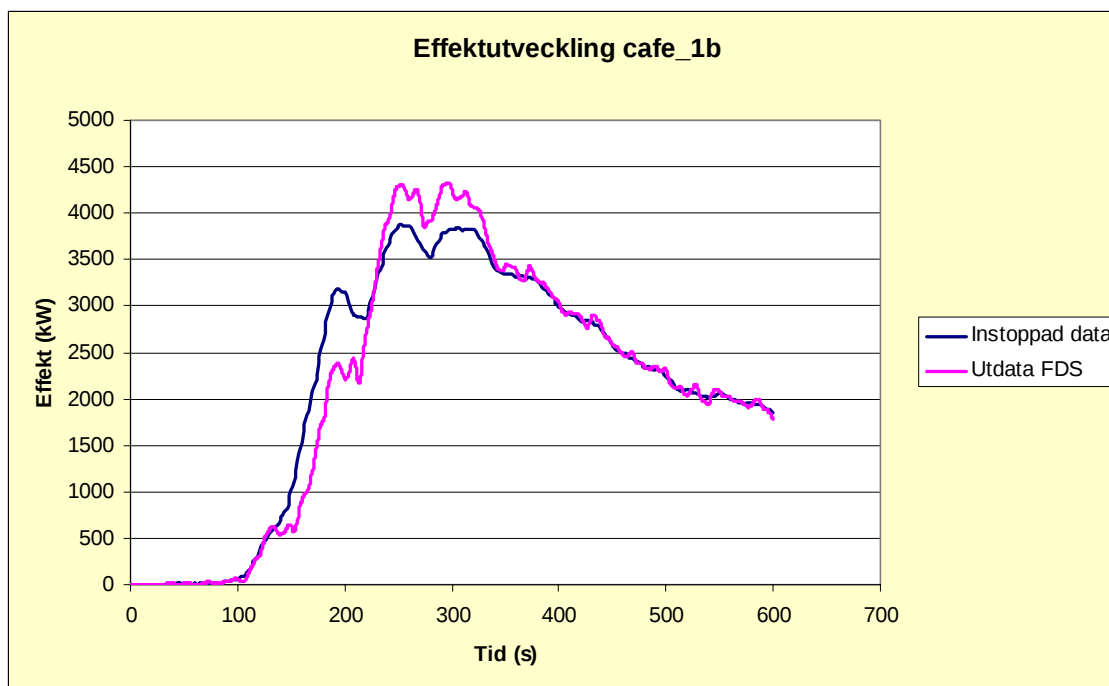
Prag Anders, *Anställd som styrman på ett rederi*, Sverige 2006

Förteckning över bilagor

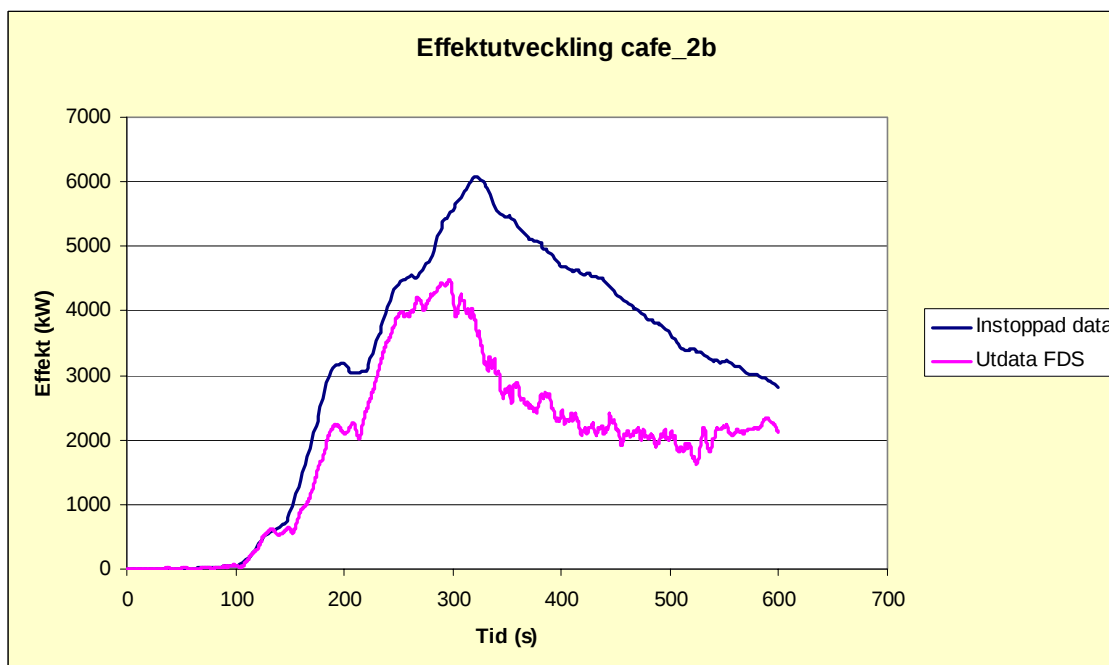
Bilaga A – Effektutvecklingar	1
Restaurangbrand.....	1
Hyttbrand.....	2
Bilaga B – Jämförelsedigram utrymning	3
Bilaga C – Resultat jämförelseanalys.....	5
Restaurangbrand.....	5
Hyttbrand.....	6
Bilaga D – Ritningar.....	7
Bilaga E – CFD	9
Skillnaden mellan olika turbulens-modeller	9
Bilaga F – FDS	11
Allmänt.....	11
Rutnätet	11
Gridoberoende.....	11
Förbränningsmodell	11
Strålningsmodell	12
Bilaga G – Indata till <i>FDS</i>	13
Allmänt.....	13
Hyttbrand 1a	13

Bilaga A – Effektutvecklingar

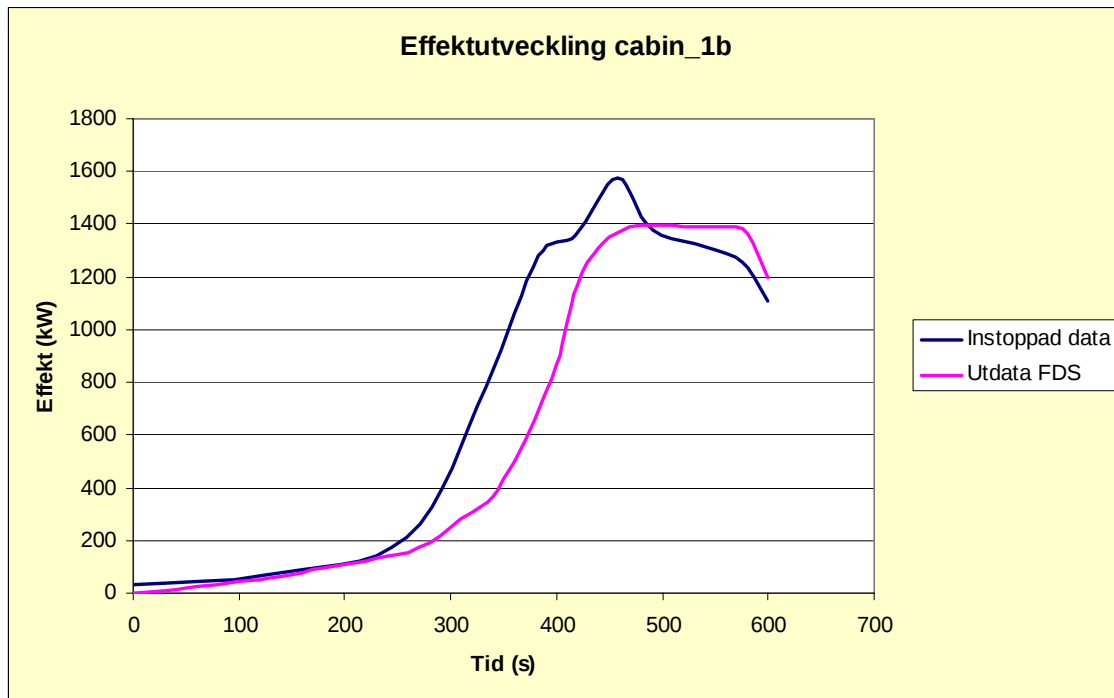
Restaurangbrand



Figur 40. Effektutveckling för brand inne i restaurangdelen

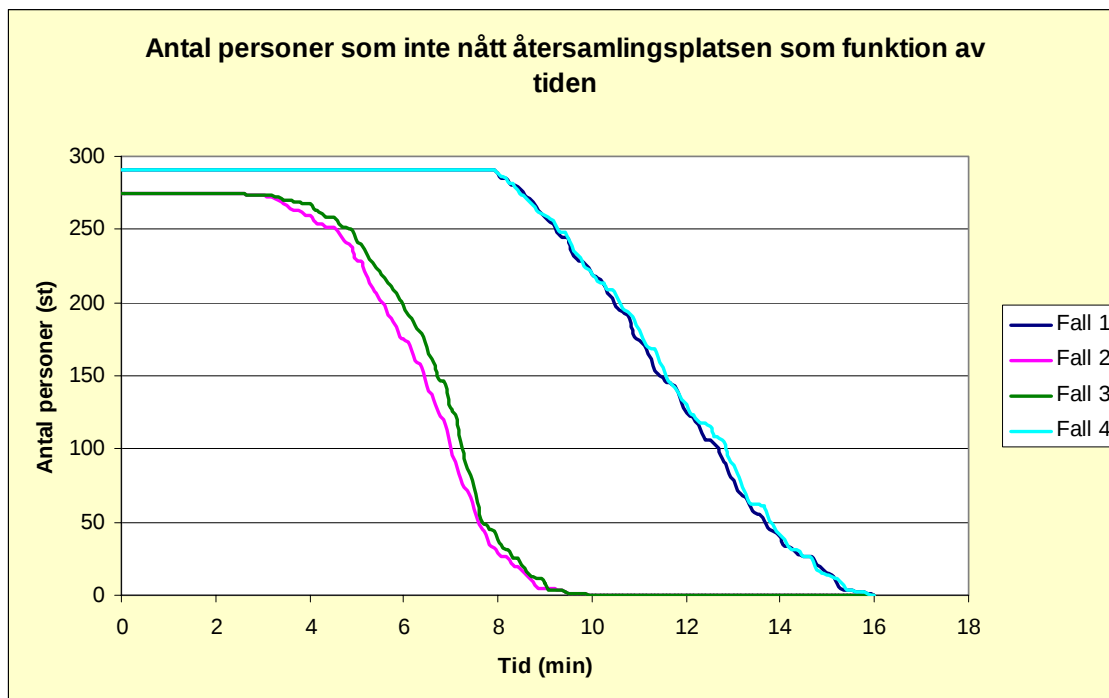


Figur 41. Effektutveckling för brand inne i mässdelen

Hyttbrand

Figur 42. Effektutveckling för brand i hytten

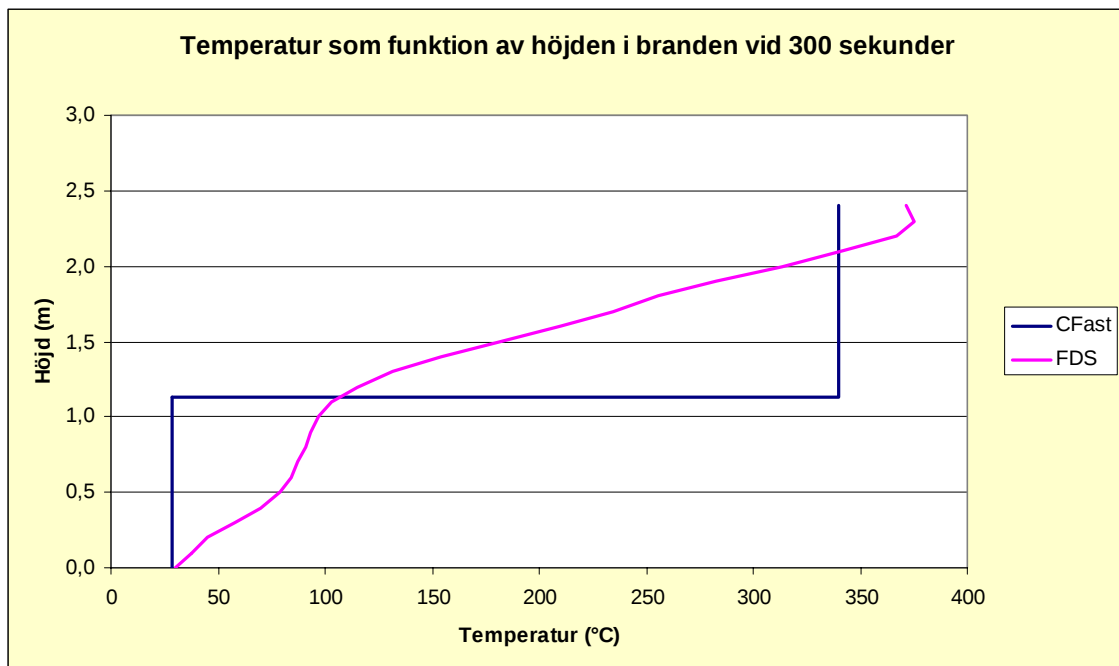
Bilaga B – Jämförelsedigram utrymning



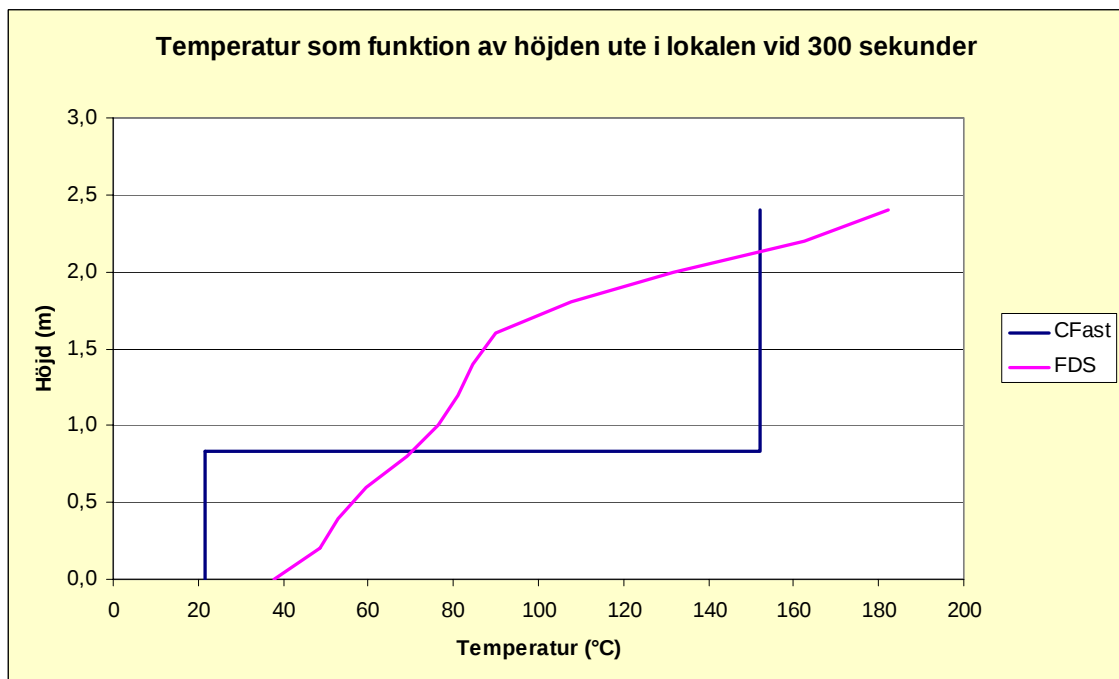
Figur 43. Antal personer som nått återsamlingsplatsen som funktion av tiden

Bilaga C – Resultat jämförelseanalys

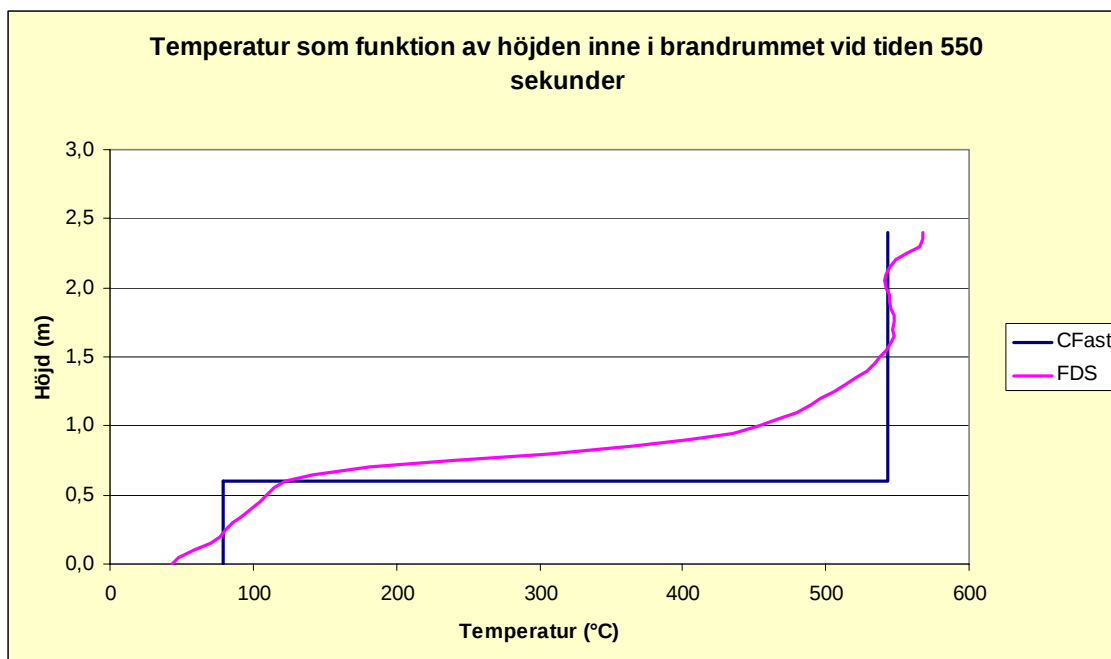
Restaurangbrand



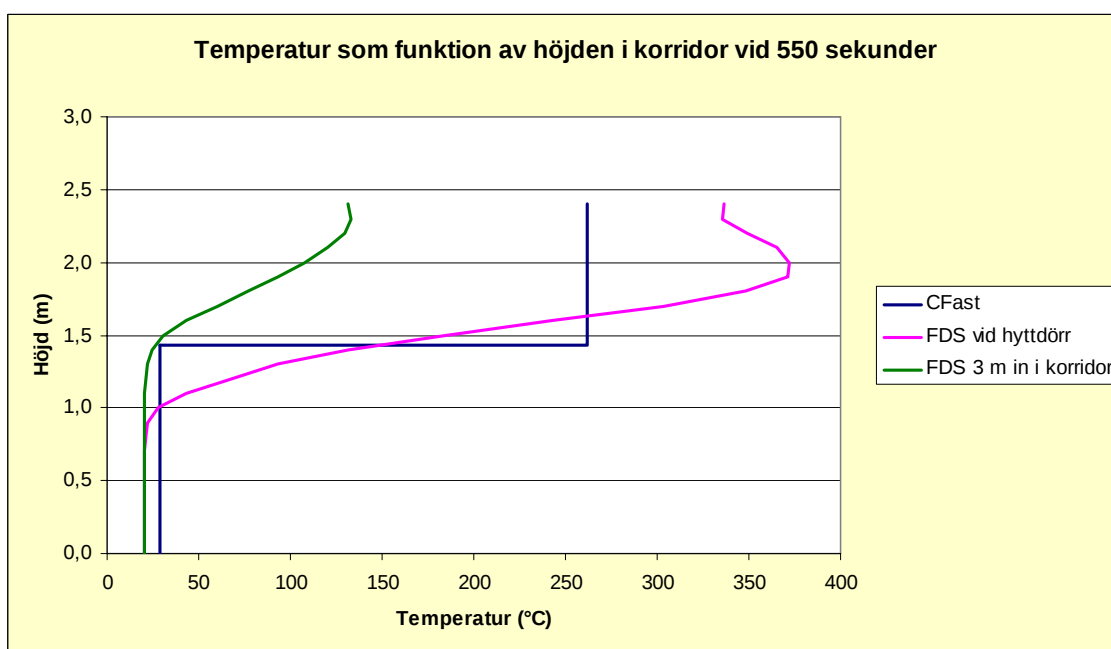
Figur 44. Temperaturen som funktion av höjden inne i branden vid tiden 300 sekunder



Figur 45. Temperaturen som funktion av höjden ute i lokalen vid tiden 300 sekunder

Hyttbrand

Figur 46. Temperaturen som funktion av höjden inne i branden vid tiden 450 sekunder

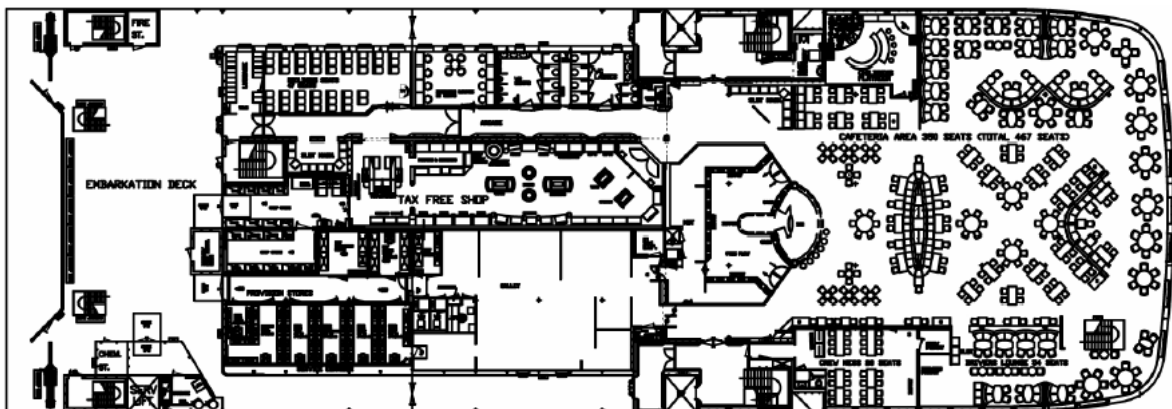


Figur 47. Temperaturen som funktion av höjden ute i korridoren vid tiden 450 sekunder

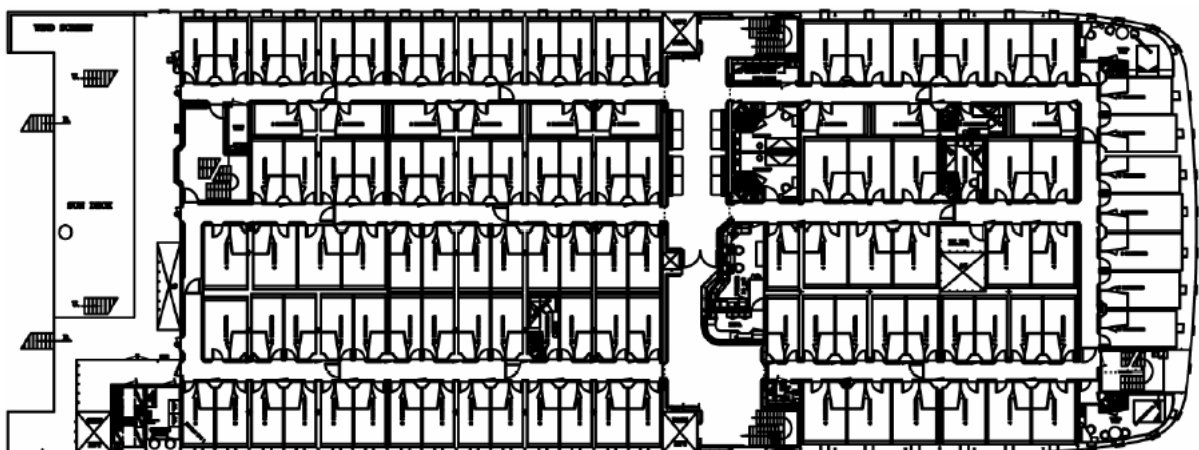
Bilaga D – Ritningar



Figur 48. Bilden visar det fartyg som beräkningarna har gjorts på



Figur 49. Bilden är en ritning över däck 7 där restaurangen och mäss är belägna



Figur 50. Bilden är en ritning över däck 8 där hytterna är belägna

Bilaga E – CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) är ett verktyg som har funnits ett antal år inom främst industrisektorn. Alla har vi väl sett bilder på bilar som placeras i en vindtunnel för att sedan simulera aerodynamiken med hjälp av datorer. CFD har på senare år blivit ett viktigt hjälpmedel även inom brand då olika CFD-modeller kan användas för att simulera flöden och andra faktorer som uppstår på grund av brand. De olika koderna gör vissa mer eller mindre grova antaganden angående förbrännings- och strålningsmodeller, men det de har gemensamt är att dela in hela domänen i ett stort antal kontrollvolymmer och löser förenklade Navier-Stokes ekvationer vid randen för rutnätet. Detta gör att CFD-modeller med dagens moderna och snabba datorer med fördel används istället för två-zonsmodeller då geometrin är komplex.

De modeller som främst används inom brand är RANS- och LES-koder, men även DNS-modeller. Fördelar och nackdelar mellan de olika turbulensmodellerna beskrivs nedan.

Skillnaden mellan olika turbulensmodeller

Det som skiljer modellerna åt är sättet som modellerna modellerar turbulensen i flämman. RANS medelvärdesbildar turbulensen vilket ger fördelen att beräkningen kan ha större tidssteg och större kontrollvolym. Nackdelen är att lösningen är implicit och itereras fram vilket gör beräkningen tyngre. (*Andersson, J.D, 1995*)

En LES-modell tar endast med den turbulens som är mindre i diameter än rutnätets karakteristiska diameter, medens den diameter som är större än rutnätets karakteristiska diameter beräknas direkt. Lösningen är explicit med ett tidssteg proportionellt mot rutnätets storlek. (*Andersson, J.D, 1995*) För att ett bra resultat skall uppnås krävs små kontrollvolymmer, men desto mindre kontrollvolymmer desto tyngre beräkning och det är därmed viktigt att hitta den storlek som ger mest ur tidsaspekten.

Den tredje metoden som kallas DNS löser flödesekvationerna direkt. DNS kräver därmed att kontrollvolymen är mindre än den minsta diametern som uppstår i turbulensen. Detta är inte möjligt med dagens datorer då lösningen blir alltför tung.

Bilaga F – FDS

Allmänt

FDS är en modell vars källkod är gratis och är framtaget av Amerikanska National Institute of Standards and Technology (NIST). *FDS* beräknar flöden med hjälp av LES men kan även lösa flöden med DNS. Det *FDS* däremot inte kan, är att använda sig av RANS. Resultatet från en beräkning kan presenteras dels grafiskt med hjälp av ett program som heter Smokeview som tillhandahålls av NIST, men även i sifferform med antingen ett inbyggt program som kallas *FDS2ascii*, eller med temperaturträd som skapas i indata-filen.

Rutnätet

I *FDS* delas hela domänen upp i ett antal kontrollvolymmer som skall vara kubiska. Det finns möjlighet till att "sträcka" ut cellerna i *FDS* där informationen från branden inte är så viktig, denna metod beskrivs inte vidare eftersom projektarbetet inte är uppbyggt på att använda den funktionen. Istället för att "sträcka" ut cellerna för att minska antalet celler kan multipla rutnät användas, där antalet celler är fler där informationen är viktig och antalet celler är färre där informationen är mindre viktig. En ytterliggare fördel med denna metod är att man kan använda multipla processorer, antalet processorer skall vara samma som antalet rutnät. Eftersom *FDS* använder kontrollvolymmer som är kubiska kan information endast tas upp vid randen, detta betyder att ett rutnät som är helt eller delvis inne i ett annat rutnät kan förlora information vid skarven.

(McGrattan, K, Forney, G, 2006)

Gridoberoende

Då temperaturen i var cell medelvärdesbildas är det viktigt att se till att rutnätet är så pass litet att gridoberoende uppnås för varje beräkning. Teoretiskt skulle exakta värden kunna tas fram för en beräkning genom att göra rutnätet oändligt litet. Detta är naturligtvis omöjligt med dagens processorkraft. Tidigare undersökningar har visat att gridoberoende nås vid en storlek på rutnätet mellan 5-10 cm (Dittmer T, Jämtäng U, 2006).

Ett sätt att konstatera gridoberoende är att ta ut temperaturer där det finns mycket information, till exempel inne i branden. Därefter plottas temperaturen som funktion av höjden ut med avseende för ett antal olika storlekar på rutnätet. Gridoberoende konstateras sedan där graferna för de olika storlekarna på rutnätet följer varandra.

Förbränningsmodell

I *FDS* används en förbränningsmodell som kallas "Mixture Fraction Model". Detta innebär att all bränsle förbränns momentant i varje cell då det kommer i kontakt med syre. Detta betyder i förlängningen att syre och bränsle aldrig kan existera samtidigt i en och samma cell. Energin som frigörs vid förbränning beräknas med hjälp av mängden förbrukat syre med ett värde av 13,1 KJ/kg. *FDS* och dess förbränningsmodell är inte bra på att simulera underventilerade bränder, utan skall endast användas då branden är bränslekontrollerad.

(McGrattan K, Forney G, 2006)

Strålningsmodell

En djupare insikt i den strålningsmodell som *FDS* använder kommer inte att göras. Anledningen är att den är väldigt komplicerad och anses inte ge läsaren så pass intressant information att det tillför något för projektarbetet. Däremot kommer en förenklad version ges.

Den modell *FDS* använder kallas Finite Volume Radiation Model, som baseras på Finite Volume Method (FVM). Eftersom det är en förenklad ekvation som är härledd från Radiative Transfer Equation (RTE) innebär det att *FDS* antar att ingen brytning sker i de celler som strålningen passerar igenom. Vilket innebär att strålningen endast kan absorberas i en grå gas eller gå rakt igenom en cell.

Det är känt att strålningen beror på temperaturen upphöjt till 4. Detta är ett problem i *FDS* då vi är nära branden. Eftersom temperaturen i en cell nära flamman jämnas ut över hela cellens volym blir temperaturen, speciellt i ett grövre rutnät, underskattad jämfört med den verkliga flamtemperaturen. Detta gör att strålningen i ett grovt rutnät blir väldigt underskattad. För att lösa detta problem anges ett minsta värde nära flamman. Långt ifrån används sedan den klassiska varianten med temperaturen upphöjt till 4.

(McGrattan K, 2006)

Bilaga G – Indata till FDS

Allmänt

Nedan redovisas en indatafil till FDS. Den fil som redovisas är en representativ fil för alla scenarier. Anledningen är att det i annat fall skulle ta för stor plats i själva dokumentet. Den fil som presenteras är hyttbrand 1a.

Hyttbrand 1a

cabin_1a.data

Generated by PyroSim - Version 2006.1 (c) 2002-2006

2006-sep-24 08:20:22

-----PyroSim-generated Section-----

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX/'
&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX/'
&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE/'
&BNDF QUANTITY='INCIDENT_HEAT_FLUX/'

&GRID IBAR=64 JBAR=25 KBAR=40/ Front
&PDIM XBAR0=-0.2000 YBAR0=14.30 ZBAR0=0.00 XBAR=6.20 YBAR=16.80
ZBAR=4.00/ Front
&GRID IBAR=8 JBAR=162 KBAR=20/ Hallway
&PDIM XBAR0=-0.2000 YBAR0=-1.20 ZBAR0=0.00 XBAR=1.40 YBAR=31.20
ZBAR=4.00/ Hallway

&HEAD CHID='cabin_1a/'

&HOLE XB=1.20, 1.40, 14.65, 15.35, 0.00, 2.20 RGB=1.00, 0.00, 0.00/ doorway
&HOLE XB=0.00, 1.20, 0.00, 0.2000, 0.00, 2.40/ LeftHole
&HOLE XB=0.00, 1.20, 29.80, 30.00, 0.00, 2.40/ rightHole
&HOLE XB=2.00, 2.40, 15.00, 15.40, 2.40, 2.60/ Hole1
&HOLE XB=4.00, 4.40, 16.00, 16.40, 2.40, 2.60/ Hole5
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 2.10, 2.50, 2.40, 2.60/ Hole[1]
&HOLE XB=0.00, 1.20, 29.80, 30.00, 2.60, 2.80/ Holeleft
&HOLE XB=0.00, 1.20, 0.00, 0.2000, 2.60, 2.80/ Holeright
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 4.10, 4.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][1]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 6.40, 6.80, 2.40, 2.60/ Hole[1][2]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 8.10, 8.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][3]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 10.10, 10.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][4]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 12.40, 12.80, 2.40, 2.60/ Hole[1][5]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 14.10, 14.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][6]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 16.10, 16.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][7]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 18.40, 18.80, 2.40, 2.60/ Hole[1][8]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 20.10, 20.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][9]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 22.10, 22.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][10]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 24.40, 24.80, 2.40, 2.60/ Hole[1][11]
&HOLE XB=0.4000, 0.80, 26.10, 26.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][12]

&HOLE XB=0.4000, 0.80, 28.10, 28.50, 2.40, 2.60/ Hole[1][13]
 &HOLE XB=4.00, 4.40, 15.00, 15.40, 2.40, 2.60/ Hole1[1]

&MISC REACTION='POLYURETHANE' GAUGE_TEMPERATURE=20.00
 RENDER_FILE='cabin_1a.ge1'

&OBST XB=-0.2000, 1.40, 0.00, 30.00, 2.80, 3.00 SURF_ID='fireinsulationboard'
 PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./
 ceiling_hallway
 &OBST XB=1.20, 1.40, 0.00, 14.30, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ frontwall_left_hallway
 &OBST XB=-0.2000, 0.00, 0.00, 30.00, 0.00, 2.80 SURF_ID='INERT'
 PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./
 backwall_hallway
 &OBST XB=1.20, 1.40, 16.80, 30.00, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ frontwall_right_hallway
 &OBST XB=-0.2000, 1.40, -1.20, 31.20, -0.2000, 0.00 SURF_ID='INERT'
 PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ floor_hallway
 &OBST XB=0.00, 1.20, 0.2000, 29.80, 2.40, 2.60 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='STEEL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ innerceiling_hallway
 &OBST XB=1.20, 1.40, 14.30, 16.80, 0.00, 2.80 SURF_ID='walls'
 PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ doorwall
 &OBST XB=6.00, 6.20, 15.30, 15.80, 1.70, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='walls' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ frontwall4_cabin
 &OBST XB=6.00, 6.20, 15.80, 16.80, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='walls' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ frontwall2_cabin
 &OBST XB=3.20, 6.20, 16.60, 16.80, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='walls' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ rightwall_cabin
 &OBST XB=1.40, 6.20, 14.30, 14.50, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='walls' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ leftwall_cabin
 &OBST XB=6.00, 6.20, 14.30, 15.30, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='walls' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ frontwall1_cabin
 &OBST XB=6.00, 6.20, 15.30, 15.80, 0.00, 1.00 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='walls' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ frontwall3_cabin
 &OBST XB=6.00, 6.20, 15.30, 15.80, 1.00, 1.70 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
 SURF_ID='GLASS' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
 THICKEN=.FALSE./ window
 &OBST XB=1.40, 6.00, 14.30, 16.80, -0.2000, 0.00 SURF_ID='INERT'
 PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ floor_cabin

&OBST XB=1.40, 3.20, 15.80, 16.80, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ inert_toilett
&OBST XB=1.40, 6.20, 14.50, 15.80, 2.40, 2.60 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ innerceiling1_cabin
&OBST XB=3.20, 6.20, 15.80, 16.60, 2.40, 2.60 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
SURF_ID='STEEL' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ innerceiling2_cabin
&OBST XB=1.40, 6.20, 14.30, 16.80, 2.80, 3.00 SURF_ID='fireinsulationboard'
PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ ceiling_cabin
&OBST XB=4.00, 6.00, 14.50, 15.30, 0.50, 0.70 RGB=0.00, 0.00, 0.00
SURF_IDS='brand1', 'INERT', 'INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE.
SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ bed1
&OBST XB=4.00, 6.00, 15.80, 16.60, 0.50, 0.70 RGB=0.00, 0.00, 0.00
SURF_IDS='brand2', 'INERT', 'INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE.
SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ bed2
&OBST XB=1.90, 2.70, 14.50, 15.10, 0.00, 0.2000 RGB=0.00, 0.00, 0.00
SURF_IDS='brand4', 'INERT', 'INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE.
SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ luggage1
&OBST XB=3.20, 4.00, 14.50, 15.10, 0.00, 0.2000 RGB=0.00, 0.00, 0.00
SURF_IDS='brand3', 'INERT', 'INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE.
SAWTOOTH=.TRUE. THICKEN=.FALSE./ luggage2
&OBST XB=0.00, 1.20, 29.80, 30.00, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ right
&OBST XB=0.00, 1.20, 0.00, 0.2000, 0.00, 2.80 RGB=0.2000, 0.2000, 1.00
SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ left
&OBST XB=-0.2000, 1.40, 0.00, 30.00, 3.00, 4.00 RGB=0.00, 0.00, 0.00
SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ inertbox
&OBST XB=1.40, 6.20, 14.30, 16.80, 3.00, 4.00 RGB=0.00, 0.00, 0.00
SURF_ID='INERT' PERMIT_HOLE=.TRUE. SAWTOOTH=.TRUE.
THICKEN=.FALSE./ inertbox2

&PL3D QUANTITIES='RADIANT_INTENSITY', 'visibility', 'HRRPUV',
'TEMPERATURE', 'soot density' DTSAM=5.00 WRITE_XYZ=.TRUE./

&REAC ID='POLYURETHANE' SOOT_YIELD=0.1000 NU_H2O=3.55
FUEL_N2=0.50 NU_CO2=6.30 MW_FUEL=130.30 NU_O2=7.02/

&SLCF PBX=0.60 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.60 QUANTITY='U-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.60 QUANTITY='V-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.60 QUANTITY='W-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=1.20 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=1.20 QUANTITY='U-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=1.20 QUANTITY='V-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=1.20 QUANTITY='W-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./

```
&SLCF PBX=0.00 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.00 QUANTITY='U-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.00 QUANTITY='V-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.00 QUANTITY='W-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=30.00 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=30.00 QUANTITY='U-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=30.00 QUANTITY='V-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=30.00 QUANTITY='W-VELOCITY' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=0.60 QUANTITY='visibility' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=15.50 QUANTITY='visibility' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=1.20 QUANTITY='visibility' VECTOR=.TRUE./
&SLCF PBX=15.50 QUANTITY='TEMPERATURE' VECTOR=.TRUE./

&SURF ID='walls' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000 KS=0.2750 WALL_POINTS=20
C_P=0.70 EMISSIVITY=0.90 DENSITY=845.00 DELTA=0.1000/
&SURF ID='brand2' RGB=0.53, 0.3800, 0.3500 TEXTURE_MAP='psm_brown.jpg'
TEXTURE_WIDTH=1.00 TEXTURE_HEIGHT=1.00 POROSITY=0.00
HRRPUA=284.00 FUEL_FRACTION=1.00 E_COEFFICIENT=0.00
HEAT_OF_COMBUSTION=3.000000E004 RAMP_Q='RAMP_Q_brand2'/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=0.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=128.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=258.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=334.00 F=3.719620E-004/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=382.00 F=0.1317/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=417.00 F=0.1584/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=458.00 F=0.2493/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=491.00 F=0.4689/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=569.00 F=1.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=599.00 F=0.95/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=727.00 F=0.71/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=934.00 F=0.4248/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.151000E003 F=0.1843/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.353000E003 F=0.0308/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.561000E003 F=2.940828E-003/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.757000E003 F=4.233330E-004/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.776000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.833000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=1.950000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand2' T=2.060000E003 F=0.00/
&SURF ID='GLASS' RGB=1.00, 1.00, 0.75 KS=0.76 BACKING='EXPOSED'
WALL_POINTS=20 C_P=0.84 EMISSIVITY=0.90 DENSITY=2.700000E003
DELTA=4.000000E-003/
&SURF ID='STEEL' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000 C_DELTA_RHO=20.00
EMISSIVITY=0.90 DELTA=2.000000E-003/
&SURF ID='brand4' RGB=0.53, 0.3800, 0.3500 TEXTURE_MAP='psm_brown.jpg'
TEXTURE_WIDTH=1.00 TEXTURE_HEIGHT=1.00 POROSITY=0.00
HRRPUA=1.050000E003 FUEL_FRACTION=1.00 E_COEFFICIENT=0.00
HEAT_OF_COMBUSTION=3.000000E004 RAMP_Q='RAMP_Q_brand4'/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=0.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=128.00 F=0.00/
```

&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=258.00 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=334.00 F=3.968000E-003/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=382.00 F=0.1786/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=417.00 F=0.52/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=458.00 F=0.81/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=491.00 F=1.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=569.00 F=0.94/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=599.00 F=0.76/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=727.00 F=0.65/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=934.00 F=0.52/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.151000E003 F=0.3452/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.353000E003 F=0.2421/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.561000E003 F=0.1865/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.757000E003 F=0.1329/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.776000E003 F=0.1250/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.833000E003 F=0.1151/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=1.950000E003 F=0.0218/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand4' T=2.060000E003 F=7.937000E-003/
&SURF ID='fireinsulationboard' RGB=0.2000, 0.2000, 0.2000 KS=0.0700
WALL_POINTS=20 C_P=0.70 EMISSIVITY=0.90 DENSITY=400.00
DELTA=0.0300/
&SURF ID='brand1' RGB=0.53, 0.3800, 0.3500 TEXTURE_MAP='psm_brown.jpg'
TEXTURE_WIDTH=1.00 TEXTURE_HEIGHT=1.00 POROSITY=0.00
HRRPUA=284.00 FUEL_FRACTION=1.00 E_COEFFICIENT=0.00
HEAT_OF_COMBUSTION=3.000000E004 RAMP_Q='RAMP_Q_brand1'/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=0.00 F=3.719620E-004/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=128.00 F=0.1317/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=258.00 F=0.1584/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=334.00 F=0.2493/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=382.00 F=0.4689/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=417.00 F=1.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=458.00 F=0.95/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=491.00 F=0.71/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=569.00 F=0.4248/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=599.00 F=0.1843/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=727.00 F=0.0308/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=934.00 F=2.940828E-003/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.151000E003 F=4.233330E-004/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.353000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.561000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.757000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.776000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.833000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=1.950000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand1' T=2.060000E003 F=0.00/
&SURF ID='brand3' RGB=0.53, 0.3800, 0.3500 TEXTURE_MAP='psm_brown.jpg'
TEXTURE_WIDTH=1.00 TEXTURE_HEIGHT=1.00 POROSITY=0.00
HRRPUA=1.050000E003 FUEL_FRACTION=1.00 E_COEFFICIENT=0.00
HEAT_OF_COMBUSTION=3.000000E004 RAMP_Q='RAMP_Q_brand3'/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=0.00 F=0.00/

&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=128.00 F=3.968000E-003/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=258.00 F=0.1786/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=334.00 F=0.52/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=382.00 F=0.81/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=417.00 F=1.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=458.00 F=0.94/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=491.00 F=0.76/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=569.00 F=0.65/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=599.00 F=0.52/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=727.00 F=0.3452/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=934.00 F=0.2421/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.151000E003 F=0.1865/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.353000E003 F=0.1329/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.561000E003 F=0.1250/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.757000E003 F=0.1151/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.776000E003 F=0.0218/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.833000E003 F=7.937000E-003/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=1.950000E003 F=0.00/
&RAMP ID='RAMP_Q_brand3' T=2.060000E003 F=0.00/

&THCP XYZ=5.70, 15.50, 0.2000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='1'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 0.4000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='2'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 0.60 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='3'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 0.80 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='4'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 1.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='5'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 1.20 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='6'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 1.40 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='7'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 1.60 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='8'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 1.80 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='9'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='10'/
&THCP XYZ=5.70, 15.50, 2.20 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='11'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 0.2000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='12'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 0.4000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='13'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 0.60 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='14'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 0.80 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='15'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 1.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='16'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 1.20 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='17'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 1.40 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='18'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 1.60 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='19'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 1.80 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='20'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='21'/
&THCP XYZ=1.50, 15.00, 2.20 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='22'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 0.2000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='23'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 0.4000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='24'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 0.60 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='25'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 0.80 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='26'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 1.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='27'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 1.20 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='28'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 1.40 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='29'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 1.60 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='30'/

&THCP XYZ=1.10, 15.00, 1.80 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='31'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 2.00 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='32'/
&THCP XYZ=1.10, 15.00, 2.20 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='33'/
&THCP XYZ=4.40, 15.50, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='34'/
&THCP XYZ=0.60, 3.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='35'/
&THCP XYZ=0.60, 6.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='36'/
&THCP XYZ=0.60, 9.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='37'/
&THCP XYZ=0.60, 12.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='38'/
&THCP XYZ=0.60, 15.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='39'/
&THCP XYZ=0.60, 18.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='40'/
&THCP XYZ=0.60, 21.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='41'/
&THCP XYZ=0.60, 24.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='42'/
&THCP XYZ=0.60, 27.00, 2.30 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='43'/
&THCP XYZ=0.60, 3.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='44'/
&THCP XYZ=0.60, 3.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='45'/
&THCP XYZ=0.60, 3.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='46'/
&THCP XYZ=0.60, 3.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='47'/
&THCP XYZ=0.60, 3.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='48'/
&THCP XYZ=0.60, 6.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='49'/
&THCP XYZ=0.60, 6.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='50'/
&THCP XYZ=0.60, 6.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='51'/
&THCP XYZ=0.60, 6.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='52'/
&THCP XYZ=0.60, 6.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='53'/
&THCP XYZ=0.60, 9.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='54'/
&THCP XYZ=0.60, 9.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='55'/
&THCP XYZ=0.60, 9.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='56'/
&THCP XYZ=0.60, 9.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='57'/
&THCP XYZ=0.60, 9.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='58'/
&THCP XYZ=0.60, 12.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='59'/
&THCP XYZ=0.60, 12.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='60'/
&THCP XYZ=0.60, 12.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='61'/
&THCP XYZ=0.60, 12.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='62'/
&THCP XYZ=0.60, 12.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='63'/
&THCP XYZ=0.60, 15.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='64'/
&THCP XYZ=0.60, 15.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='65'/
&THCP XYZ=0.60, 15.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='66'/
&THCP XYZ=0.60, 15.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='67'/
&THCP XYZ=0.60, 15.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='68'/
&THCP XYZ=0.60, 18.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='69'/
&THCP XYZ=0.60, 18.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='70'/
&THCP XYZ=0.60, 18.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='71'/
&THCP XYZ=0.60, 18.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='72'/
&THCP XYZ=0.60, 18.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='73'/
&THCP XYZ=0.60, 21.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='74'/
&THCP XYZ=0.60, 21.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='75'/
&THCP XYZ=0.60, 21.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='76'/
&THCP XYZ=0.60, 21.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='77'/
&THCP XYZ=0.60, 21.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='78'/
&THCP XYZ=0.60, 24.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='79'/
&THCP XYZ=0.60, 24.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='80'/

&THCP XYZ=0.60, 24.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='81'/
&THCP XYZ=0.60, 24.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='82'/
&THCP XYZ=0.60, 24.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='83'/
&THCP XYZ=0.60, 27.00, 1.90 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='84'/
&THCP XYZ=0.60, 27.00, 1.50 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='85'/
&THCP XYZ=0.60, 27.00, 1.10 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='86'/
&THCP XYZ=0.60, 27.00, 0.70 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='87'/
&THCP XYZ=0.60, 27.00, 0.3000 QUANTITY='TEMPERATURE' LABEL='88'/

&TIME TWFIN=600.00/

&VENT XB=-0.2000, -0.2000, -1.20, 0.00, -0.2000, 4.00 SURF_ID='OPEN'/ Vent
&VENT XB=-0.2000, 1.40, -1.20, -1.20, -0.2000, 4.00 SURF_ID='OPEN'
RGB=0.2000, 0.80, 1.00/ Vent
&VENT XB=-0.2000, 1.40, -1.20, 0.00, 4.00, 4.00 SURF_ID='OPEN'/ Vent
&VENT XB=1.40, 1.40, -1.20, 0.00, 0.00, 4.00 SURF_ID='OPEN' RGB=0.2000,
0.2000, 1.00/ Vent
&VENT XB=1.40, 1.40, 30.00, 31.20, 0.00, 4.00 SURF_ID='OPEN' RGB=0.2000,
0.2000, 1.00/ Vent
&VENT XB=-0.2000, -0.2000, 30.00, 31.20, 0.00, 4.00 SURF_ID='OPEN'/ Vent
&VENT XB=-0.2000, 1.40, 31.20, 31.20, 0.00, 4.00 SURF_ID='OPEN' RGB=0.2000,
0.2000, 1.00/ Vent
&VENT XB=-0.2000, 1.40, 30.00, 31.20, 4.00, 4.00 SURF_ID='OPEN'/ Vent