



**Lunds Universitet
Institutionen för brandteknik
Lunds Tekniska Högskola**

Konsekvensanalys

av



Segeanläggningen

Magdalena Larsson
Kent Nilsson

1999

Institutionen för brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute Of Technology
Box 118
S-221 00 Lund

Konsekvensanalys av Akzo Nobel, Segeanläggningen Consequence analysis of Akzo Nobel, Sege compound

av
Magdalena Larsson
Kent Nilsson

Våren 1999

Abstract: A risk analysis of the coatings manufacturer Akzo Nobel in Sege, Malmö, was carried out in 1996. This consequence analysis has been made from the resulting seven worst case scenarios in the risk analysis. The scenarios have been analyzed regarding temperature, smoke layer height, RHR, and oxygen concentration. Comparison has been made with the industrial fire department's and Malmö fire department's response time to the object. The environmental consequences have been briefly investigated.

Keywords: consequence analysis, industrial coatings, industrial fire department, environmental hazards

Förord

Detta arbete har gjorts som en del av Brandingenjörsutbildningen vid LTH, i kursen PBR (Problembaserad Brandteknisk Riskhantering) under hösten 1998 och våren 1999.

Vi vill rikta ett stort tack till

Björn Karlsson och Berit Andersson, våra handledare på LTH
Christer Holmberg, Industriräddningschef på Akzo Nobel
Eivor Hansson, sekreterare på Akzo Nobel
Övriga på Akzo Nobel som har varit oss till stor hjälp
Sven Bengtsson, Industriräddningschef på Korsnäs pappersbruk.
Räddningstjänsten Dala-Mitt
Grycksbo Pappersbruk
Sven-Ingvar Granemark, Brandlaboratorieansvarig på LTH
Malmö Brandkår
Sveriges Provnings och Forskningsinstitut i Borås

utan vars hjälp arbetet med detta projekt varit, om inte omöjligt, så i alla fall mycket svårare.

Lund i april 1999

Magdalena Larsson

Kent Nilsson

Sammanfattning

Akzo Nobel är en internationell koncern som arbetar främst med kemi, färg, fibrer och läkemedel. På Sege industriområde i norra Malmö ligger Akzo Nobels stora svenska färgfabrik för tillverkning av industri- och butiksfärger. Sju dimensionerande brandscenarier har valts ut efter en riskanalys genomförd under 1996 /14/. Konsekvensanalysen behandlar de utvalda scenarierna med avseende på främst brandförlopp och brandspridning. Då en viktig parameter i brändernas utveckling är räddningstjänsternas insatser har även dessa beaktats. Vid den här typen av stora bränder är effekterna på miljön kännbara, inte bara på grund av materialet som brinner utan även beroende på släckinsatsens inriktning och val av släckmedel.

De ingenjörswerktyg som finns tillgängliga idag är inte dimensionerade för att kunna hantera bränder av den omfattning som kan uppstå på Segeanläggningen. Resultaten som presenteras här ger dock en uppfattning om hur ett brandförlopp kan utvecklas och vilka konsekvenserna kan bli.

Det scenario i Norregatan och Tankanläggningen (scenario 4) som analyserats ger mycket allvarliga konsekvenser och kan leda till en totalskada på Tankanläggningen och närliggande byggnader. Här bör åtgärder vidtas för att öka säkerheten, exempelvis i form av kylande sprinkler eller tilläggsisolering för att hindra att den höga omgivande flamtemperaturen antänder vätskan i tanken. Även scenariot i Färdigvarulagret (scenario 7) kan leda till stora skador. De åtgärder i form av sprinkler som skulle kunna ge effekt här är dock kostsamma och kommer troligtvis endast att begränsa, inte släcka, branden. Taket i lagret är utfört i lättbetong och erfarenheter visar att detta har en begränsad bärighet varför en släckinsats kan vara ytterst riskfylld om branden inte på ett tidigt stadium begränsats av sprinkler. Man kan alltså i detta fall inte enbart förlita sig på räddningstjänstens insatsmöjligheter.

Alla analyserade scenarion visar med tydlighet på vikten av att minska poolytan vid vätskebränder och att minimera risken för följdbränder genom att minska mängden lagrat material i produktionslokaler. Framför allt bör lagring av nitrocellulosa och andra svårsläckta substanser ske i så liten utstäckning som möjligt i lokaler som inte är avsedda därför.

Då insatstiden för den kommunala räddningstjänsten är lång är industribrandkårens insatser av stor vikt. Ett snabbt ingripande är en förutsättning för minska konsekvenserna och förhindra att en storbrand uppstår.

Summary

Akzo Nobel is an international company working mainly with chemistry, coatings, fibers and healthcare products. Akzo Nobel's Swedish coating factory is located in Malmö's northern industrial area, the Sege. Seven fire scenarios in the factory have been chosen from a risk analysis produced in 1996 /14/. This consequence analysis focuses on the fire dynamics and fire spread. An important issue in determining the consequences of the fire is the response time of the city and the industrial fire departments. In order to make comparison between the fire growth and the fire departments response times, the resources of the fire departments have been investigated. These large scale fires also have notable effects on the environment, depending not only of the burning material but also on the extinguishing media which was also incorporated into the research.

The engineering tools that are available today are not developed to analyze this kind of large scale fires. The results presented in this report must therefore be used to get an impression of a possible development of a large scale fire.

The scenario in Norregatan (scenario 4) can get very serious and result in large damage. It is necessary to increase the safety level, for example by installing cooling sprinklers or isolating the tanks in order to avoid the high flame temperature which would result due to an ignition of the vapor in the tank. The scenario in the warehouse can also lead to large damage. It is difficult to find an active system to extinguish the fire but a sprinkler can limit the consequences and make an effort of the fire department possible.

All analyzed scenarios shows the importance of limiting the pool area in a fluid fire and to reduce the risk of another fire starting as a result of flame spread or radiation from the initial fire. Another important measure to lower the risk of fire spread is minimizing the amount of flammable products stored in the production areas.

Because of the response time of the city fire department, the effort of the industrial fire department is of great importance. A fast response is essential to limit the consequences and prevent the scenario from becoming a large scale fire.

Innehållsförteckning

FÖRORD	
SAMMANFATTNING	
SUMMARY	
1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 SYFTE.....	1
1.3 METOD	1
1.4 AVGRÄNSNINGAR.....	1
1.5 ÖVERSIKT AV RAPPORTEN	1
2. OBJEKTSBESKRIVNING	3
3. ANALYS	4
3.1 SCENARIO 1 (FÄRGUTSLÄPP B.27).....	4
3.1.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	4
3.1.2 <i>Resultat</i>	4
3.1.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	5
3.2. SCENARIO 2 (SLANGVÄXEL B. 28).....	5
3.2.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	5
3.2.2 <i>Resultat</i>	6
3.2.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	6
3.3 SCENARIO 3 (TRANSPORTGÅNG)	7
3.3.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	7
3.3.2 <i>Resultat</i>	7
3.3.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	8
3.4 SCENARIO 4 (NORREGATAN)	8
3.4.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	8
3.4.2 <i>Resultat</i>	8
3.4.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	9
3.5 SCENARIO 5 (ALKYDKOK).....	9
3.5.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	9
3.5.2 <i>Resultat</i>	10
3.5.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	10
3.6 SCENARIO 6 (DUNKFYLLNING B.30).....	11
3.6.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	11
3.6.2 <i>Resultat</i>	11
3.6.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	12
3.7 SCENARIO 7 (LAGER)	12
3.7.1 <i>Beskrivning av scenario</i>	12
3.7.2 <i>Resultat</i>	12
3.7.3 <i>Förslag till åtgärder</i>	13
4. BESKRIVNING AV RÄDDNINGSTJÄNSTENS RESURSER	14
4.1 INDUSTRIBRANDKÅREN	14
4.1.1 <i>Allmän beskrivning</i>	14
4.1.2 <i>Utryckningsstatistik för industribrandkåren</i>	15
4.2 KOMMUNALA RÄDDNINGSTJÄNSTEN	15
4.2.1 <i>Automatlarm</i>	15
4.2.2 <i>Konstaterad brand</i>	15
4.3 SAFIR.....	16
5. MILJÖPÅVERKAN OCH TOXICITET VID BRAND	17

6. DISKUSSION	19
7. SLUTSATS.....	20
8. ORDLISTA	21
9. REFERENSER	22

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Akzo Nobel är en internationell koncern som arbetar främst med kemi, färg, fibrer och läkemedel. På Sege industriområde i norra Malmö ligger Akzo Nobels stora svenska färgfabrik för tillverkning av industri- och butiksfärger. Denna anläggning ska analyseras i följande rapport. Efter 1996 och 1997 års skyddsarbete och som ett led i uppstarten av §43-arbetet inom Segeanläggningen har sju olika brandscenarier valts ut av Akzo Nobel och Malmö Brandkår för vidare analys. De sju scenarierna anses som dimensionerande och har valts ut efter den riskanalys som genomförts under 1996 /14/. Konsekvensanalysen skall behandla de utvalda scenarierna med avseende på främst brandförlopp och brandspridning. Då en viktig parameter i brändernas utveckling är räddningstjänsternas insatser kommer även dessa att beaktas.

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att undersöka brandförlopp och brandspridning vid Akzo Nobels industrianläggning för att skapa ett underlag till långsiktig planering av säkerhetshöjande åtgärder inom anläggningen. Utvärdering skulle också göras av industribrandkårens resurser och personal vid olika tidpunkter på dygnet.

1.3 Metod

För analys av brandförloppen har i huvudsak datorprogrammet HAZARDI (se appendix B) använts, baserat på effektutvecklingar som beräknats med vedertagna ingenjörsmetoder. En antal småskaleförsök har gjorts för att bestämma okända parametrar. Räddningstjänsternas resurser har undersökts via intervjuer och studier av det material som finns upprättat hos Akzo Nobel och den kommunala räddningstjänsten.

1.4 Avgränsningar

Rapporten begränsas till de i förväg utvalda scenarierna. Inga beräkningar har gjorts på personsäkerhet eller utrymning inom anläggningen. I rapporten görs inga beräkningar på sannolikheter för att de olika scenarierna skall inträffa, då detta redan har behandlats i riskanalysen. De begränsningar som finns i datorprogrammet HAZARDI beskrivs närmare i appendix B. Då persontätheten i lokalerna är låg och personalen antas ha god lokalkännedom har inga utrymningsberäkningar utförts.

1.5 Översikt av rapporten

- Kap 2. Objektsbeskrivning
I detta kapitel finns en allmän beskrivning av koncernen Akzo Nobel, dess organisation och verksamhet. Här beskrivs också verksamheten vid den aktuella anläggningen och i stort hur anläggningen är uppbyggd.
- Kap 3. Analys
Detta kapitel är uppdelat i sju underkapitel, ett för varje scenario som rapporten behandlar. Varje underkapitel innehåller sedan:
 - Beskrivning av scenariot – *Lokalernas geometri och utförande och initierande händelseförlopp.*
 - Resultat – *Resultat av beräkningar och analyser.*
 - Förslag till åtgärder – *Förslag till förbättringar som kan begränsa skadans omfattning.*

- Kap 4. Beskrivning av räddningstjänstens resurser
I kapitel 4.1 redovisas vilka resurser Akzo Nobels egen industribrandkår har, samt vilken tillgång på personal som finns vid olika tider på dygnet.
I kapitel 4.2 redovisas vilka resurser som finns tillgängliga vid den kommunala räddningstjänsten i Malmö.
I kapitel 4.3 beskrivs samarbetsorganisationen SAFIR kortfattat.
- Kap 5. Miljöpåverkan och toxicitet vid brand
I detta kapitel redovisas vilka miljöeffekter brandgaser och utsläpp kan ge. Här beskrivs också översiktligt vad dessa brandgaser kan innehålla och vilken påverkan dessa gaser kan ha på exponerade människor och miljö.
- Kap 6. Diskussion
Här diskuteras allmänna slutsatser som dragits under arbetet med denna analys.
- Kap 7. Slutsats
Här dras slutsatser av arbetets framtagna resultat.
- Kap 8. Ordlista
Här förklaras vissa ord och förkortningar för att ge lekmannen möjlighet att tillgodogöra sig rapporten på ett bra sätt.
- Appendix.
Här finns ritningar, beräkningar och beräkningsmodeller.

2. Objektsbeskrivning

Akzo Nobel är en världsomfattande koncern med flera olika verksamhetsområden. Akzo Nobel bildades 1994 genom att holländska Akzo förvärvade Nobel Industrier /4/. Akzo Nobel bedriver sin verksamhet genom 26 självständiga business units som rapporterar direkt till koncernledningen, Board of Management.

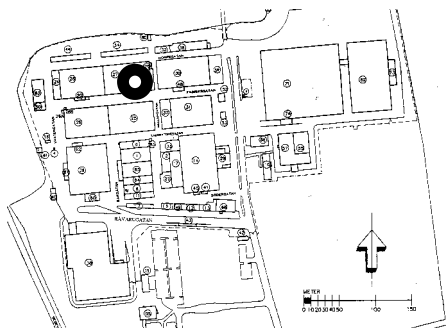
Akzo Nobel har fyra rörelsegrenar: Läkemedel, Färg, Kemi och Fibrer. Akzo Nobel är världens största färgtillverkare. Sedan 1994 är färgtillverkarna Nordsjö och Casco en del av Akzo Nobel-koncernen och affärsområde Decorative Coatings North. Affärsområdet utvecklar, producerar och säljer färg, lim, lack, spackel, fogmassor och tillbehör till yrkeshantverkare och gör-det-själv-marknaderna i norra och östra Europa. Huvudkontoret ligger i Nacka och ca 700 personer arbetar inom Decorative Coatings. I Sege utanför Malmö utvecklas och tillverkas färg, lack och spackel, medan lim och fogmassor utvecklas vid laboratoriet i Nacka och tillverkas i Kristinehamn. Ungefär hälften av allt som Decorative Coatings producerar, levereras till systerbolag inom affärsområdet. Omvänt tillverkar också systerbolagen produkter för Decorative Coatings räkning.

Decorative Coatings har huvudkontor och tillverkning i Sege i Malmö. Anläggningen delas med Akzo Nobel Industrial Coatings som tillverkar färger och lacker för industribruk. Fysisk sett finns en fabrik, men ansvaret ligger alltså hos två olika företag. Ca 600 personer arbetar på Sege-anläggningen. Anläggningen består av flera olika byggnader (se appendix A.0) utspridda på 270 000 m². Några är byggda så tidigt som på 40-talet, andra precis nyproducerade. De flesta byggnaderna består till stor del av betong. Bryggplan i oskyddat stålgaller eller durkplåt förekommer i flera byggnader. Lokalerna är invallade med lutande golv men i övrigt saknas invallningar runt mindre cisterner och tankar.

Affärsområdet Decorative Coatings tillverkar huvudsakligen vattenbaserade färger, men Industrial Coatings använder stora mängder lösningsmedel för färg- och lacktillverkningen. Detta medför att brandbelastningen är mycket hög. Anläggningen utgör Malmös absolut största så kallade §43-objekt. Man är medveten om den höga riskbilden och säkerhetsarbetet tas på stort allvar från såväl ledning som personal och säkerhetsrutinerna är väl inarbetade. En stor industribrandkår finns och man har ett gott samarbete med den kommunala räddningstjänsten.

3. Analys

3.1 Scenario 1 (Färgutsläpp b.27)



3.1.1 Beskrivning av scenario

Byggnad 27 (Metall och plast storsats), södra brandcellen (se appendix A.1):

Brandcellen består av två plan, på vardera ca $60 \times 20 \text{ m}^2$, sammanbundna med ett öppet trappschakt $10 \times 5 \text{ m}$, golv och väggar av betong. Mellanbjälklaget är utfört i durkplåt. Takhöjden är 2,9 m. Rökluckornas sammanlagda area är 22 m^2 och de öppnas med smältbleck. I brandcellen finns ett tjugotal cisterner. Cisternerna sticker upp ca 1 meter över golvet på övre plan, de fylls på från övre våningsplanet och tappas ur bottenventilen på nedre plan. En cisternventil till en 5 000 liters-cistern antas köras på av t.ex. en truck och går av i fogen till själva cisternen. Ett skarpkantat hål ca 15 cm i diameter uppstår i cisternens botten. Cisternen är 2 m hög och har diametern 1,80 m. Den antas vara helt fylld med färg av typen IT-60 vit produktnummer 45601, en syntetisk lackfärg med bindemedlet alkylid och lösningsmedlen lacknafta och xylen. Cisternen är inte invallad, men färgens viskositet gör att den inte momentant flyter ut över hela golvytan. Antändning antas ske direkt i anslutning till påkörningen.

3.1.2 Resultat

Två faktorer i detta scenario har stor inverkan på resultatet, poolstorleken och lokalens takhöjd. Om antändning sker momentant eller efter några få sekunder är möjligheterna att stoppa eller begränsa utflödet mycket små. Detta leder till att färgpoolen blir maximalt stor. Då färgens viskositet är hög är det rimligt att anta att poolen inte kommer att uppta hela golvarean, så som skulle varit fallet om något mer lättflytande ämne släppts ut, utan begränsas till en skiktjocklek på ca 2 cm. Detta motsvarar poolarean 250 m^2 . Avbrinningstiden har bestämts genom empiriska försök (se appendix J) till ca 150 g/min. sot- och askbildning är stor varför man kan dra slutsatsen att poolstorleken inte kommer att nå full storlek då spridningen hindras av utbrunna rester. En ca 200 m^2 stor pool utvecklar effekten 140 MW. På grund av de begränsningar i effektutveckling och flamhöjd som HAZARDI modellen har (se appendix B) kan en så stor pool inte simuleras. För att få en uppfattning om de konsekvenser ett brandscenario skulle få simuleras en mindre pool med maxeffekten 60 MW. Rökluckornas sammanlagda area är 22 m^2 och de öppnas med smältbleck. Redan med denna mindre pool erhålls fatala konsekvenser. Temperaturen i brandgaslagret uppgår till ca 550 °C efter ca tre minuter och höjden över golvet är mindre än 0,5 meter. Risken är då mycket stor för en övertändning i lokalen.

Om räddningstjänsten öppnar en truckport då de kommer på plats efter ca fem minuter kommer brandgaslagret att stiga till ca en meter över golvet och temperaturen sjunker ca femtio grader.

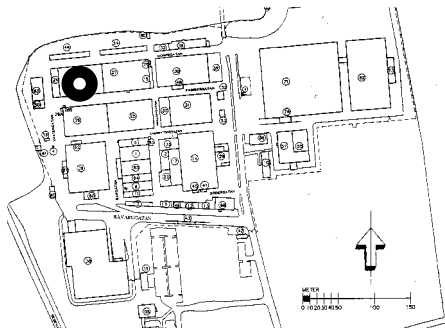
Temperaturen närmar sig alltså fortfarande övertändningstemperatur varför denna åtgärd inte nämnvärt förbättrar scenariot.

I detta scenario når flammorna taket mycket snabbt, vilket gör att modellen inte är hundra procentigt giltig. Någon tvåzonsskiktning kommer inte att uppstå. När flammorna når taket kommer de att spridas horisontellt och sedan vända ner mot golvet igen, vilket medför snabbare spridning och kraftigare brandförlopp. En insats kommer att omöjliggöras helt och en övertändning kan förväntas uppstå. Den låga takhöjden gör att redan flammor från en brand i en pool på drygt 3 m² slår i taket och ger detta scenario. Det är lätt att inse att en åttio gånger större pool, det vill säga 250 m², skulle få förödande konsekvenser.

3.1.3 Förslag till åtgärder

Den viktiga faktor, som är påverkbar i detta fall, är poolstorleken. Åtgärder bör därför vidtas för att minska poolens utbredning. Detta kan ske med hjälp av invallning av varje enskild cistern eller av hela cisternparken exempelvis i kombination med gallerförsedda golvbrunnar. Om detta inte är möjligt exempelvis på grund av åtkomlighet för truck och liknande kan enbart golvbrunnar användas. Dessa måste då ha tillräckligt hög kapacitet för att förhindra utbredning av poolen. En annan tänkbar åtgärd är att sätta någon form av backventil på cisternen liknande de som finns på tankbilar. Detta kan dock bli något kostsamt.

3.2. Scenario 2 (Slangväxel b. 28)



3.2.1 Beskrivning av scenario

Byggnad 28 (Metall och plast småsats), södra brandcellen (se appendix A.1):

Brandcellen är i ett plan, ca 60×20 m², med kontor belägna på ett entresolplan. Väggar och tak är av betong. Rökluckornas area är 18 m² och de öppnas via smältbleck. I brandcellen lagras en mindre mängd plåtemballage innehållande brandfarlig vara. Här bearbetas färgerna med avseende på bl.a. viskositet och detta medför att små kvantiteter av flera olika brandklassade varor finns i omlopp i lokalen. De färger som ska justeras finns i kar om ca 1000 l. Mängden tillsatt vara mäts med hjälp av en våg på vilken karet placeras. Lösningemedel eller bindemedel tas från tankar i Tankanläggningen. När brandlarmet går stängs alla pumpar av automatiskt. 1994 inträffade en brand vid viskositetsjustering med toluen. Tur i oturen vid denna händelse var att den mängd toluen som hann pumpas ut innan brandlarmet gick rann ner i våggropen. Branden begränsades alltså väsentligt.

Detta scenario ska analysera vad som kunde hänt 1994 om lösningemedlet runnit ut på golvet och en poolbrand hade uppstått.

3.2.2 Resultat

Effektutvecklingen kommer initialt att bli stor på grund av utsläppet från slangväxeln. Avbrinnningstiden för toluen är dock kort varför poolen brinner ut snabbt efter att utsläppet stoppats. Därefter återstår endast branden från karet och eventuella bränder som uppstått som följd av initialbranden. Även i detta fall medför HAZARDIs begränsningar att den maximala effekten som kan simuleras är 60 MW. Den faktiska effektutvecklingen kommer att bli större. I simuleringarna antas att den rökdetektorstyrda avstängningen slår till efter ca en halv minut, därefter kommer alltså effekten att avta. En känslighetsanalys visar att den tiden inte har så stor inverkan på den situation som kommer att möta räddningspersonalen efter ca fem minuter. Den tiden är dock av betydelse för att bedöma hur omfattande eventuella följdbränder blir. De brännbara vätskor som förvaras i ställage i anslutning till slangväxeln har plåtemballage. Storskaleförsök /5/ visar att dessa kärl motstår brandpåverkan bra. Det finns därför ingen anledning att anta att antändning av dessa vätskor ska ske under det korta förlopp då de är direkt påverkade. Mindre bränder som kan uppstå i lastpallar och liknande bör dock släckas snarast möjligt.

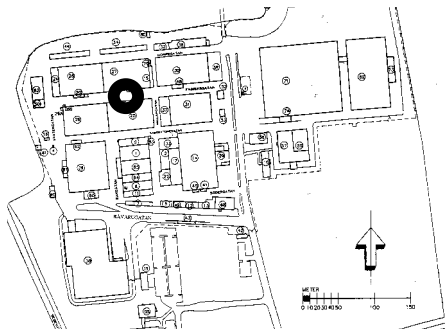
Simuleringarna visar att lokalen kommer att rökfyllas till golvnivå på ca en och en halv minut. Temperaturen i detta brandgaslager kommer att vara strax över 100 °C efter fem minuter, då räddningstjänsten kan förväntas påbörja en insats. Det krävs här att någon dörr öppnas för att brandgaslagret skall kunna ventileras ut. I detta scenario antas att räddningstjänsten öppnar en port efter ca fem minuter. Brandgaslagret kommer då att stiga till ca 3,5 m över golvet vilket möjliggör en släckinsats i brandrummet.

3.2.3 Förslag till åtgärder

Det här scenariot leder till stora skador men utgör ändå en för räddningstjänsten hanterbar situation. Det är naturligtvis inget som ska hindra fortsatt säkerhetsarbete. En brand som denna kan troligtvis bekämpas men sanering och återställning kan bli kostsamma och orsaka produktionsavbrott.

Här är det viktigt att lagra material med eftertanke. Omfattningen av eventuella följdbränder är avgörande för hur stor skadan kommer att bli. De färgkar som väntar på bearbetning bör täckas över på ett tätare sätt för att förhindra att färgen antänds. Lagring i plastemballage eller öppna (halvöppna) kärl bör undvikas, likaså lagring av annat brännbart material såsom träpallar eller papp.

3.3 Scenario 3 (Transportgång)



3.3.1 Beskrivning av scenario

Fabriksgatan mellan byggnad 25 och 27 utanför transportgången (se appendix A.0):

För att förhindra regnstänk och liknande på känsliga plåtemballage har Fabriksgatan och Laboratoriegatan byggts över med plasttak. Taket i Fabriksgatan består av trådarmerad esterplast på takstolar av stål. Takhöjden uppskattas till 5,3 m vilket är ett medelvärde då taket är ett låglutande sadeltak. Gatans bredd är 15 meter och avståndet mellan brunnarna är 20 m. I gatan förvaras mindre mängder tomma emballage och lastpallar. En truck antas tappa en 1000 l-container fylld med brandfarlig vara klass 1 (ex. toluen eller etylacetat). Poolstorleken begränsas av gatans fria bredd och brunnsavståndet till $10 \times 20 \text{ m}^2$. Antändning antas ske några sekunder efter haveriet då poolen uppnått maximal storlek.

3.3.2 Resultat

I detta scenario visar beräkningarna att effektutvecklingen initialt blir mycket stor, ca 550 MW. Poolens storlek kommer av gatans fria bredd och avståndet mellan dagvattenbrunnarna att begränsas till ca 200 m^2 , detta ger ett vätskedjup på ca 5 mm. Den höga avbrinningshastigheten för toluen medför att poolbranden kommer att brinna ut på drygt en minut. Detta innebär att poolbranden i sig inte är det som industribrandkåren får inrikta sig på utan eventuella följdbränder från denna.

Begränsningarna i HAZARDI (se appendix B) gör att modellen ej är hundra procentigt giltig i detta fall, utan simuleringarna ger en uppfattning av de effekter ett brandförlopp ger.

I detta scenario är det långa inträngningsvägar varför det är intressant att se hur stor strålningspåverkan räddningsstyrkan kommer att utsättas för. Detta beror till stor del på om taket brinner igenom och brandgaserna på detta sätt kommer att ventileras ut. Taket består av trådarmerad esterplast som antänds vid ca $300 \text{ }^\circ\text{C}$, och flamtemperaturen från poolbranden är ca $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Taket kommer därför sannolikt att antändas. Enligt /7/ brinner denna typ av plast utan att plasten smälter. Lågorna beräknas vid en fritt brinnande pool bli ca 30 m höga. Takhöjden i lokalen är 5,3 m, varför det kan antas att taket kommer att antändas och brinna igenom i ett tidigt skede av brandförloppet. Simuleringar i HAZARDI ger brandgastemperaturer på maximalt $350 \text{ }^\circ\text{C}$ och en höjd över golvet på som lägst ca 2 m om taket är intakt. Om det antas att taket brinner igenom efter ca en minut erhålls samma maximala temperatur i brandgaslagret men den avtar snabbare. Brandgaslagret sjunker som lägst till 3 m. Efter ca fem minuter när industribrandkåren kan antas påbörja sin insats har brandgastemperaturen sjunkit under $100 \text{ }^\circ\text{C}$ och strålningsnivå är därmed låg. Höjden över golvet är ca 4,5 m. Vid denna tidpunkt visar simuleringarna ingen skillnad beroende på om taket varit intakt eller ej. Räddningstjänsten har därmed goda möjligheter att göra en insats. Vid räddningstjänstens ankomst kan det antas att branden är begränsad till de i transportgången lagrade emballagen och lastpallarna samt till delar av plasttaket.

3.3.3 Förslag till åtgärder

Den viktigaste åtgärden i detta scenario är att minimera lagerhållningen av brännbara produkter under taket. Särskilt viktigt är det att brännbart material inte lagras invid väggarna till omgivande byggnader. En annan åtgärd för att förhindra brandspridning in i byggnaderna är att se till att dörrar och fönster är täta och brandbeständiga.

3.4 Scenario 4 (Norregatan)



3.4.1 Beskrivning av scenario

Norregatan, lossningsplats vid tankanläggning 34 (se appendix A.0):

Tankanläggningen består av 32 tankar innehållande 25 m^3 vardera, mestadels lösningsmedel. Tankarna står med ca 0,7 m avstånd till varandra i en invallning. Materialet är 4 mm tjock betad plåt och tankarna är inte trycksatta. Gatans bredd är 11 m och avståndet mellan dagvattenbrunnarna är 20 m. Ett slangbrott antas uppstå när tank nummer 6 ska fyllas med toluen från tankbil. Bilen innehåller ca 15 m^3 toluen. Pumpen sitter på tanken vilket medför att inget pumstryck finns på bilens tank efter slangbrottet. Utsläppet kan endast stoppas manuellt i anslutning till ventilen på bilen. Slangen är 3", ca 8 cm, i diameter. Bilens tank är 8 m lång och har diametern 2 m. Poolens storlek begränsas av gatans bredd, 11 m, och brunnsavståndet, 20 m. Antändning antas ske inom några sekunder efter slangbrottet.

3.4.2 Resultat

Effektutvecklingen från poolbranden i detta scenario kommer att bli mycket stor, ca 600 MW. Poolens storlek ges av gatans fria bredd och avståndet mellan dagvattenbrunnarna. Denna poolarea blir ca 220 m^2 . Utflödet och avbrinningshastigheten ger att poolen får en total brinntid på ca 15 min. Därefter kan antas att tankbilen fortsätter att brinna ytterligare en tid.

Denna poolbrand kommer att ge en stor strålnings- och flampåverkan på omgivande byggnader och cisterner. Flammornas höjd kommer att uppgå till ca 34 m. Det intilliggande taket består av lättbetongelement med ett ytskikt av takpapp. Det kan antas att ytskiktet på detta tak kommer att antändas genom direkt flampåverkan kombinerat med strålningspåverkan från poolbranden. Cisternerna är placerade så nära gatan att direkt flampåverkan kan uppstå, särskilt vid sydvästlig vind, vilket är den i omgivningen förhärskande vindriktningen enligt de vindmätningar som kontinuerligt genomförs. Då föreligger risk för antändning av vätskeångorna i cisternen, vilket leder till ökat tryck i cisternen. Den intensiva tryckökningen leder till att cisternen havererar, i värsta fall uppstår en kärlsprängning. Det är vanligt att den här typen av cisterner är utformade så att övre delen av cisternen går sönder i svetsfogen och locket viks upp eller skjut iväg. Den kritiska tiden för

antändning av vätskeångorna i cisternen antas till den tid då AIT (Auto Ignition Temperature, ca 480 °C för toluen) uppnås på cisternväggens insida /6,9/. Känslighetsanalyser med olika utomhustemperaturer och olika flamtemperaturer visar att tiden till kritiska förhållanden kommer att bli mycket kort och klart underskrida insatstiden för räddningstjänsten. Detta blir alltså ett mycket allvarligt scenario där även en mycket kort responstid från räddningstjänsten är otillräcklig. Här bör man därför vidta åtgärder för att förbättra säkerheten.

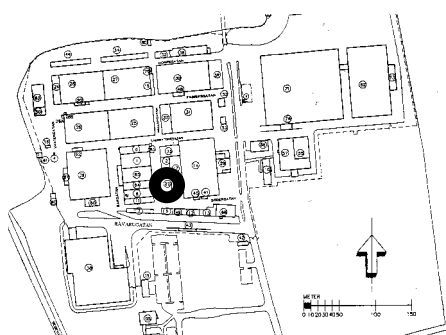
3.4.3 Förslag till åtgärder

I detta scenario är det nödvändigt att installera någon typ av skydd med en mycket kort responstid. Exempelvis kan kylning med vatten- eller skumsprinkler vara lämpligt. Det kan dock vara svårt att installera ett sprinklersystem utomhus så att responstiden blir tillräckligt kort. Ett torrörssystem är att föredra utomhus när minusgrader kan förekomma, men responstiden är längre än för ett konventionellt våtrörssystem. Ett sådant kylsystem bör kunna startas såväl manuellt, exempelvis med tryckknappar, som automatiskt med glasbulber. En annan lämplig och mer lättskött åtgärd är att tilläggsisolera tankarna och på så vis skydda dem mot flampåverkan och värmestrålning (se appendix F.4).

Den vattenkanon som idag finns på taket till byggnad 27 kommer inte att kunna användas för insats i detta scenario, tvärtom kommer den troligtvis att förstöras av den intensiva hettan. Det kan vara lämpligt att flytta denna vattenkanon.

Fördelar av användandet av tätningsutrustning, s k Gullybags, för att tätta dagvattenbrunnarna i gatan kan diskuteras. Ur brandsynpunkt är det bättre att den brinnande vätskan rinner ner i avloppet, vars utlopp i Sege å kan stängas. Detta skulle hindra poolstorleken från att bli ännu större än vad som beräknats i detta scenario. Det kan dock vara negativt om spillet inte antänds omedelbart utan rinner ner och förångas till stökiometrisk blandning i avloppet för att sedan antändas.

3.5 Scenario 5 (Alkydkok)



3.5.1 Beskrivning av scenario

Byggnad 22 (Reaktorhall alkydkok) (se appendix A.5):

Reaktorhallen består av två plan, ca 8×18 m², med ett mellanbjälklag av durkplåt. Takhöjden på övre planet är 5 m och på undre planet 2,7 m. Rökluckornas area är 4 m² och de öppnas via smältbleck. Planen är förbundna med en spiraltrappa. På plan två finns ett kontrollrum som ej är brandtekniskt avskilt. Bindemedlet alkyd påminner om klister och består till ca 30 % av lösningsmedel. Det tillverkas i fyra reaktorer i reaktorhallen. Dessa reaktorer är ca 3 m höga och

sticker upp ungefär en meter ovanför mellanbjälklaget, diametern är ca 2 m. De fyra reaktorerna är jämnt fördelade längs rummets östra långsida. Mellan reaktor 2 och 3 finns en slangväxel. I dessa slangar pumpas lösningsmedel till reaktorerna och färdig alkyd från reaktorn till färdigställningstankarna i angränsande brandcell. De pumpar som pumpar den färdiga alkyden stängs ej via brandlarm varför hela 6 m³ alkyd kan läcka ut om en olycka skulle inträffa vid slangväxeln, även om brandlarmet löser ut vid antändning. Alkyden håller en temperatur på ca 130 °C då den pumpas, detta för att viskositeten är mycket hög vid rumstemperatur vilket medför svårigheter att pumpa alkyden i ledningar. Ett fel antas uppstå vid pumpning och ett utflöde sker från slangväxeln. Den fria golvytan, dvs den yta som ej upptas av fasta installationer eller produkter som väntar på att användas i processen, är ca 60 m². På grund av vätskans viskositet och brandegenskaper kan en poolstorlek på ca 30 m² användas för beräkningar. Antändning antas ske efter några minuter och flamspridningshastigheten över poolen är relativt snabb.

3.5.2 Resultat

Effektutvecklingen från detta scenario blir inte lika hög som i några av de andra fallen. Detta medför att HAZARDI-modellen är mer tillförlitlig. Flamlängden blir dock även här för stor, ca 6 m, i förhållande till takhöjden varför 100%-ig giltighet inte kan erhållas. Ventilationskontroll uppstår efter ca en minut, men då är det övre planet redan helt rökfyllt. Temperaturen närmar sig övertändningstemperatur och flammornas längd gör att det är troligt att ett scenario liknande det vid övertändning kommer att uppstå. Detta medför dock att ventilationskontroll kan inträda tidigare. Det nedre planet kommer i princip inte att rökfyllas alls under de första tio minuterna. När räddningstjänsten kommer på plats efter ca fem minuter antas de öppna den stora port som finns på lokalens västra långsida. Den effekt man då får är att branden återigen tar fart och temperaturen går upp till ca 500 °C. Det är alltså mycket viktigt att man kraftsamlar innan porten öppnas för att påbörja insatsen.

Det finns risk för att brinnande alkyd rinner ner på nedre plan genom de springor som finns. Det är viktigt att undvika brandpåverkan på cisternerna, och ungefär 2/3 av cisternen finns under mellanbjälklaget.

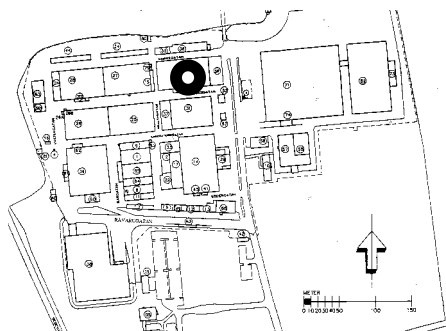
Ett brandförlopp med alkyd kan bli mycket långvarigt om inte utflödet begränsas eller en effektiv släckinsats utförs. Då brandcellsgränsen till råvarulagret endast är dimensionerad för att hålla 90 minuter (standardbrand) bör denna beaktas som en viktigt parameter att skydda, om en släckinsats skulle misslyckas.

Ett annat tänkbart scenario i lokalen är att utflödet består av lösningsmedel istället för alkyd. Detta leder till ett intensivare men mer kortvarigt brandförlopp. För att minska konsekvensen av ett sådant förlopp är det viktigt att minimera lagerhållningen av brännbara produkter som kan antändas av initialbranden.

3.5.3 Förslag till åtgärder

De invallningar som finns bör ses över och eventuella brister åtgärdas, detta för att undvika att het, brinnande alkyd rinner ner på bottenplanet och hettar upp cisternerna. Den durkplåt som utgör mellanbjälklag är olämplig ur brandsynpunkt då den vid upphettning inte är formbeständig. Het alkyd kan rinna ner i de glipor som uppstår då plåten bucklar till följd av upphettningen.

3.6 Scenario 6 (Dunkfyllning b.30)



3.6.1 Beskrivning av scenario

Byggnad 30 (Trä 2) (se appendix A.6):

Brandcellen är i ett plan, ca $55 \times 40 \text{ m}^2$, med ett bryggplan i mitten bestående av durkplåt. Takhöjden är 5 m. Väggar och tak är av betong. Rökluckornas area är 22 m^2 och de öppnas via smältbleck. Längs norra långsidan finns ett tjugotal cisterner innehållande $15\text{--}25 \text{ m}^3$ /styck, främst brandfarlig vara klass 2. Cisternerna kan kylas med vattensprinkler via stigarledning på byggnadens utsida. Hela lokalen är explosionsklassad. I brandcellen lagras en del emballage innehållande produkter som ska användas i produktionen av klarlack. En särskilt riskabel ingrediens är nitrocellulosa som lagras indränkt i etanol i pappfat. Två maskiner för dunkfyllning finns uppställda i lokalen södra del, en för plåtdunkar och en för plastdunkar. En brand antas starta här som följd av en tappad plastdunk. Plastemballage har betydligt sämre förmåga att motstå brand än plåtemballagen varför en brand här snabbt sprider sig och poolstorleken ökar väsentligt. Strålningsnivån mot de lagrade produkterna är avgörande för hur branden ska utvecklas.

3.6.2 Resultat

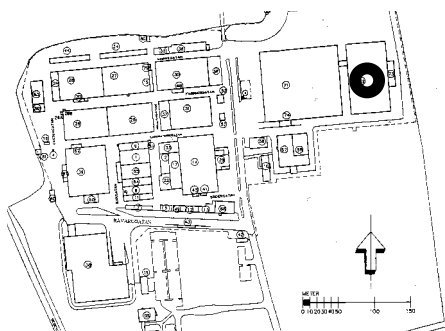
Det är troligt att den lack som brinner i detta scenario beter sig likartat med alkyd och IT90, dvs avbrinningen hindras av förkolnade rester. Den mängd lack som är i omlopp vid dunkfyllningen är dock tillräcklig för att underhålla en brand en längre tid. Simuleringar har gjorts med den i appendix H.1 givna effektkurvan trots att maximala flamlängden är runt 10 m. En relativt god uppskattning av initialskedet då enbart lacken brinner erhålls dock. Dunkfyllningsmaskinerna står ca 3 m från det bryggplan där andra produkter lagras. Detta avstånd är dock inte tillräckligt för att förhindra antändning av lättantändliga föremål. I ställage på bryggplan och bottenplan förvaras diverse papp- och träemballage med såväl brännbart som brandfarligt innehåll. Mest känsliga är de pappfat innehållande nitrocellulosa som ibland är uppställda på bryggplanet. Om lackbranden inte slås ner snabbt, företrädesvis innan den når full effekt, är risken för antändning av nitrocellulosan stor (se appendix H.3). Då nitrocellulosa är mycket svårsläckt och kräver stora mängder vatten är möjligheterna att släcka en sådan brand mitt i lokalen små. Ytterligare problem uppstår om de cisterner som finns längs byggnadens norra långsida brandpåverkas. Man kan då inte bortse från risken för kärlsprängning och liknande konsekvenser.

3.6.3 Förslag till åtgärder

Lagring av brännbara produkter i lokalen bör vara ett absolut minimum. Detta gäller framför allt de produkter som utvecklar giftiga ämnen vid förbränning eller starkt bidrar till brandspridningen, som exempelvis nitrocellulosa.

De kylningssystem som finns på cisternerna i dag bör ses över så att de är dimensionerade efter den funktion de ska fylla.

3.7 Scenario 7 (Lager)



3.7.1 Beskrivning av scenario

Byggnad 82 (Färdigvarulager Industri) (se appendix A.7):

Industribyggnaden utgörs av en enda brandcell, ca 100×55 m² stor. Här lagras över 700 000 l brandfarlig vara klass 1 och dessutom stora mängder klass 2. Väggar och golv är av betong och lättbetong. I byggnadens norra del finns ett entresolplan med ett aerosollager. Detta lager är brandtekniskt avskilt i klass EI90, dock baseras detta på en standardbrand.

Industriprodukter lagras främst i plåtemballage vilka motstår brand bra, men även plastemballage används om än i begränsad omfattning. Plastemballagen i byggnad 82 är koncentrerade till lagrets östra kortsida. Angränsande till denna sida finns även ett kallager (byggnad 73) innehållande eter som är giftigt för människor. Lagringshöjden i byggnad 82 är ca 6 m och takhöjden ca 11 m. En brand antas uppstå när en truck tappar en 500 l-container med brandfarlig vara klass 1. Poolarean blir mycket stor då viskositeten för dessa ämnen är låg. Det är också troligt att vätskan rinner in under ställagen. Antändning antas ske i det närmaste momentant.

3.7.2 Resultat

Det är mycket svårt att uppskatta spridningshastigheten och effektutvecklingen i ställage med brandfarlig vara. Skandias försök i Loddby /5/ visar på en mycket snabb spridning, men också att spridningen är beroende av vilka emballage som används. Generellt kan sägas att spridning i ställage med brännbart material oftast är mycket snabb /3/. Detta beror på flera faktorer, bland annat att andelen luft i ställagen är hög och ger branden fri syretillgång men också på den i många fall höga lagringshöjden. Brandspridning sker lättast i vertikalled. I de fall man gjort försök med brandfarlig vara i ställage har sprinkler använts. Dessa har stor inverkan på brandens utveckling varför försöken inte kan säga något om brandutvecklingen i byggnad 82 några minuter efter antändning. Med ledning av de minuter (sekunder) innan sprinklerutlösning då branden utvecklas fritt i försöken är det troligt att ett scenario som leder till en totalskada snabbt kommer att uppstå i byggnad 82 som saknar sprinklerskydd.

Erfarenheter från storbranden i Korsnäs pappersbruk 1998 /8/ visar att ett tak av lättbetongelement kan försvagas och rasa in efter bara någon halvtimme. Här kan man också anta att betydligt högre effekt utvecklas från de brandfarliga ämnena än vad som var fallet i Korsnäs där det brinnande materialet var pappersrullar. Beräkningar av takets bärighet i byggnad 82 visar att hållfastheten är väsentligt försvagad efter ca 30 minuter (se appendix I.3). Även ställagen utsätts för mycket stor brandpåverkan vilket kan medföra att de förlorar sin bärförmåga. Varorna lagras dessutom på träpall som också riskerar att haverera med ras som följd på grund av brandpåverkan. Dessa faktorer medför ytterligare svårigheter för räddningstjänsten vid en insats. Rökdykning inne i byggnaden blir snabbt alltför riskabel. Ras i ställagen kommer dessutom att bidra till brandförloppet då mer brandfarlig vara sprids ut.

3.7.3 Förslag till åtgärder

För att begränsa och fördröja brandförloppet så att räddningstjänsten skall kunna göra en meningsfull och säker insats föreslås att lokalen förses med nivåsprinkler (skum) och golvs-kumanläggning.

4. Beskrivning av räddningstjänstens resurser

4.1 Industribrandkåren

4.1.1 Allmän beskrivning

Industribrandkåren består idag av 34 brandmän som genomgått utbildning för industribrandmän enligt SBFs läroplan. Av dessa är 23 man utbildade till rökdykare vid SRVs räddningsskola.

Inkluderat i dessa 34 man är 4 st gruppchefer, 2 st ställföreträdande industriräddningschefer och 1 st industriräddningschef.

Brandkåren har schemalagd fortbildning 1 gång per månad enligt ett fastställt program som löper över ett år. I denna fortbildning ingår både teoretiska och praktiska moment. Brandmännen får även 2 dagars utbildning per år vid räddningsskolan i Revinge. Till detta läggs också övningar, inklusive varma rökdykningar, fysträning (en eftermiddag/vecka) och årliga tester enligt AFS.

I dagsläget finns ingen jourorganisation. Under dagtid (kl. 07-16) finns en överbemannning för att kompensera för t.ex. semestrar, sjukdom o.s.v. I normalfallet finns under denna tid minst 21 man tillgängliga. Mellan kl. 16 och 22 bemannas brandkåren med 1+5 man vid larm. Under natten (kl. 22-07) finns normalt ingen brandpersonal tillgänglig på industriområdet. Vid larm under denna tid på dygnet larmas personal ut från hemmet med hjälp av en teleslinga. Till denna teleslinga finns 16 personer anslutna. Dessutom finns ambulerande vakt på området under denna tid.

En översyn av organisationen och tillgänglighet på personal är på gång.

Brandkåren förfogar bl.a. över följande utrustning:

- 2 st släckbilar med rökdykarpaket på samtliga platser.
- 5 st motorsprutor varav tre är placerade i pumphus vid ån.
- 1 st skumkärra med 1000 l skumvätska och en pulverkula på 300 kg.
- 1 st pulversläp med 300 kg pulver.
- 3 st fast monterade vattenkanoner (löstagbara).
- 3 st lösa vattenkanoner varav två st oscillerande.
- 5000 l skumvätska (varav 1000 l på skumsläpet, resten på 200 l fat).
- 26 flaskpaket för andningsluft + 17 uppsättningar med rökdykarutrustning.

Insatstiden för brandkåren har enligt uppgift från industriräddningschefen klockats till ca 3 min. Dock får antas att det i detta fall varit gynnsamma förutsättningar och det vid beräkningar ej kan antas att denna tid är dimensionerande utan att en något längre tid får antas. 5 minuters insatstid på dagen har använts i analysen. Nattetid är insatstiden betydligt längre, ca 10-15 min. Då Malmö brandkår har en insatstid på ca 10-12 min innebär detta att de kommer att vara på plats ungefär samtidigt som industribrandkåren nattetid.

4.1.2 Utryckningsstatistik för industribrandkåren

Under 1998 ryckte industribrandkåren ut vid 18 tillfällen. Dessa fördelades enligt följande:

<input type="checkbox"/> Brand i truck	1 st
<input type="checkbox"/> Rökutveckling dissolver	2 st
<input type="checkbox"/> Rökutveckling reaktor	1 st
<input type="checkbox"/> Uppvärmning dragskåp	1 st
<input type="checkbox"/> Tekniskt fel	5 st
<input type="checkbox"/> Damm/vatten/pulver	5 st
<input type="checkbox"/> Åska	1 st
<input type="checkbox"/> Utspill	1 st
<input type="checkbox"/> Utlöst av servicefirma	1 st

4.2 Kommunala räddningstjänsten

Den kommunala räddningstjänsten i Malmö tillhandahåller såväl förbyggande som operativ räddningstjänst åt Burlövs kommun sedan en tid tillbaka. Detta medför att bättre kunskap finns om anläggningen hos Malmös operativa personal.

4.2.1 Automatlarm

Ett automatiskt brandlarm från Segeanläggningen är alltid ett tvåstationerslarm. Detta innebär att heltidsstationen i Jägersro och deltidsstationen i Burlöv larmas. Från Jägersro kommer en så kallad basenhet, det vill säga en släckbil och ett höjdfordon bemannade med en brandmästare, en förman och fem brandmän. Från Burlöv kommer en släckbil bemannad med en brandmästare eller förman och fyra brandmän. Jourhavande brandingenjör från Hylliestationen larmas också. Jägersro och Burlöv är på plats vid grinden efter ca tio minuter medan jourhavande brandingenjör har något längre körväg från Hyllie. Själva insatsen kan oftast påbörjas 15-20 minuter efter larm. Vid en brand av de dimensioner som antas i dessa scenarion kan ytterligare tid åtgå innan en insats kan påbörjas.

4.2.2 Konstaterad brand

När brand har konstaterats larmas ytterligare två basstyrkor och en skumenhet från Malmö samt en brandmästare eller förman och fyra brandmän från Burlöv. Om det är nödvändigt bygger man också upp en större ledningsorganisation med stöd åt räddningsledare på plats och en ledningsstab på Hyllie brandstation. Möjlighet finns att kalla in ytterligare tre basstyrkor inom 30 minuter från kringliggande kommuner. Skumresurserna i regionen är stora.

Den kemikalieexpertis som kan behövas tillhandahålls av personalen på anläggningen. Industribrandkårens rökdykare utnyttjas som vägvisare åt rökdykarna från den kommunala räddningstjänsten. Samövningar med industribrandkåren hålls i mån av tid. De brandingenjörer som har operativ tjänst har regelbundet spelövningar tillsammans med personal från anläggningen.

4.3 SAFIR

Akzo Nobel i Sege är medlem i en samarbetsorganisation för §43-industrier, SAFIR, som syftar till att snabbt kunna utnyttja de resurser som finns i Malmö. Övriga medlemmar är exempelvis Bona Kemi, Stadex, Dupont och Åkerlund & Rausing. Genom SAFIR får man tillgång till hjälp med omhändertagande och förvaring av kontaminerat släckvatten, kemikompetens, restvärdesräddning etc.

5. Miljöpåverkan och toxicitet vid brand

Dagens räddningstjänst måste ta hänsyn till många faktorer vid brandsläckning. Det räcker inte längre att enbart rädda liv och egendom, man måste också se till miljöaspekten. Undersökningar /11/ visar att de årliga utsläppen av stoft från bränder är av samma storleksordning som utsläppen från lastbilstrafiken. Utsläpp av andra ämnen (exempelvis koldioxid, kolmonoxid, nitrösa gaser och saltsyra) är försumbara i jämförelse med de utsläpp som sker från andra utsläppskällor. Dock kan utsläpp från bränder ställa till stora problem i närmiljön varför det är viktigt att agera på rätt sätt för att minimera de lokala konsekvenserna.

Miljöeffekterna kan delas in i effekter till följd av primärutsläpp, frigörande av artefakter och sekundärutsläpp. /13/

Primärutsläpp

Miljöeffekterna av ett utspill kan bli otrevliga även om inte brand uppstår. Många av de produkter som hanteras i Segeanläggningen är skadliga för vatten- och djurliv. Man har dock en omfattande organisation för att hantera utspill och kan utlösa ett särskilt miljöalarm. Möjligheten att snabbt stänga dagvattenutlopp är viktig liksom den snabba resurs som industribrandkåren utgör. Utspill är ett av de mer vanliga tillbudena, men konsekvenserna är ofta små tack vare snabba ingripanden av såväl personal som industribrandkår.

Frigörande av artefakter

Med artefakter menas här sådana ämnen som bildas under brand- och släckförloppet. Vilka ämnen som bildas i brandgaserna är naturligtvis beroende av vad som brinner. Det man främst är oroad över i Sege är uppkomsten av nitrösa gaser, men även saltsyra, cyanväte, ammoniak, isocyanater och kolväten är exempel på ämnen som kan bildas. Dessa förekommer vanligtvis i relativt små mängder i de utspädda brandgaserna, men är giftiga för människan. Människan är dock relativt robust mot olika föroreningar i liten skala, natur och djurliv kan ta större skada. Effekterna kan ibland märkas först en tid efter olyckan varför en uppföljning av kringliggande områden kan vara lämplig.

Ett problem som märks omedelbart är stoftnedfall som kan bli besvärande. Som tidigare nämnts är stoftproduktionen ibland omfattande, och denna kan ge en indikation på var rökplymen slagit ned. Stoft har dock en kortvarig påverkan på miljön och vegetationen återhämtar sig definitivt i och med nästa års lövsprickning. Större påverkan har de kolväten som brandgaserna kan innehålla. Dessa bryts ner av mikroorganismer och kan leda till stor skada på både djur och växtlighet då de kan vara såväl toxiska som mutagena och cancerogena. Bildning av tungmetaller är ett av de största problemen ur miljösynpunkt. De bryts inte ner utan anrikas istället i organismer. Det tar dock mycket lång tid för växtligheten att ta upp tungmetallerna varför man i princip kan anta att de finns kvar där de fallit ner.

I den riskanalys /14/ som gjorts för anläggningen har en modell som simulerar rökplymen från en skorsten använts. Detta ger dock en stor överskattning av plymlyftet och därmed brandgasernas transportsträcka /15/. Inga generella uppskattningar kan ges för hur en sådan här rökplym beter sig, varför inga vedertagna beräkningsmodeller heller finns att tillgå. Plymlyftet är ytterligt beroende av de väderförhållanden som råder vid det aktuella tillfället. En stark vind ger ett lågt plymlyft, plymen kommer i att ligga ner längs marken. Detta kan vara negativt om bostadsbebyggelse eller känsliga ekosystem finns nära, men i allmänhet betraktas stark vind som positivt då utspädningen är

hög och kan medföra att koncentrationen ej når skadliga värden. En svag vind, eventuellt i kombination med inversion, kommer att ge betydligt längre transportsträckor och sämre utspädning. Det minst gynnsamma läget kan uppstå en klar, vindstilla natt, alternativt vinterdag, då underlaget är kallare än den ovanliggande luften och sk stabil skiktning uppstår /2/. Brandgaserna kan då transporteras långt utan nämnvärd utspädning.

De moderna skumvätskor som används idag kan vara besvärliga att bryta ner och kan ge toxiska effekter på miljön, framförallt i vattendrag. Man bör därför minimera mängden använd skumvätska, till exempel genom att kraftsamla och göra en effektiv och snabb insats. Skumvätskor kan innehålla bland annat tensider och flourtensider som har till uppgift att sänka vattnets ytspänning och sprida skummet snabbare över vätskeytan. Dessa är svårnedbrytbara och toxiska för vattenlevande djur. De emulgerar olja, vilket leder till att den inte kan fångas upp av oljeavskiljare.

Skumvätskor som innehåller oktylfenoletoxylat bör undvikas. Oktylfenoletoxylat är jämförbart med nonylfenoletoxylat som finns på Kemikalieinspektionens begränsningslista över ämnen som ska avvecklas. Detta på grund av att nedbrytningsprodukter från nonylfenoletoxylat är svårnedbrytbara, bioackumulerbart och toxiskt./16/

Att släcka branden eller ej kan låta som en konstig frågeställning. Släckning är dock inte alltid det bästa alternativet. Det kan leda till en ofullständig förbränning* och därmed större risk för att mycket farliga ämnen som dioxiner, dibensyleter och andra kolväten ska bildas. Vidare kan vattenbegjutning leda till att ämnen i form av salter eller pulver löses ut. Släckvattnet kan då bli mycket toxiskt och svårt att omhänderta. Ibland kan det till och med vara positivt att understödja branden för att öka förbränningseffektiviteten. Om en totalskada redan uppstått och släckning bedöms som omöjlig eller olämplig kan istället extra ventilation och därmed syretillförsel öka förbränningseffektiviteten och ge renare brandgaser.

Sekundärutsläpp

Med sekundärutsläpp menas de utsläpp som uppstår till följd av brandförloppet till exempel i form av rämnade tankar eller fat. Sekundärutsläppen har fördelen att de oftast är lättare att kartlägga än bildandet av artefakter. Räddningstjänsten kan alltså tillsammans med miljöansvarig i tid planera för vilka åtgärder som kan bli nödvändiga och varsko reningsverk och andra recipienter. Sekundärutsläppen innebär dock att större mängder av ämnen kan läcka ut.

Synergieffekter

När bedömning sker om huruvida ett ämne utgör en risk eller inte kan eventuella synergieffekter inte förbises. Synergism innebär att ett ämne reagerar med ett annat ämne så att effekten förstärks. Tillsammans har ämnena mycket starkare effekt än bara summan av de enskilda effekterna. Som exempel på detta kan nämnas en trafikolycka i Gläborg där en tankbil lastad med brandfarliga vätskor kolliderade med ett fordon lastat med bilbatterier /13/. Skum och diesel reagerar synergistiskt /16/.

* Fullständig förbränning resulterar i slutprodukterna CO₂ och H₂O.

6. Diskussion

En anläggning av denna typ (i detta fall en färgfabrik) är alltid att betrakta som en riskkälla. En färgfabrik med dimensioner som Segeanläggningen bör generellt klassas som en §43-anläggning, dvs verksamheten innebär fara för att en olyckshändelse skall orsaka allvarliga skador på människor eller miljö (43§ Räddningstjänstlagen). Detta innebär bland annat att högre krav kan ställas på anläggningsägare/innehavare vad gäller tillhandahållande av resurser och skadebegränsande åtgärder.

De ingenjörswerktyg som finns tillgängliga idag är ofta otillräckliga för de extremt stora effekter som utvecklas vid bränder i denna typ av industrier. De beräkningar som kan göras med dessa verktyg visar därför ofta bara storleksordningen på de konsekvenser som scenarierna får. Dessa utdata kan ändå vara till mycket stor nytta för att studera de tidiga brandförloppen och få en uppfattning av de förutsättningar räddningstjänsten har att arbeta med.

De beräkningar som gjorts visar att det kan antas att det vid en brand i en industri av denna typ behövs mycket stora insatser från räddningstjänsten. En intressant fråga som uppstår är vad som ska vara dimensionerande för storleken på den kommunala räddningstjänsten, de extrema storbränderna, "vardagsbränder" t.ex. lägenhetsbränder eller någonting däremellan.

En intressant iakttagelse som gjorts är också att det är mycket viktigt att brandkompetens medverkar vid nybyggnationer av stora riskindustrier. Det är ofta väldigt svårt att bygga bort fel eller brister i redan befintliga objekt.

7. Slutsats

I så gott som samtliga sju scenarion blir effekten mycket hög då energiinnehållet i färgprodukter och lösningsmedel är mycket högt. Då HAZARDI inte kan hantera så höga effekter kan resultaten från simuleringarna endast betraktas som en ledtråd till vad som kan hända.

De lokaler som har låg eller normal takhöjd rökfylles relativt snabbt ända ner till golvet. När en dörr öppnas, exempelvis av räddningstjänsten, stiger brandgaslagret igen och en insats kan bli möjlig. Detta förutsätter att rökluckorna fungerar.

Flera av scenarierna ger initialt ett mycket häftigt brandförlopp men effekten avtar snabbt då lösningsmedlet har hög avbrinningshastighet. Lagringen av brännbara produkter i och kring lokalen blir då avgörande för hur det fortsatta brandförloppet kommer att bli. Det är därför viktigt att minimera lagringen av brännbart material på platser som inte är avsedda för lagring.

Utspillets förmåga att flyta ut och bilda en stor brännbar vätskeyta är en annan viktig faktor. En stor brandarea ger upphov till fler följdbränder och är svårare att bekämpa. De invallningar som finns idag bör därför ses över och eventuellt kompletteras med nya.

Oskyddade stålkonstruktioner mister snabbt sin bärförmåga vid kraftig brandpåverkan. Detta innebär att t.ex. bryggplan och ställage riskerar att rasa efter en tids brandförlopp.

Det scenario i Norregatan och Tankanläggningen (scenario 4) som analyserats ger mycket allvarliga konsekvenser och kan leda till en totalskada på Tankanläggningen och närliggande byggnader. Här bör åtgärder vidtas för att öka säkerheten, exempelvis i form av sprinkler eller tilläggsisolering för att hindra att den höga omgivande flamtemperaturen antänder vätskan i tanken. Även scenariot i Färdigvarulagret (scenario 7) kan leda till stora skador. De åtgärder i form av sprinkler som skulle kunna ge effekt här är dock kostsamma och kommer troligtvis endast att begränsa, inte släcka, branden. Taket i lagret är utfört i lättbetong och erfarenheter visar att detta har en begränsad bärighet varför en släckinsats kan vara ytterst riskfylld om branden inte på ett tidigt stadium begränsats av sprinkler. Man kan alltså i detta fall inte enbart förlita sig på räddningstjänstens insatsmöjligheter. Brandförloppet i scenario 6 är beroende av vad som lagras på bryggplanet. Spridning till cisternerna längs lokalens norra långsida kommer troligtvis inte att ske om inget brandfarligt lagras. Man bör därför undvika att placera fat med nitrocellulosa och liknande på bryggplanet och även minimera lagringen av brännbart material som kan antändas av initialbranden i dunkfyllningen.

Vid analys av de mindre scenarierna (1,2,3,5) syns med tydlighet vikten av ett snabbt ingripande. Industribrandkårens snabba insats kan vara avgörande för utgången i dessa fall. Den kommunala räddningstjänstens större resurser har en lång insatstid, upp mot 20 minuter, och har betydligt bättre möjligheter att göra en lyckad insats om industribrandkåren tidigt har lyckats begränsa branden. Industribrandkåren har också en viktig uppgift i att hantera utspill på ett sådant sätt att risken för antändning minimeras. Man har redan flera exempel där professionella ingripanden av industribrandkåren förhindrat en storbrand.

8. Ordlista

AFS	Arbetskyddsstyrelsens författningssamling
Bioackumulerbar	Lagras i organismen
Brandcell	Brandtekniskt avskilt utrymme
Cancerogen	Cancerframkallande
Emulsion	Blandning av vätskor som är olösliga i varandra
Inversion	Skikt i atmosfären där temperaturen ökar med höjden
Känslighetsanalys	Variation av indataparametrar
Mutagen	Mutationsframkallande, skadlig för arvsmassan
NIST	National Institute of Standards and Technology
Recipient	Mottagare
RIB	Räddningsverkets informationsbank
SBF	Svenska Brandförsvärsföreningen
SRV	Statens räddningsverk
Stökiometri	Givna mängdproportioner för fullständig förbränning
Toxisk	Giftig
Tvåzonsmodell	Ett beräkningssätt som förenklar verkliga förhållanden till en modell där en klar definierad gräns finns mellan de varma brandgaserna i övre delen av ett rum och den kallare luften därunder.
Tvåzonsskiktning	Se tvåzonsmodell.
Övertändningstemperatur	Den temperatur där det antas att övertändning sker i ett brandrum, 500-600°C.

9. Referenser

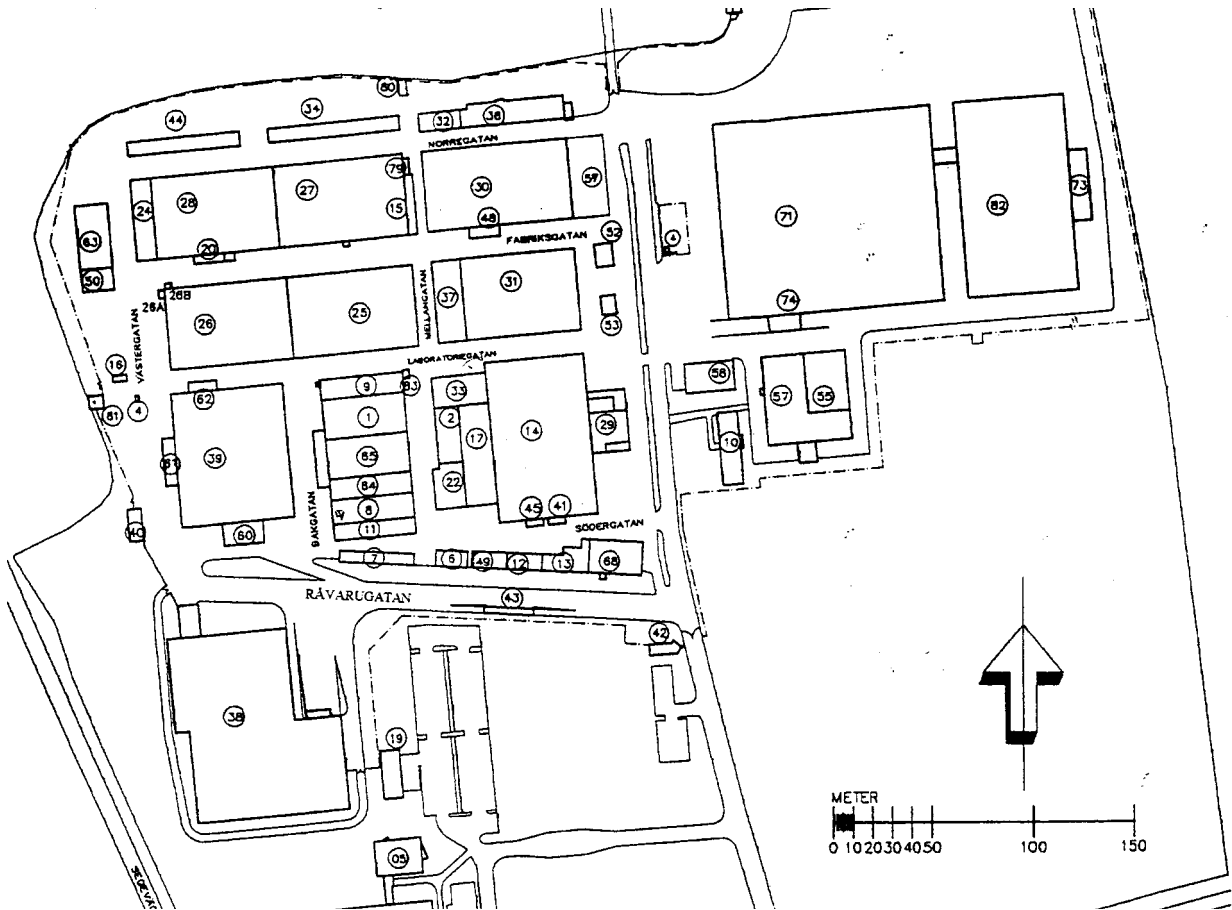
- /1/ B. Karlsson, J.G. Quientiere, **Enclosure Fire Dynamics**, Institutionen för Brandteknik, LTH, 1997
- /2/ S. Fischer, R. Forsén, O. Hertzberg, A. Jacobsson, B. Koch, P. Runn, L. Thaning, S. Winter, **Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor**, FOA-D--95-00099-4.9--SE, FOA, Stockholm, 1995
- /3/ **The SFPE Handbook of fire protection engineering**, 2nd edition, Society of Fire Protection Engineers, National Fire Protection Association, Massachusetts, USA, 1995
- /4/ AKZO Nobels hemsida **www.akzonobel.com**
- /5/ Video från **Loddböförsöken** med brandfarlig vara, Skandia, 1991
- /6/ H. Persson, B. Persson, **Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager**, SP RAPPORT nr 1996:06, Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1996.
- /7/ **Telefonsamtal** med avdelningen för brandteknik, Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1998.
- /8/ **Studiebesök** vid Korsnäs Pappersbruk 981204
- /9/ Esad Hadziselimovic, **TASEF modelling of a water and a gasoline tank exposed to radiative heat flux from a pool fire**, SP AR 1996:01, Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1996.
- /10/ **RIB, Räddningsverkets informationsbank**, CD 2, Räddningsverket, Karlstad 1998
- /11/ B.Persson, M.Simonsson, M.Månsson, **Utsläpp från bränder till atmosfären**, SP RAPPORT nr 1995:70, Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1995.
- /12/ **Analytisk lösning av värmeledningsekvationen**, sammanställningsstencil, Institutionen för Brandteknik, 1990 (ej publicerad)
- /13/ P. Berg, **Miljökonsekvenser av olyckshändelser**, rapportnr P23-143/96, Räddningsverket, Karlstad, 1996
- /14/ **Risikanalys** av Akzo Nobel, Sege, 1996 (ej publicerad)
- /15/ Telefonsamtal med **Stellan Winter**, februari 1999
- /16/ S. Persson, **Brand och miljöeffekter, kunskapsöversikt**, rapportnr P221-151/96, SRV, Karlstad, 1996.

Appendixförteckning

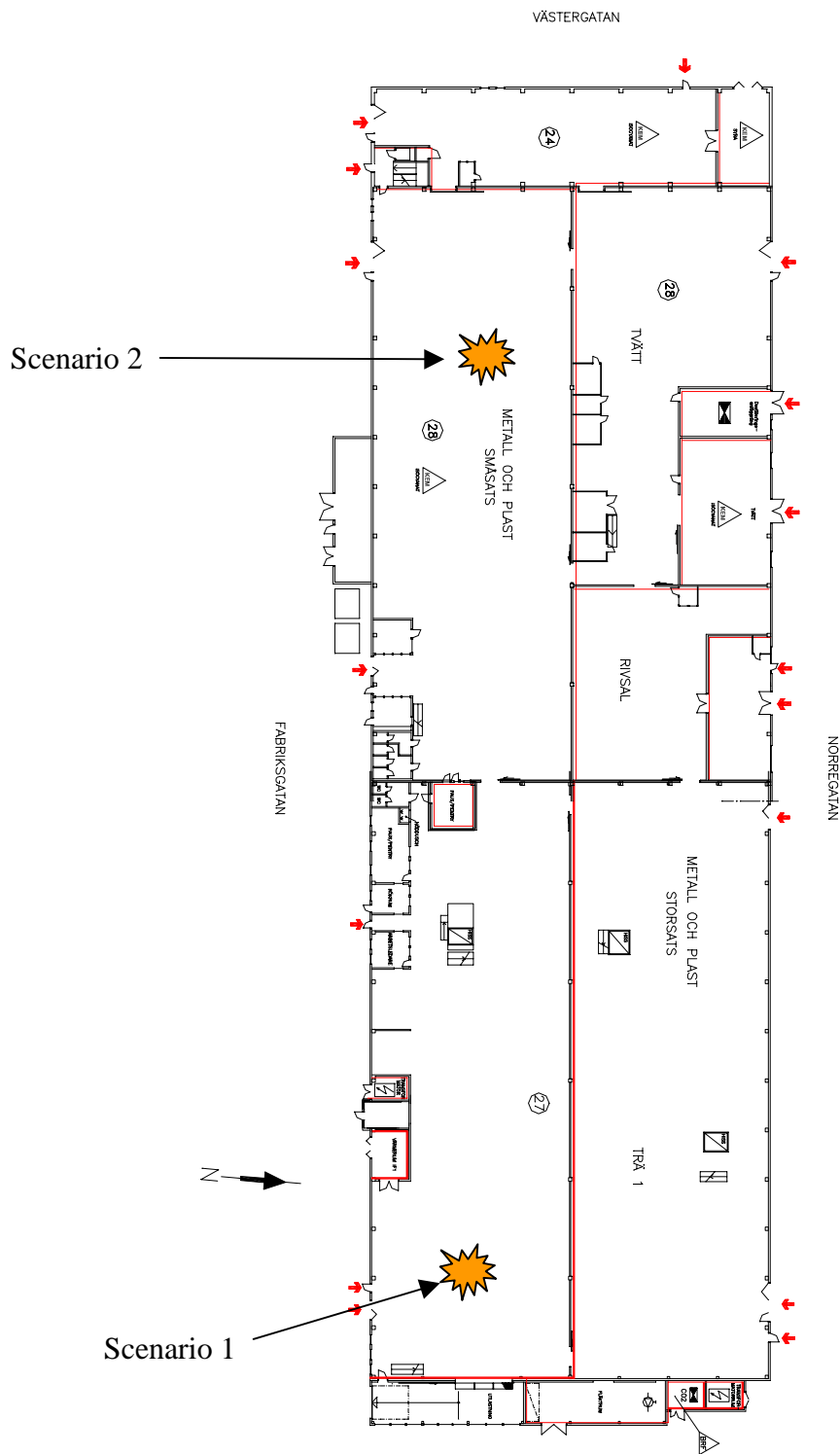
APPENDIX A RITNINGAR	1
A.0 SITUATIONSPLAN	1
A.1 SCENARIO 1 OCH 2 (FÄRGUTSLÄPP B.27 OCH SLANGVÄXEL B.28)	2
A.5 SCENARIO 5 ALKYDKOK	3
A.6 SCENARIO 6 DUNKFYLLNING	4
A.7 SCENARIO 7 LAGER	5
APPENDIX B BESKRIVNING AV HAZARDIMODELLEN	6
B.1 MODELLEN	6
B.2 PROGRAMMETS ANVÄNDNING	6
B.3 BEGRÄNSNINGAR I PROGRAMMET	6
APPENDIX C SCENARIO 1 (FÄRGUTSLÄPP B.27)	7
C.1 EFFEKTKONSTRUKTION	7
C.2 RESULTAT FRÅN HAZARDI-SIMULERING	8
APPENDIX D SCENARIO 2 (SLANGVÄXEL B.28)	9
D.1 EFFEKTKONSTRUKTION	9
D.2 RESULTAT FRÅN HAZARDI-SIMULERINGAR	10
APPENDIX E SCENARIO 3 (TRANSPORTGÅNG)	11
E.1 EFFEKTKONSTRUKTION	11
E.2 RESULTAT FRÅN HAZARDI-SIMULERINGAR	12
APPENDIX F SCENARIO 4 (NORREGATAN)	13
F.1 EFFEKTKONSTRUKTION	13
F.2 VÄRMEPÅVERKAN PÅ CISTERN	13
F.2.1 Uppvärmning av cisternvägg	14
F.2.2 Brännbarhetsområde	16
F.3 STRÅLNING MOT TAK B.27	18
F.4 VÄRMELEDNING GENOM ISOLERING	19
F.4.1 Beräkningsgång	19
F.4.2 Beräkning	19
APPENDIX G SCENARIO 5 (ALKYDKOK)	21
G.1 EFFEKTKONSTRUKTION	21
G.2 RESULTAT FRÅN HAZARDI-SIMULERINGAR	22
APPENDIX H SCENARIO 6 (DUNKFYLLNING B.30)	24
H.1 EFFEKTKONSTRUKTION	24
H.2 RESULTAT FRÅN HAZARDI-SIMULERINGAR	25
H.3 STRÅLNING MOT PAPPFAT	26
APPENDIX I SCENARIO 7 (LAGER)	28
I.1 EFFEKTKONSTRUKTION	28
I.2 RESULTAT FRÅN HAZARDI-SIMULERINGAR	29
I.3 BERÄKNING AV TAKETS BÄRIGHET	30
I.3.1 Värmeledning genom lättbetongelement	30
APPENDIX J FÖRSÖK	32
J.1 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING	32
J.2 RESULTAT FRÅN FÖRSÖKEN	33
J.2.1 Försök 1, IT 90	33
J.2.2 Försök 2, Ungslack	33
J.2.3 Försök 3; Alkyd	34

Appendix A Ritningar

A.0 Situationsplan

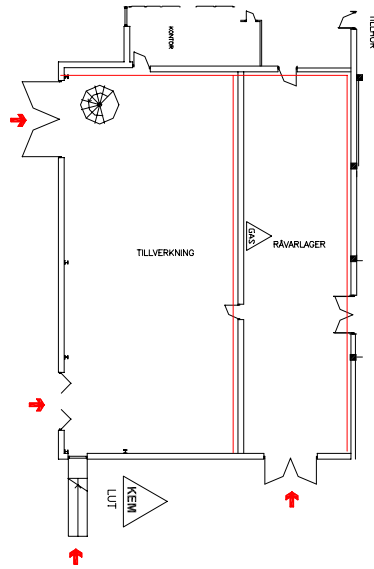


A.1 Scenario 1 och 2 (Färgutsläpp B.27 och Slangväxel B.28)

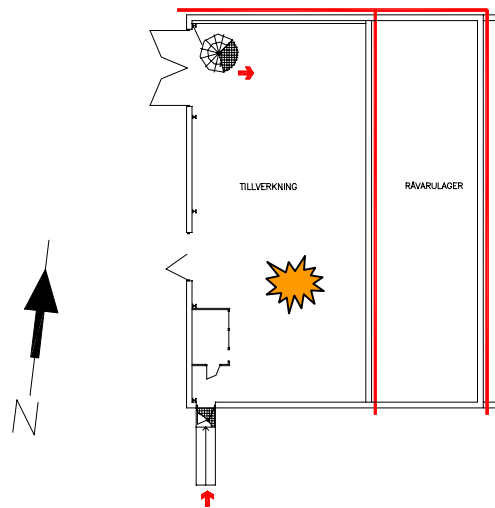


A.5 Scenario 5 Alkydkok

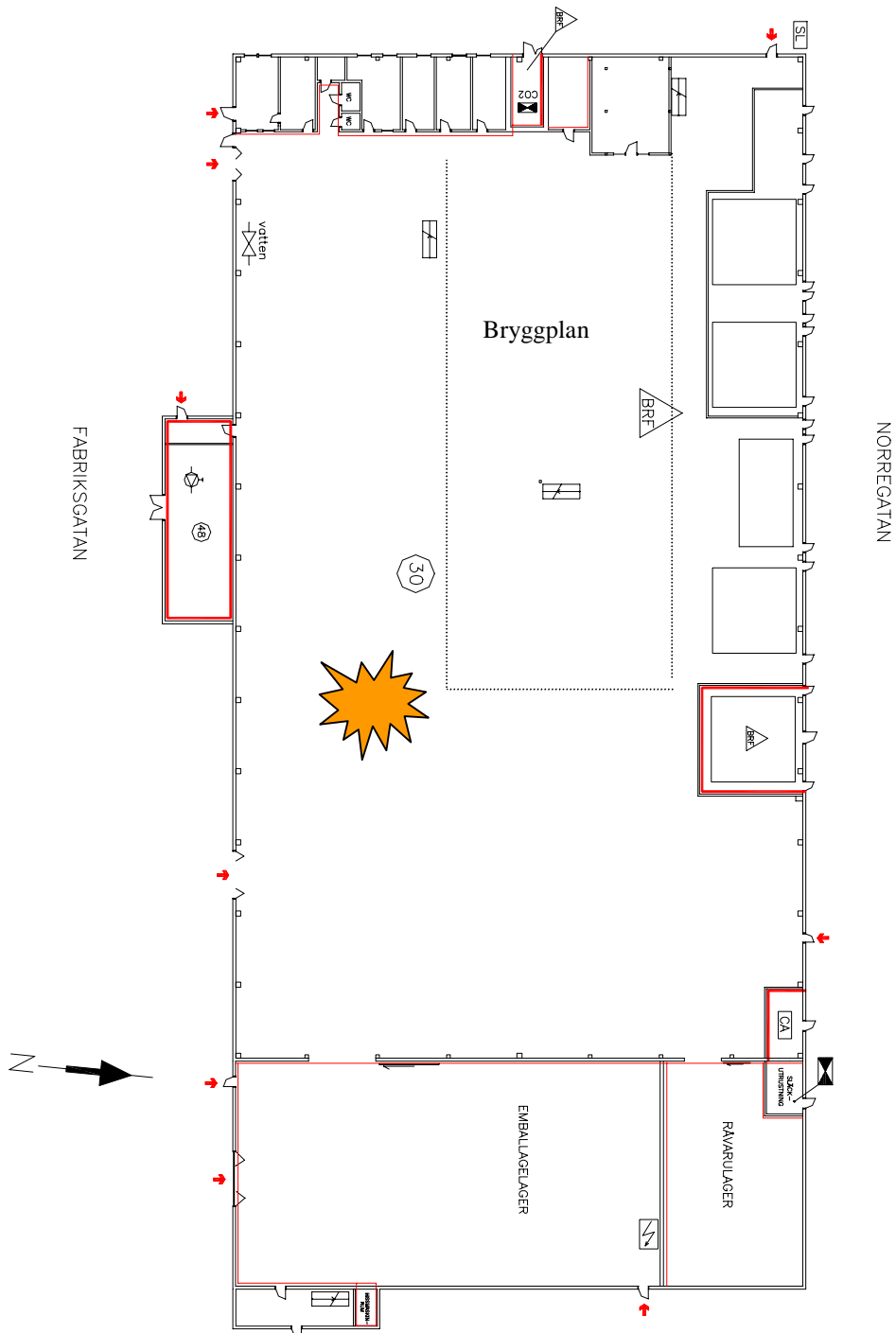
Bottenplan



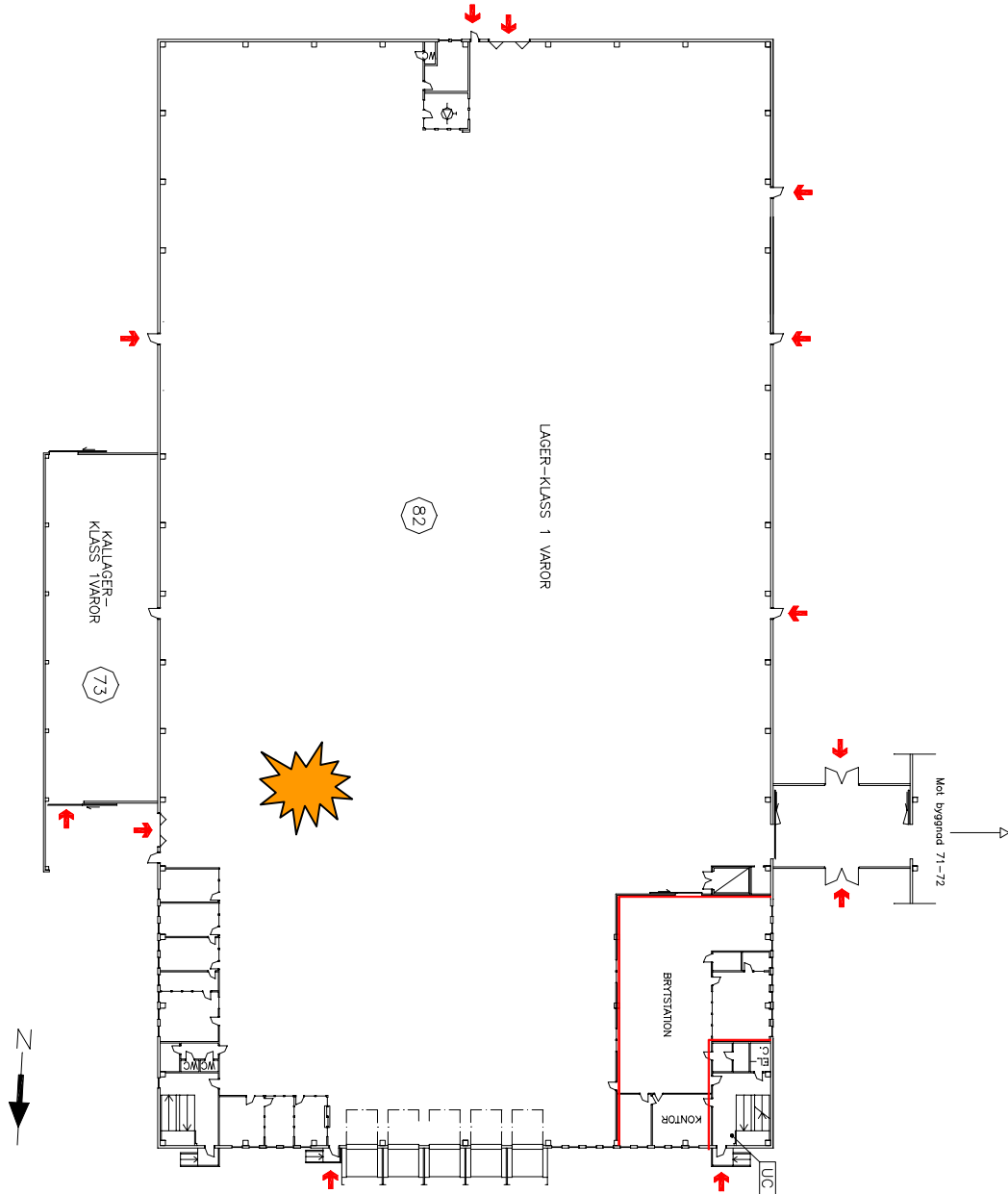
Plan 2



A.6 Scenario 6 Dunkfyllning



A.7 Scenario 7 Lager



Appendix B Beskrivning av HAZARDImodellen

B.1 Modellen

C-fast är den centrala delen av datorprogrampaketet HAZARDI. Programmet simulerar brandens och brandgasernas uppförande i brandpåverkade samt intilliggande lokaler. Programvaran är utvecklad av NIST (National Institute of Standards and Technology), USA.

B.2 Programmets användning

De utdata som i första hand är av intresse i detta arbete är brandgaslagrets höjd över golvnivå, effektutvecklingen, syrenivå i rummet och brandgaslagrets temperatur. Dessa utdata ges av modellen som en funktion av tiden.

B.3 Begränsningar i programmet

Programmet arbetar efter antagandet att en tvåzonsmodell existerar, d.v.s. ett övre, varmt brandgaslager och ett undre, kallare luftlager, med en klar gräns emellan dessa. Ingen hänsyn tas till t.ex. turbulens, tid för brandgaser att nå tak eller temperaturskillnader inom respektive lager. Programmet antar också att brandgaslagret blir lika tjockt över hela ytan. Programmet klarar ej heller av att göra beräkningar på bränder vars effekt överstiger 60 MW. Dessa antaganden gör att vissa missvisande värden kan utläsas vid t.ex. stora lokalytor och extremt stora bränder.

När flamlängden överskrider takhöjden, dvs flammen slår i taket, minskar tvåzonsmodellens validitet. Resultatet av så stora flamlängder blir att flammorna vänder ner mot golvet igen och turbulens uppstår. En snabbare brandspridning blir följden. Detta får tas i beaktande vid analys av utdata från C-fast. Programmet är ett hjälpmedel som kräver kunskaper om brandteori hos användaren för att kunna bedöma och använda dess utdata.

Appendix C Scenario 1 (Färgutsläpp b.27)

C.1 Effektkonstruktion

I detta scenario såväl som i de följande blir de effekter som utvecklas från en brand mycket stora.

Effektutvecklingen \dot{Q} [MW] från en poolbrand beräknas enligt formeln /1/:

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \cdot \chi \cdot A_{pool} \cdot \Delta H_c \quad \text{där} \quad [\text{ekv C.1}]$$

\dot{m}'' = massförlust [kg/m²s] (0,043 kg/m²s)

χ = förbränningseffektiviteten (0,67)

A_{pool} = poolens area [m] (A)

ΔH_c = energiinnehåll [MJ/kg] (24,0 MJ/kg)

Värdena inom parenteserna är de värden som gäller för den aktuella färgen IT90, se även Appendix J.

Flamhöjden beror av effektutvecklingen enligt sambandet /1/:

$$L_f = 0,235 \dot{Q}^{(2/5)} - 1,02D \quad \text{där} \quad [\text{ekv C.2}]$$

D = poolbrandens diameter [m]

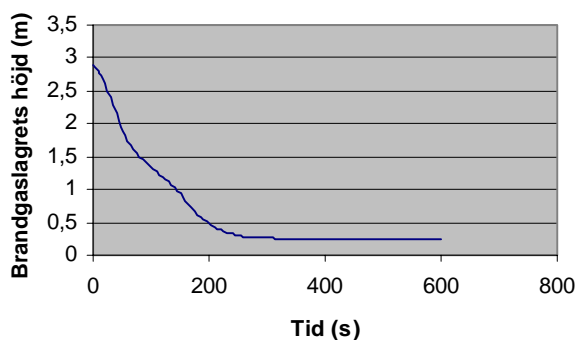
En begränsning i HAZARDI är att modellen bygger på att flammorna inte slår i taket, men även om så är fallet ger modellen en god uppskattning av brandförloppet. För att få en uppfattning av brandförloppet simuleras några olika effekter: 60 MW som är HAZARDI:s maxeffekt, 30 MW är en 50%-ig känslighetsanalys, samt 2 MW vilket motsvarar en flamlängd på ca 3 m som är lokalens takhöjd. En sammanställning visas i tabell C.1.1.

Tabell C.1.1. Sammanställning

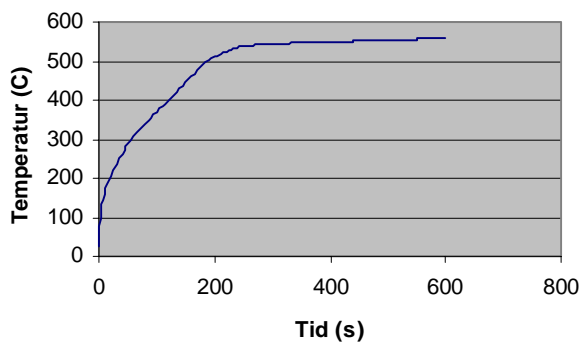
Effekt \dot{Q} [MW]	Poolarea A [m ²]	Pooldiameter D [m]	Flamlängd L_f [m]
60	87	10	13
30	43	7	10
2	3	2	3

C.2 Resultat från HAZARDI-simulering

I scenario 1 har en öppningsarea i form av 22 m² rökluckor lagts in. För att simulera den dåliga brandbeständigheten hos de gummitätade fönsterförsedda truckdörrarna har en fiktiv öppning av 1×2,5 m² (b×h) använts. Denna öppnas efter två minuters brandförlopp. Rökspridning mellan byggnadsplanen kan endast ske via trappschaktet. Figuren C.2.1 och C.2.2 visar brandgaslagrets höjd över golvet respektive temperaturen i brandgaslagret.



Figur C.2.1 Brandgaslagrets höjd över golvet i brandrummet som funktion av tiden.



Figur C.2.2 Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden.

Appendix D Scenario 2 (Slangväxel b.28)

D.1 Effektkonstruktion

Poolens storlek kommer i detta fall framför allt att begränsas av hur länge utsläppet fortgår. Lösningssmedelspumparna stängs av när brandlarmet löser ut i lokalen. Efter att poolen har brunnit ut kommer färgkaret att fortsätta brinna ytterligare en tid. Vätskan som flödar ut antas vara toluen. Effekten [MW] från karet beräknas enligt ekv C.1.

$$\dot{Q}_{\text{kär}} = 0,085 \cdot 0,8 \cdot (1 \cdot \pi/4) \cdot 40,9 = 2,18 \text{ MW}$$

Då maximal effekt som kan användas i HAZARDI är 60 MW antas här detta värde på effekten vid simuleringarna. Den poolarea som motsvaras av denna effekt är ca 20 m². Den verkliga effekten från poolbranden kommer att bli mycket större, detta eftersom poolens area blir större till följd av toluens låga viskositet. Det är svårt att uppskatta poolens verkliga storlek då den beror av flera faktorer, t ex munstyckets läge, golvet yta och lutning samt eventuella hinder, tillfälliga eller permanenta.

Avbrinningshastigheten för toluen är 4 mm/min. Utströmningen från slangen är 11,2 kg/s som motsvarar 0,78 m³/min, enligt uppgift från Akzo Nobel. För att se hur mycket brandförloppet påverkas av utströmningstiden har olika tider för pumpstopp antagits. En sammanställning visas i tabell D.1.1.

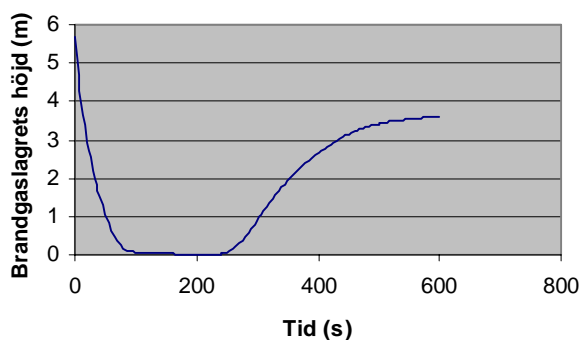
Tabell D.1.1. Sammanställning

Tid till pumpstopp (s)	Mängd utrunnen toluen (m ³)	Skiktjocklek (mm)*	Poolens brinntid vid A=20 m ² (min)
30	0,39	20	4,9
60	0,78	40	9,8
90	1,17	60	14,6

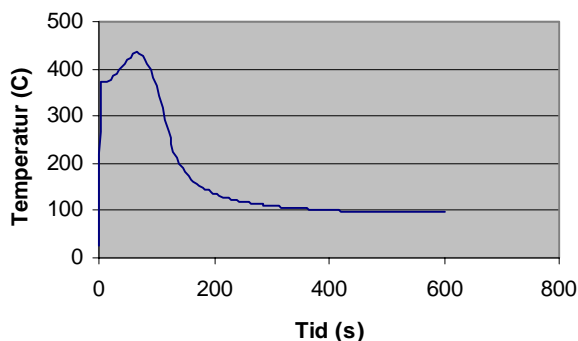
* Detta ger orealistiska pooldjup varför det får antas att poolen istället blir större till arean.

D.2 Resultat från HAZARDI-simuleringar

I scenario 2 har rökluckornas area satts till 18 m². I det här scenariot är truckdörrarna inte direkt brandpåverkade varför de antas vara relativt intakta. När brandkåren anländer efter ca fem minuter antas de öppna en dörr, 3×3 m². Poolens avbrinningstid är i detta fall två minuter. Figurerna D.2.1 och D.2.2 visar brandgaslagrets höjd över golvet respektive temperaturen i brandgaslagret



Figur D.2.1 Brandgaslagrets höjd över golvet i brandrummet som funktion av tiden.



Figur D.2.2 Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden.

Appendix E Scenario 3 (Transportgång)

E.1 Effektkonstruktion

Poolens storlek antas begränsas av gatans fria bredd och avståndet mellan brunnarna till 10×20 m. Den brinnande vätskan antas vara toluen eller etylacetat. Effekten \dot{Q} [MW] beräknas enligt ekv C.1.

$$\dot{Q}_{\text{toluen}} = 0,085 \cdot 0,8 \cdot (10 \times 20) \cdot 40,9 = 556,24 \text{ MW}$$

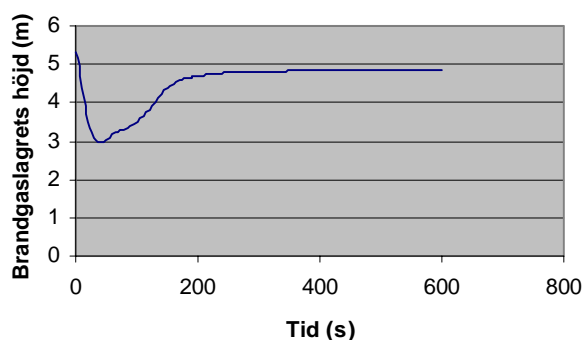
$$\dot{Q}_{\text{etylacetat}} = 0,085 \cdot 0,8 \cdot (10 \times 20) \cdot 24,4 = 331,84 \text{ MW}$$

Vi väljer toluen som dimensionerande, det spelar egentligen ingen roll då HAZARDIs maximala indataeffekt är 60 MW.

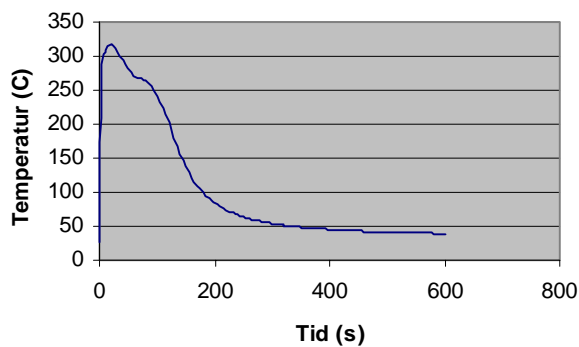
1000 liter utspridda på 200 m² ger en skiktjocklek på 5 mm. Detta är ett rimligt värde med tanke på asfaltens skrovlighet. Avbrinningshastigheten för toluen är 4 mm/min. Den beräknade effekten uppnås alltså under endast 75 sekunder varefter den antas avta linjärt. Det är rimligt att anta att lagrat material som t ex lastpallar antänds. Den branden är dock förhållandevis liten. Även plasttaket kan antändas. Enligt uppgift /7/ ligger antändningstemperaturen för esterplast runt 300 °C, varför det är troligt att plasttaket antänds då flamtemperaturen för toluen är ca 900°C.

E.2 Resultat från HAZARDI-simuleringar

Den långa överbyggda gatan i scenario 3 har simulerats i form av fem separata rum. Detta för att kunna följa rökspridning och temperatur som funktion av tiden. Mellan rummen finns öppningar som är så stora att resultatet blir en enda lång korridor. Öppningar till omgivningen finns i ändarna på ”korridoren” samt i korsningen mellan Fabriksgatan och Mellangatan. Plasttakets dåliga brandbeständighet antas leda till ett hål rakt ovanför poolbranden efter ca en minut. Detta har simulerats med hjälp av en spalt 20 m bred och 0,5 m hög från taknivå och ner. Figurerna E.2.1 och E.2.2 visar brandgaslagrets höjd över golvet respektive temperaturen i brandgaslagret



Figur E.2.1 Brandgaslagrets höjd över golvet i ”rummet” närmast branden som funktion av tiden.



Figur E.2.2 Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden.

Appendix F Scenario 4 (Norregatan)

F.1 Effektkonstruktion

Poolens storlek antas begränsas av gatans fria bredd och avståndet mellan brunnarna till 11×20 m. Den brinnande vätskan antas vara toluen. Effekten \dot{Q} [MW] beräknas enligt ekv C.1.

$$\dot{Q}_{\text{toluen}} = 0,085 \cdot 0,8 \cdot (11 \times 20) \cdot 40,9 = 611,86 \text{ MW}$$

Här antas ett slangbrott, vilket ger ett tillskott till poolen så länge utsläppet pågår. Dock begränsas poolens area till 220 m². Avbrinningshastigheten för toluen är 4 mm/min. Det kan på grund av den manuella avstängningsventilens placering (i direkt anslutning till ventilen på bilens tank) antas att ingen avstängning av utflödet kommer att ske, det vill säga att hela tankens volym kommer att läcka ut. Utströmningsberäkningar med datorprogrammet Chemsplus ger att utflödet kommer att fortgå under ca 14,5 min. Det antas att en fem mm djup pool då har skapats. Med avbrinningshastighet på 4 mm/min kommer poolbranden att fortgå ytterligare en dryg minut efter det att tankbilen är tömd, det vill säga en total brinntid på ca 15,5 min. Därefter är det troligt att själva tankbilen har antänts och fortfarande brinner, men de första 15 minuterna är avgörande för om en katastrof ska inträffa. Den omedelbara närheten till Tankanläggningen gör detta till ett mycket riskabelt scenario.

F.2 Värmepåverkan på cistern

Vid dessa beräkningar antas kritiska förhållanden vara då insidan på cisternväggen i gasfasen uppnått den temperatur då gasen självantänder /7/. Denna temperatur ligger för toluen i området 480-552°C /8/. Även yttemperaturen inverkar på förloppet då det kan antas att det vid en viss yttemperatur blir för "fet blandning" för antändning i tanken. Denna temperatur har beräknats i F.2.2.

En antändning av gasblandningen i en cistern av denna typ får med stor sannolikhet effekten att locket på cisternen kommer att sprängas bort. Detta på grund av att lockets svetsfog dimensioneras för att den ska ge efter först. Denna konstruktion gör att sannolikheten att cisternen ska haverera i övrigt minskar. Efter denna inledande explosion kommer förloppet sannolikt att övergå i en cisternbrand med ytterligare brandpåverkan på intilliggande cisterner som följd.

Källan till värmepåverkan på cisternerna är den poolbrand som beskrivs i kap. 3.4 Scenario 4 (Norregatan). Då poolbranden är belägen på ca 1 m avstånd från närmaste cistern kan det antas att cisternen utsätts för direkt flampåverkan. En poolbrand med toluen har en flamtemperatur på ca 900°C. /3/

F.2.1 Uppvärmning av cisternvägg*F.2.1.1 Beräkningsgång*

Den tid som åtgår tills insidan på cisternen uppnått vätskans AIT (Auto Ignition Temperature) beräknas enligt formeln för system med koncentrerad massa:

$$\frac{T(t) - T_g}{T_0 - T_g} = e^{-t/t_c} \quad [\text{ekv F.1}]$$

där

$T(t)$ = Temperaturen på angivet avstånd (d) in i materialet efter tiden t [°C]

T_0 = Temperaturen före brandpåverkan [°C]

T_g = Temperaturen som påverkar materialet vid brandpåverkan [°C]

t = Tiden [s]

t_c [s] är systemets tidskonstant och beräknas enligt:

$$t_c = \frac{c \cdot \rho \cdot d}{h} \quad [\text{ekv F.2}]$$

där

d = Materialets tjocklek [m]

c = Specifika värmekapaciteten [J/kgK]

ρ = Materialets densitet [kg/m³]

h = Totala värmeövergångstalet [W/m²K]

Villkoret för att beräkning enligt system med koncentrerad massa ska kunna göras är att följande är uppfyllt:

$$\frac{h \cdot d}{k} \leq 0,1 \quad [\text{ekv F.3}]$$

där k är materialets värmeledningstal [W/m°C].

/12/

F.2.1.2 Beräkning

Här sätts:

$$T(t) = 480 \text{ °C (AIT för toluen)}$$

$$T_0 = 15 \text{ °C (Antagen utomhustemperatur)}$$

$$T_g = 800 \text{ °C (Flamtemperaturen)}$$

$$d = 0,004 \text{ m (Cisternväggens tjocklek)}$$

$$c = 460 \text{ J/kgK (Specifika värmekapaciteten för stål)}$$

$$\rho = 7820 \text{ kg/m}^3 \text{ (Densiteten för stål)}$$

$$h = 100 \text{ W/m}^2\text{K (Totala värmeövergångstalets medelvärde vid övertänd brand)}$$

$$k = 45 \text{ W/m}^{\circ}\text{C (Värmeledningstalet för stål)}$$

/12/

detta ger att formlerna för system med koncentrerad massa kan användas och ger:

$$t = 2,2 \text{ min}$$

det vill säga att det, vid denna flamtemperatur och utomhustemperatur, efter 2,2 minuter finns risk för antändning av de brännbara gaserna över vätskeytan i cisternen.

F.2.1.3 Känslighetsanalys

Här varierar T_g (den påverkande flamtemperaturen) då denna temperatur kan antas fluktuera på grund av bland annat vindförhållanden och h (totala värmeövergångstalet). Övriga ingående data enligt ovan. Resultatet har sammanställts i tabell F.2.1.3.1.

Tabell F.2.1.3.1 Känslighetsanalys, värmepåverkan på cistern.

$h \downarrow$ $T_g \rightarrow$	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
100 W/m ² K	7,7 min	3,8 min	2,7 min	2,2 min	1,8 min
150 W/m ² K	5,1 min	2,5 min	1,8 min	1,4 min	1,2 min
200 W/m ² K	3,83 min	1,9 min	1,4 min	1,1 min	0,9 min

Känslighetanalysen visar att värmeövergångstalet är det som har störst betydelse för hur lång tiden blir. Värmeövergångstalet varierar med geometri, fluidegenskaper, flödeskaraktäristika och temperaturskillnaden. Den radiativa delen av värmeövergångstalet befinner sig mellan värdena 100-200 W/m²K /12/ vid en övertänd brand. Detta är väsentligt större än de 10-25 W/m²K som utgör den konvektiva delen varför dessa bakats in i det totala värmeövergångstalet. Känslighetsanalysen visar också att även om de lägre värdena på flamtemperatur väljs blir tiden till risk för antändning oacceptabelt kort.

För att ytterligare kontrollera dessa beräkningar har datorprogrammet HSLAB använts. Indata har varit de samma som i beräkningen ovan och värmeövergångstalet på icke brandpåverkade sidan har angivits till $20 \text{ W/m}^2\text{K}$. HSLAB ger tiden 68 sekunder tills $480 \text{ }^\circ\text{C}$ har uppnåtts på icke brandpåverkade sidan.

Båda beräkningarna visar att tiden till kritiska förhållanden är mycket kort och klart understiger räddningstjänstens insattid.

F.2.2 Brännbarhetsområde

Enligt /3/ är brännbarhetsområdet för toluen 1,2 – 7,1 vol %. Här är den intressanta faktorn inom vilka temperaturintervall det finns brännbar blandning i cisternen.

F.2.2.1 Beräkningsgång

Formel för beräkning av ångtryck vid olika temperaturer:

$$\log_{10} p^0 = (-0,2185 \cdot E/T) + F \quad [\text{ekv F.4}]$$

där:

$$p^0 = \text{Ångtryck [mmHg]}$$

$$E = \text{Ångbildningsvärme [tabellvärde]}$$

$$F = \text{Tabellvärde}$$

$$T = \text{Temperatur [K]}$$

$$\frac{p^0}{p_{tot}} = \frac{V}{V_{tot}} \quad [\text{ekv F.5}]$$

där:

$$V = \text{Volymen av det aktuella ämnet [m}^3\text{]}$$

$$V_{tot} = \text{Totala volymen i cisternen [m}^3\text{]}$$

$$p^0 = \text{Ångtryck (partialtrycket av det aktuella ämnet) [mmHg]}$$

$$p_{tot} = \text{Totala trycket i cisternen (i detta fall normalt lufttryck) [mmHg]}$$

Ur ekv F.5 löses p^0 ut och sättes in i ångtrycksformeln (ekv F.4) varefter T kan lösas ut.

F.2.2.2 Beräkning

Ingångsvärden samtliga beräkningar:

$$p_{tot} = 760 \text{ [mmHg]}$$

$$E(\text{toluen}) = 8580,5$$

$$F(\text{toluen}) = 7,7194$$

Undre brännbarhetsgräns:

$$V/V_{tot} = 0,012 \quad (1,2 \%)$$

Detta ger:

$$T_{\text{undre brännbarhetsgräns}} = 277 \text{ [K]} = 4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Övre brännbarhetsgräns:

$$V/V_{tot} = 0,071 \quad (7,1 \%)$$

Detta ger:

$$T_{\text{övre brännbarhetsgräns}} = 313 \text{ [K]} = 40 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

F.2.2.3 Känslighetsanalys

För att kontrollera dessa beräkningar har resultaten jämförts med ångtryckskurvor i RIB /10/ och dessa jämförelser visar en god överensstämmelse med beräkningarna.

F.2.3 Resultat

Beräkningarna visar att cisternens insida på mycket kort tid uppnår lösningsmedlets antändningstemperatur, vilket gör att stor risk finns för att explosion inträffar i cisternen. De beräknade tiderna till risk för antändning/explosion blir så korta att det inte finns möjlighet för räddningstjänsten att påbörja insats innan kritiska förhållanden har uppstått.

Beräkningarna visar också att det inom temperaturintervallet 4 – 40°C kommer att finnas brännbar blandning i cisternen, vilket möjliggör antändning. Detta temperaturintervall omfattar de temperaturer som cisternen i normala fall kan förväntas ha.

F.3 Strålning mot tak b.27

Den stora flammen från poolbranden i Norregatan kommer att påverka de kringliggande byggnaderna. Den största risken för brandspridning, förutom en eventuell cisternsprängning, är strålningen mot taket på byggnad 27. Takets ytskikt är av tjärpapp som är relativt lättantändligt. Takets dimensioner är 60×40 m² och byggnaden är ca fem m hög. Flammen är 20 m bred och ca 34 m hög. Strålningen mot taket beräknas med formeln:

$$\dot{q}'' = \Phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [\text{ekv F.6}]$$

där

Φ = synfaktor [-] (från diagram s.63-69 /6/)

ε = emissivitet [-] (= 1, för stora kolvätebränder /6/)

σ = Stefan-Bolzmanns konstant = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T = flamtemperaturen [K] (för kolväteflammar ca 900 °C /6/)

$$\dot{q}''_{\text{byggnad 27}} = 0,18 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 = 19,3 \text{ kW/m}^2$$

Medelstrålningen taket kommer att utsättas för blir 19 kW/m². Detta är inte en särskilt hög strålning. Som jämförelse kan nämnas att trä självantänder vid långvarig exponering för 29 kW/m². Den beräknade strålningen är medelstrålningen över hela takytan. Det är viktigt att poängtera att taket sannolikt kommer att antändas i den kant som är närmast flammen där strålningsnivåerna är väsentligt högre och initialflamma finns. En brandspridning över taket är då möjlig.

F.4 Värmeledning genom isolering

För att få en uppfattning om storleksordningen på effekten av att isolera cisternerna har beräkningar gjorts på värmeledning genom isolering, i detta fall 50 mm mineralull.

F.4.1 Beräkningsgång

Den tid som åtgår tills insidan på isoleringen uppnår 500°C har här satts som dimensionerande. Här har gjorts det grova antagandet att isoleringen är att betrakta som halvoändlig, varför beräkningen görs enligt /12/:

$$T(x,t) = T_0 + (T_1 - T_0) \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{\sqrt{4 \cdot \alpha \cdot t}} \right] \quad [\text{ekv F.7}]$$

där

$T(x,t)$ = Temperaturen på avståndet x in i materialet efter tiden t [°C]

T_0 = Temperaturen före brandpåverkan [°C]

T_1 = Temperaturen som påverkar materialet vid brandpåverkan [°C]

x = Avståndet in i materialet där temperaturen söks [m]

α = [m²/s]

t = Tiden [s]

För $\operatorname{erfc}(x)$ gäller:

$$\operatorname{erfc}(x) \approx e^{-x^2} \cdot \frac{2 + x}{2 + (1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}) \cdot x + \sqrt{\pi} \cdot x^2} \quad [\text{ekv F.8}]$$

$(0 \leq x \leq \infty)$

F.4.2 Beräkning

Här sätts:

$T(x,t) = 500$ [°C]

$T_0 = 15$ [°C] (Antagen initialtemperatur)

$T_1 = 800$ [°C] (Flamtemperatur)

$x = 0,05$ [m] (Mineralullsskivans tjocklek)

$$\alpha = 5,1 \cdot 10^{-7} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Dessa värden hämtas från tabell /12/.

detta ger:

$$t \approx 3200 \text{ [s]} = \text{ca } 53 \text{ min.}$$

det vill säga att det, vid denna flamtemperatur och initialtemperatur, efter 53 min är 500°C på isolerskivans insida. Det ska observeras att detta är en grov approximation för att få en uppfattning av effekten av att isolera en cistern. Om detta skall göras i verkligheten, bör mer exakta beräkningar utföras för att avgöra hur tjock isoleringen skall vara.

Appendix G Scenario 5 (Alkydkok)

G.1 Effektkonstruktion

Poolstorleken uppskattas till ca 30 m^2 , dvs halva den fria golvytan. Detta grundas på empiriska försök med alkyd som visar att viskositeten är relativt hög även i uppvärmt tillstånd (jämfört med exempelvis toluen) samt att de utbrunna resterna begränsar ytterligare tillväxt av poolen. Förbränningsvärme och massavbrinning för alkyd har bestämts vid detta försök, se Appendix J.

Effekten \dot{Q} [MW] beräknas med ekv C.1.

$$\dot{Q}_{\text{alkyd}} = 0,026 \cdot 0,6 \cdot 30 \cdot 34,0 = 15,9 \text{ MW}$$

Densiteten för alkyden varierar mellan $0,9\text{-}1,2 \text{ kg/dm}^3$, som medelvärde har $1,0 \text{ kg/dm}^3$ använts. Om utsläppet inte begränsas kan 6 m^3 alkyd läcka ut, dvs 6000 kg . Poolstorleken antas konstant under utsläppstiden. Detta är naturligtvis en förenkling men det är mer troligt att alkyden rinner ner på bottenplanet än att poolstorleken påverkas drastiskt. Avbrinningen från poolen blir:

$$\dot{m} = 0,026 \cdot 30 = 0,78 \text{ kg/s}$$

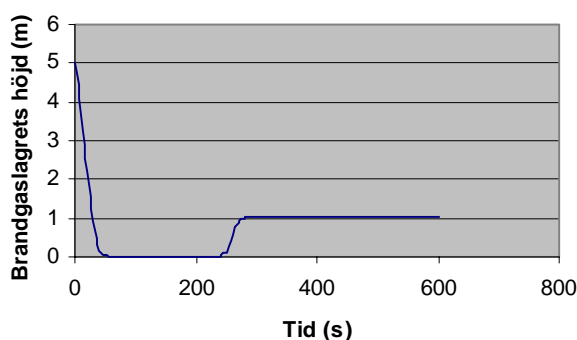
och därmed blir brandens teoretiska varaktighet

$$t = 6000/0,78 = 7692 \text{ s} \approx 2 \text{ timmar}$$

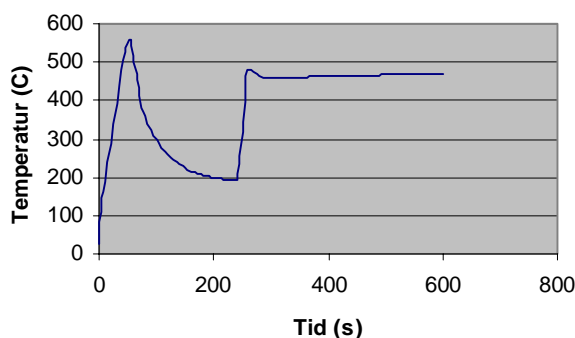
G.2 Resultat från HAZARDI-simuleringar

Alkydkoket består av två plan och har två stora portar. På övre planet finns en gummitätad inlastningsport för inlastning av pallar med hjälp av truck. På bottenplanet finns en stor plåtdörr, ca 4 m hög. Dörren sticker alltså upp även på övre planet, detta är utformat i durkplåt på stålpelare och en spalt finns mellan planet och ytterväggen.

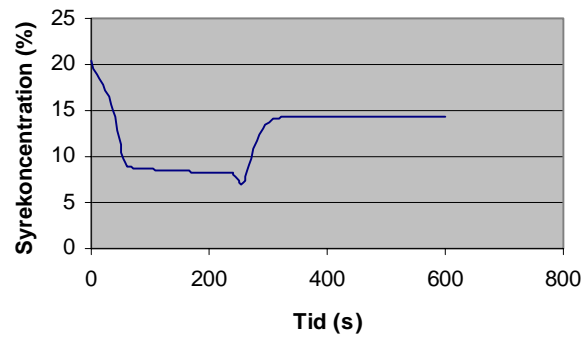
Den stora plåtdörren antas öppnas av brandförsvaret när de kommer på plats efter ca fem minuter. Rökluckornas area är här ca 4 m². Figureerna G.2.1 och G.2.2 visar brandgaslagrets höjd över golvet respektive temperaturen i brandgaslagret. Figur G.2.3 visar syrekonzentrationen i brandrummet.



Figur G.2.1 Brandgaslagrets höjd över golvet i brandrummet som funktion av tiden.



Figur G.2.2 Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden.



Figur G.2.3 Syrekonzentrationen i brandrummet.

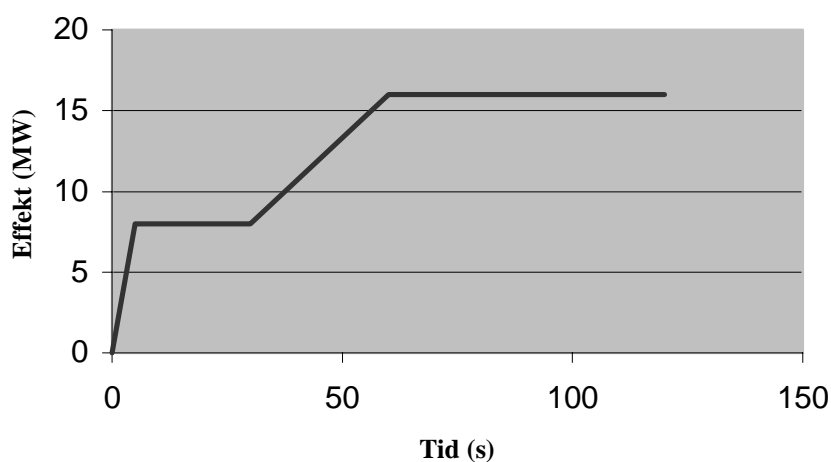
Appendix H Scenario 6 (Dunkfyllning b.30)

H.1 Effektkonstruktion

Den lack som används i detta brandscenario innehåller ungefär en tredjedel lösningsmedel. Då ΔH_c -värden saknas för lacken antas poolbranden bestå av aceton i plastkärl. Det är troligt att detta överskattar effekten något. Den första trasiga dunken antas ge upphov till en 10 m^2 stor pool. Antändning antas ske efter några sekunder då poolen uppnått maxstorlek. Plastkärlen är känsliga för brandpåverkan och ca 30 s efter antändning antas nästa dunk gå sönder. Poolen växer då till dubbel storlek. Avbrinningen och lackens viskositet gör att arean inte växer ytterligare trots att fler dunkar går sönder. Strålningen till det material som lagras i lokalen är avgörande för utgången av detta scenario, se vidare appendix H.3. Effekten \dot{Q} [MW] från branden beräknas med ekv C.1.

$$\dot{Q}_{\text{aceton, dunk 1}} = 0,041 \cdot 0,8 \cdot 10 \cdot 25,8 = 8,44 \text{ MW}$$

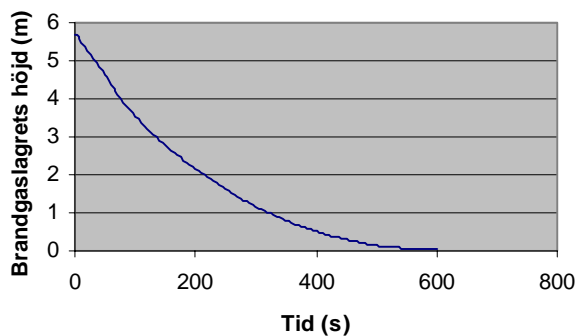
Den slutliga effektkurvan visas i figur B.6.1.



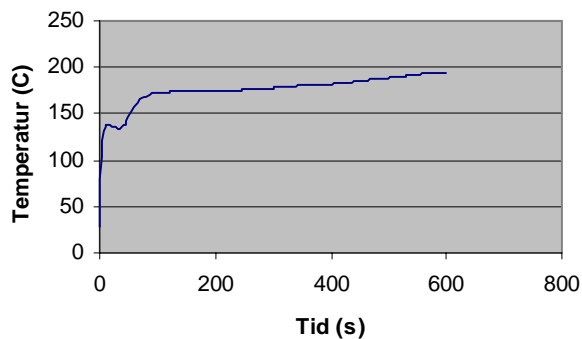
Figur B.6.1 Effektkurva för scenario 6

H.2 Resultat från HAZARDI-simuleringar

Öppningsarean i detta scenario består av 22 m² rökluckor. Det motsvarar att hälften av rökluckorna i lokalen öppnas initialt vilket är rimligt då branden är koncentrerad till byggnadens södra del. Inte heller i detta scenario är truckdörrarna direkt brandpåverkade. Figurerna H.2.1 och H.2.2 visar brandgaslagrets höjd över golvet respektive temperaturen i brandgaslagret



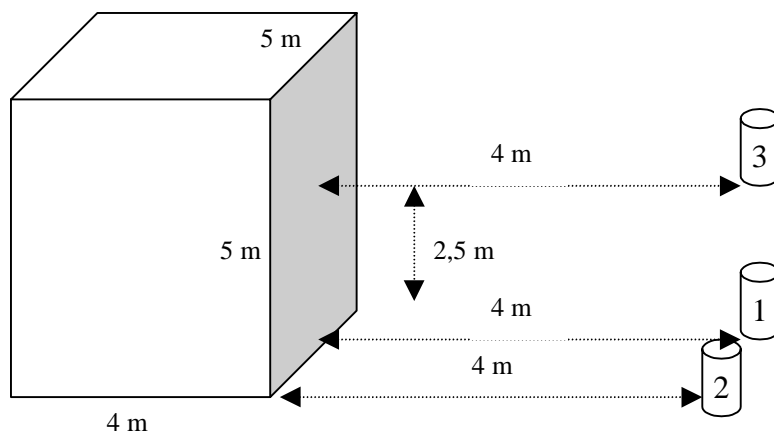
Figur H.2.1 Brandgaslagrets höjd över golvet i brandrummet som funktion av tiden.



Figur H.2.2 Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden.

H.3 Strålning mot pappfat

Tre fall har beräknats. Ett då branden befinner sig mitt för fatet (1), ett där fatet är placerat i yttre kanten av branden (2) samt ett där fatet är placerat på bryggplanet 2,5 m upp mitt för branden (3), se figur H.3.1.



Figur H.3.1 De tre beräknade strålningsfallen.

Strålningen till faten beräknas med ekvation F.6.

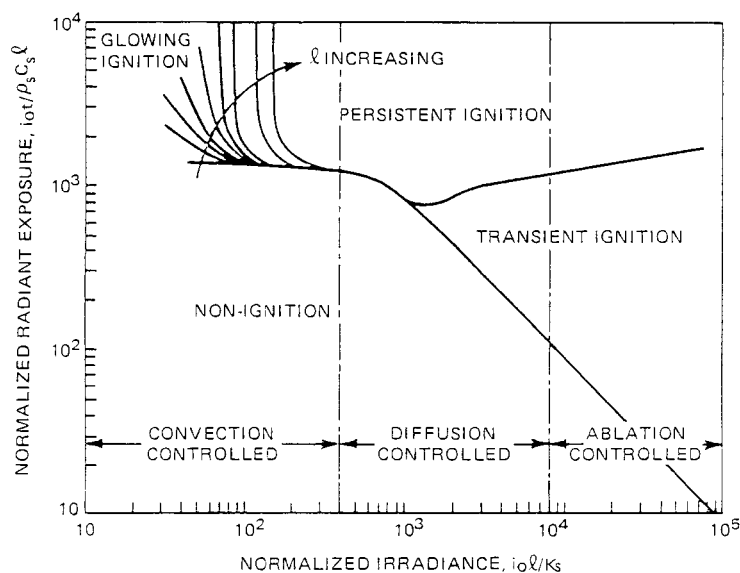
En sammanställning av de olika fallen presenteras i tabell H.3.1.

Tabell H.3.1. Sammanställning av strålningsfall

Fall	Temperatur [K]	Synfaktor	Strålning [kW/m ²]
1	1173	0,22	23,6
2	1173	0,16	17,2
3	1173	0,32	34,3

Det fall som leder till störst strålningspåverkan på pappfatet är fall 3 när fatet är placerat på bryggplanet. Detta är också den mest sannolika placeringen varför detta fall används som dimensionerande i fortsatta beräkningar.

För att ta reda på när fatet antänds används den s.k Martins map /3/. Martins map är ett diagram som visar cellulosas beteende vid olika strålningspåverkan, se figur H.3.2. Ingående parametrar är bl.a. infallande strålning, exponeringstid, materialets tjocklek och olika materialspecifika parametrar.



Figur H.3.2 Martins map /3/

Martins map visar att det 5 mm tjocka pappfatet antänds mycket snabbt, efter endast någon eller några sekunder, men kommer att självslockna om den yttre strålningen tas bort. Detta leder till slutsatsen att om flammorna från poolbranden fortsätter att utstråla energi mot pappfatet tillräckligt länge för att nitrocellulosa ska antändas är ett katastrofscenari på väg att utvecklas. Eftersom branden utvecklar 16 MW och ca 6 m höga flammor efter endast en minut är det troligt att detta scenario kommer att uppstå.

Appendix I Scenario 7 (Lager)

I.1 Effektkonstruktion

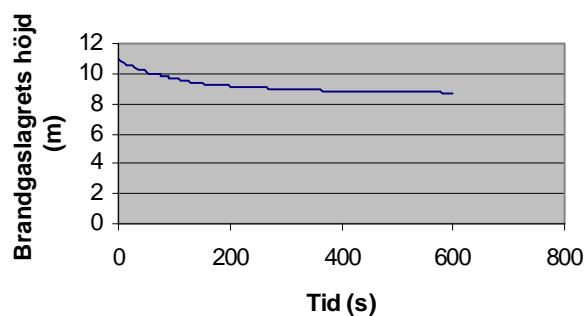
Poolens storlek beror här enbart av skiktjockleken och eventuella hinder. En rimlig skiktjocklek är ett genomsnitt på 2 mm, detta varierar då golvet inte är helt jämnt. Poolarean blir då hela 250 m². Vanliga värden för energiinnehållet i brandfarlig vara klass 1 är runt 45 MJ/kg. Om detta värde används blir effektutvecklingen från poolen enligt ekv C.1:

$$\dot{Q} = 0,065 \cdot 0,8 \cdot 250 \cdot 45,0 = 400 \text{ MW}$$

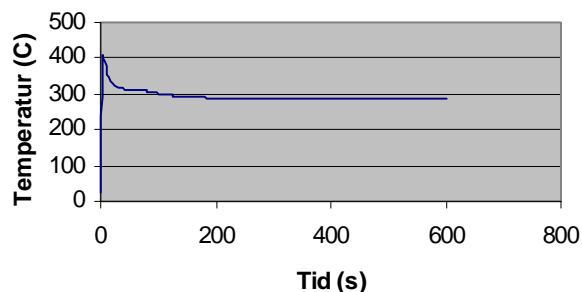
Avbrinningshastigheten för poolen är ca 4 mm/min. Flamspridningshastigheten över vätskeytan är ca 1 m/s /3/ vilket medför att hela poolen brinner efter 18 s och har brunnit ut efter 48 s. Maximal effekt utvecklas under ca 30 s. Denna tid kan tyckas för kort för att orsaka brandspridning, men den enorma effektutvecklingen gör att stora delar av ställagen kommer att börja brinna omedelbart.

I.2 Resultat från HAZARDI-simuleringar

Även i scenario 7 antas hälften av rökluckorna öppnas, dvs 60 m^2 . I lokalen finns flera stora utlastningsportar och ett värsta fall vore om någon av dessa var öppna när branden startade, varför en öppning $4 \times 3 \text{ m}^2$ har lagts in i simuleringarna. Det är osäkert hur effektutvecklingen från ställagebranden kommer att se ut men den kommer att bli mycket stor. För att få en uppfattning om hur detta scenario kan utvecklas har en konstant effektutveckling av 60 MW (HAZARDI:s maxeffekt) simulerats. Figurerna I.2.1 och I.2.2 visar brandgaslagrets höjd över golvet respektive temperaturen i brandgaslagret



Figur I.2.1 Brandgaslagrets höjd över golvet i brandrummet som funktion av tiden.



Figur I.2.3 Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden.

Ventilationskontroll uppstår inte i lagret under de första tio minuterna.

I.3 Beräkning av takets bäriighet

För att undersöka takets bäriighet vid brandpåverkan har följande antaganden gjorts:

Taket förlorar sin bäriighet när armeringen förlorat sin bäriighet. Stål förlorar sin bärförmåga vid ca 500°C. Här har därmed antagits att när armeringens temperatur uppnår 500°C förlorar taket bärförmågan.

I.3.1 Värmeledning genom lättbetongelement

I.3.1.1 Beräkningsgång

Kontroll av halvoändlighet:

$$L \geq 2,8 \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}$$

L = Tjockleken på taket 0,25 [m]

α = (Lättbetong) $4,8 \cdot 10^{-7}$ [m²/s] /12/

t = Tid [s]

$$0,25 \geq 2,8 \cdot \sqrt{4,8 \cdot 10^{-7} \cdot t}$$

$$\Rightarrow t = 16608s = 4,6h$$

Den tid som åtgår tills den sökta temperaturen (här 500°C) uppnåtts på avståndet x [m] in i materialet beräknas enligt:

$$T(x, t) = T_0 + (T_1 - T_0) \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{\sqrt{4 \cdot \alpha \cdot t}} \right]$$

där

$T(x, t)$ = Temperaturen på avståndet x in i materialet efter tiden t [°C]

T_0 = Temperaturen före brandpåverkan [°C]

T_1 = Temperaturen som påverkar materialet vid brandpåverkan [°C]

x = Avståndet in i materialet där temperaturen söks [m]

α = Lättbetong [m²/s]

t = Tiden [s]

För $\operatorname{erfc}(x)$ gäller:

$$\operatorname{erfc}(x) \approx e^{-x^2} \cdot \frac{2+x}{2 + (1 + \frac{4}{\sqrt{\pi}}) \cdot x + \sqrt{\pi} \cdot x^2}$$

$(0 \leq x \leq \infty)$

1.3.1.2 Beräkning

Här sätts:

$T(x,t) = 500$ [°C] (Kritisk temperatur, armering)

$T_0 = 15$ [°C] (Antagen initialtemperatur)

$T_1 = 1000$ [°C] (Flamtemperatur)

$x = 0,03$ [m] (Täckskiktets tjocklek)

$\alpha = 4,8 \cdot 10^{-7}$ [m²/s] (Lättbetong) /12/

detta ger:

$t = 1922$ [s] = 32 [min]

1.3.1.3 Känslighetsanalys

Beräkningar utförda med varierande flamtemperatur visar att sänkta flamtemperaturer ökar tiden till kritiska förhållanden, dvs när rasrisk finns, marginellt. Likaså ger ökade flamtemperaturer sänkta tider. Generellt kan sägas att tiden till kritiska förhållanden inom det aktuella temperaturomfånget kommer att vara i storleksordningen 30 min.

Appendix J Försök

J.1 Försöksuppställning

För att bestämma effektutvecklingen från bränder i alkyd och i lösningsmedelsbaserad färg utfördes försök i brandlaboratoriet vid Institutionen för Brandteknik, LTH. Försöken gav också en uppfattning om brandens beteende samt storleksordningen på förbränningseffektiviteten.

I försöken förbrändes vätskan i plåtkärl. Brandgaserna samlades upp i en huv och leddes vidare in i en brandgaskanal se fig. J.1.

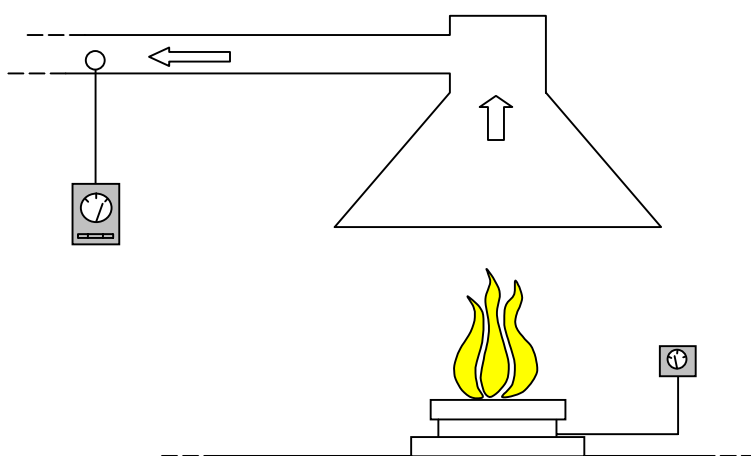


Fig. J.1: Försöksuppställning

I kanalen mäts brandgasernas sammansättning. De intressanta parametrarna i detta fall är volymflöde och halten av syre. Med hjälp av detta kan syrgasförbrukningen och därmed den utvecklade effekten beräknas. Den energi som utvecklas per kg förbrukat O_2 är approximativt detsamma för de flesta bränslen, $13,1 \text{ MJ/kg}_{O_2}$. I detta fall användes en, till mätutrustningen kopplad, dator som beräknar effektutvecklingen [kW].

Med hjälp av en våg mättes massförlusten för branden varefter energiinnehållet [$\text{MJ/kg}_{\text{bränsle}}$] kan beräknas enligt:

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \cdot \chi \cdot A_{pool} \cdot \Delta H_c \quad [\text{ekv C.1}]$$

där:

$$\dot{Q} = \text{Effektutveckling [kW]}$$

$$\dot{m}'' = \text{Massförlust [kg/m}^2\text{s]}$$

χ = Förbränningseffektiviteten

A_{pool} = Poolens area [m^2]

ΔH_c = Energiinnehåll [MJ/kg]

J.2 Resultat från försöken

Försök gjordes på prover tillhandahållet från Akzo Nobel. De proverna bestod av IT 90 (lösningsmedelsbaserad industrifärg), ugnslack och Alkyd. I samtliga försök användes ett cirkulärt kärl med diameter 27 cm. Bränslet hade en initialtemperatur, vid antändningsögonblicket, på ca 20°C.

J.2.1 Försök 1, IT 90

Vid antändning blev flamspridningen över ytan snabb och maxeffekten, ca 40 kW, uppnåddes på ca en minut och bibehölls på en relativt konstant nivå under brandförloppet första del (de första ca 5 min). Effekten minskade sedan under den senare delen av förloppet sannolikt beroende på att den fria vätskeytan minskar p.g.a. kraftig kolbildning. Flamhöjden uppmättes till ca 0,8 m.

Följande värden användes i beräkningen av ΔH_c :

$$\dot{Q} = 40 \text{ [kW]}$$

$$\dot{m}'' = 0,043 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$$

$$\chi = 0,67$$

$$A_{\text{pool}} = \pi \cdot 0,27^2 / 4 \text{ [m}^2\text{]}$$

Vilket ger ett ΔH_c på ca 24 MJ/kg.

J.2.2 Försök 2, Ungslack

Vid antändning blev flamspridningen över ytan snabb och maxeffekten, ca 25 kW, uppnåddes på ca en minut och bibehölls på en relativt konstant nivå under brandförloppet. Branden utvecklade kraftiga svarta brandgaser. När bränslet hade brunnit ut kunde konstateras att stora mängder kol hade bildats på kärlets botten. Flamhöjden uppmättes till ca 0,7 m.

Följande värden användes i beräkningen av ΔH_c :

$$\dot{Q} = 25 \text{ [kW]}$$

$$\dot{m}'' = 0,020 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$$

$$\chi = 0,6$$

$$A_{\text{pool}} = \pi \cdot 0,27^2 / 4 \text{ [m}^2\text{]}$$

Vilket ger ett ΔH_c på ca 36 MJ/kg.

J.2.3 Försök 3; Alkyd

Vid antändning blev flamspridningen över ytan initialt relativt långsam och en fluktuerande brand uppstod. Först när brandpåverkan hade höjt temperaturen i bränslet uppnåddes en jämn förbränning över hela ytan. I det scenario där alkyd antas vara det brinnande mediet (scenario 5) håller alkyden redan initialt en hög temperatur vilket medför en snabbare flamspridning, varför värden från den senare delen av brandförloppet, då alkyden är uppvärmd, har använts vid beräkning av ΔH_c . I detta skede stabiliserades effekten vid ca 30 kW. Branden utvecklade kraftiga svarta brandgaser. När bränslet hade brunnit ut kunde konstateras att små mängder sot hade bildats på kärlets botten. Flamhöjden uppmättes till ca 0,7 m.

Följande värden användes i beräkningen av ΔH_c :

$$\dot{Q} = 30 \text{ [kW]}$$

$$\dot{m}'' = 0,026 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$$

$$\chi = 0,6$$

$$A_{\text{pool}} = \pi \cdot 0,27^2 / 4 \text{ [m}^2\text{]}$$

vilket ger ett ΔH_c på ca 34 MJ/kg.