



Stockholms brandförsvär



KONSEKVENSER VID TANKBILSOLYCKA MED BENSIN I STOCKHOLMS
INNERSTAD

STOCKHOLMS BRANDFÖRSVAR
1998



STOCKHOLMS BRANDFÖRSVAR

BRAND- OCH BEFOLKNINGSSKYDDSAVDELNINGEN

Bilderna på framsidan visar utsläppsförsök i korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen (Stockholm), eldningsförsök på Ågesta-övningsanläggning samt hål på ett tankbilssläp orsakat av brand i plasthjulhus

**Rapporten är skriven av brandingenjörstud. Pontus Skogetun för
Stockholms brandförsvär**

Stockholm, 1998

Förord

Stockholms brandförsvår arbetar kontinuerligt med att minska riskerna i Stockholm. Transporter av bensin och placering av bensinstationer i innerstaden innebär risker. Brandförsvåret har länge påtalat att dessa bör begränsas. Lämpliga åtgärder för att begränsa riskerna måste också utgå från kunskap om risken.

Denna rapport utgör ett diskussionsunderlag för lämpligheten med transporter av bensin i Stockholms innerstad. Förhoppningen är att alla intressenter i frågan nu får en bättre grund för en nyanserad bedömning av riskerna, utifrån de konsekvenser en tankbilsolycka kan medföra. Rapporten är framtagen av Pontus Skogetun, student på Lunds Tekniska Högskola och faktagranskad av Rickard Forsén, chef för institutionen Materialdynamik vid FOA för Vapen och Skydd. (Utlåtande från FOA finns i slutet av rapporten)

Stockholm 98-11-12

Hans Lagerhorn
Brandchef

Bilderna på framsidan visar utsläppsförsök i korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen (Stockholm), eldningsförsök på Ågesta-övningsanläggning samt hål på ett tankbilssläp orsakat av brand i plasthjulhus

Sammanfattning

Rapporten beskriver vilka konsekvenser en tankbilsolycka med bensin kan medföra för människor och byggnader i Stockholms innerstad. En schablonbrand framtagen efter försök med vattenutsläpp i Stockholm anses vara en dimensionerad brand och ligger till grund för diskussioner.

Det framkommer i rapporten att människor som vistas inom ett avstånd från branden på 50 meter riskerar 2:a gradens brännskador av varierande art. Det framkommer också att en olycka där en större mängd bensin rinner ut på gatan och antänds kan orsaka brandspridning till närbelägna byggnader samt fordon. Risken är stor för brandspridning på 26 meters avstånd från utsläppets centrum. Sannolikheten är mycket stor att en olycka orsakar att bensin rinner ner i dagvattensystemet samt även avloppssystemet. Detta kan orsaka brandspridning och explosioner, men utreds inte närmare i denna rapport.

Brandförsvarets möjligheter att begränsa brand orsakad av tankbilsolycka samt miljökonsekvenser orsakad av rökutveckling utreds inte i rapporten.

.....	1
FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	4
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.
INLEDNING	6
DEL 1 SCENARIER VID TANKBILSOLYCKA	6
INTRÄFFADE OLYCKOR MED BENSINTRANSPORTER.....	6
TRANSPORTER I STOCKHOLMS INNERSTAD.....	7
TANKBILSKONSTRUKTION	7
TÄNKBART OLYCKSSCENARIO.....	7
BENSINUTSLÄPPETS STORLEK.....	7
SCHABLONMÄSSIGT BRANDSCENARIO.....	8
<i>Konsekvenser av ett schablonmässigt brandscenario</i>	9
BRANDSCENARIO FÖR VALHALLAVÄGEN 63	10
BRANDSCENARIO FÖR KORSNINGEN TORSGATAN-KARLBERGSVÄGEN	10
SPRIDNING AV BENSIN TILL DAGVATTENSYSTEMET	12
<i>Risker med bensin i dagvattenssystemet</i>	12
<i>Konsekvenser på Henriksdals reningsverk</i>	13
<i>Tidigare erfarenheter av bensin i dagvattenssystem</i>	13
DEL 2 BERÄKNINGAR OCH TEKNISKA BESKRIVNINGAR	14
UTSLÄPPSFÖRSÖK	14
<i>Utsläpp av vatten på Brännkyrka brandstation</i>	14
<i>Utsläpp av vatten på Valhallavägen 63</i>	14
<i>Utsläpp av vatten i korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen</i>	14
BRANDFÖRSÖK MED BENSIN PÅ ÅGESTA-ÖVNINGSANLÄGGNING.....	14
<i>Försök 1</i>	15
<i>Försök 2</i>	15
BERÄKNINGAR	15
<i>Fakta om bensin</i>	15
<i>Indata till strålningsberäkningar</i>	16
<i>Strålningsberäkningar för rännilsbrand</i>	16
<i>Schablonbranden</i>	17
<i>Avstånd från brandens centrum [m]</i>	18
<i>Strålningsberäkningsformler</i>	21
<i>Utdata från handberäkningar</i>	22
BESKRIVNING AV HERBORNOLYCKAN REDOVISAD AV SKANDIA	23
BILDER FRÅN HERBORNOLYCKAN REDOVISADE AV SKANDIA	24
REFERENSFÖRTECKNING	25
UTSKRIFT FRÅN DATORBERÄKNINGAR MED SUPERCHEMS	26
AREA 100	26
AREA 150	32
AREA 200	33
AREA 250	34
AREA 300	34

AREA 350	35
AREA 400	36

Inledning

Syftet med denna rapport är att beskriva och klargöra de troligaste konsekvenserna av en tankbilsolycka med bensin, i Stockholms innerstad. Rapporten är uppdelad i två delar, den första med fakta och resonemang, den andra med beräkningar och diagram. För att kunna göra en rimlig och välgrundad analys av vad en tankbilsolycka i Stockholms innerstad kan få för konsekvenser har erfarenheter från tidigare olyckor, teoretiska modeller samt egna försök legat till grund för denna rapport. De egna försöken består av tre olika utsläpp med vatten från brandförsvarets tankbilar samt eldning av bensin på brandförsvarets övningsanläggning i Ågesta.

Rapporten beskriver inte de miljökonsekvenser en olycka skulle orsaka. Förslag till åtgärder för säkrare bensintransporter och redogörelse för brandförsvarets möjlighet att begränsa en brand lämnas inte i rapporten.

DEL 1 Scenarier vid tankbilsolycka

Inträffade olyckor med bensintransporter

Olyckor med tankbilstransporter tillhör inte de vanligaste olyckorna i trafiken, dock händer det att de inträffar. 1987 var ett år då flera uppmärksammade bensintransportsolyckor inträffade. Olyckan i staden Herborn, i det dåvarande Västtyskland, är den mest uppmärksammade då 35 000 liter bensin antänds och 6 personer omkommer, ca 40 personer sökte läkarvård och drygt 20 byggnader förstördes av branden /10/. Orsaken till olyckan var att tankbilen, som bestod av både dragbil och släp, fått fel på bromsarna och välvt i en kurva inne i staden. Tankarna revs upp och bensinen flödade ut över gatan och in i husen samt ned i dagvattenssystemet. Ungefär 5 minuter efter olyckan antändes bensinen och tack vare tidsfördröjningen kunde intilliggande fastigheter evakueras. Gatorna var så gott som tomma på folk redan innan olyckan vilket är en förklaring till varför relativt få omkom pga av branden, se bilder i slutet av delrapporten (Olyckan finns på videofilm).

I Norrköping inträffade (1987) en tankbilsbrand på en depåstation (Pampus), vilket troligtvis orsakades av statisk elektricitet på en stillastående tankbil. Branden spred sig till närliggande byggnad och ytterligare en tankbil, ytan med brinnande bensin uppskattades av Norrköpings brandförsvår till 700 m². Olyckan krävde inga dödsoffer då depåanläggningen låg avskilt från hus och andra byggnader. För att kunna släcka branden använde brandförsvaret bla flygplatsbrandkårens brandbilar med pulver- och skumfordon. (Olyckan finns på videofilm)

Stockholm drabbades också av en tankbilsolycka 1987, då en fullastad tankbil och släp med 27 000 liter bensin välte i en rondell i Råcksta. Föraren omkom men i övrigt klarade sig omkringliggande byggnader pga det långa avståndet till närmaste bebyggelse.

Transporter i Stockholms innerstad

Inom tullarna (det sk inre trafikområdet) råder ett generellt förbud att transportera bensin i tankbil men genom att söka dispens hos Länsstyrelsen i Stockholms län kan tillstånd erhållas för bensintransport. Villkoren för att få transportera bensin till bensinstationer är följande:

- att transportererna sker kortast möjliga färdväg från och till gränsen för det inre trafikområdet,
- att transportererna sker med beaktande av gällande föreskrifter om högsta tillåtna längd och vikt för fordon och
- att transportererna inte äger rum måndag-fredag kl 7-9 och kl 16-18.

Tankbilskonstruktion

Föreskrifterna säger att endast dragtankbil får användas för transporter innanför tullarna. En dragbil kan rymma mellan 16-18 m³ bensin (Ett släp kan rymma upp till 36 m³). Tanken är konstruerad av ett segt och slagttåligt specialaluminium (ALMG 4,5 MN) med en godstjocklek på 5 mm. De flesta tankarna på dragbilen är uppdelade i fyra fack med 4,5 m³/fack, men även tankar med tre fack används. Tankar med tre fack innehåller 16 m³ totalt, vilket ger 5,3 m³/fack. Facken är avskiljda mellan varandra med aluminiumplåt. På en av tankbilens långsidor finns en grenkoppling med förbindelse till samtliga fack. Denna utgör tankbilens mest utsatta komponent vid mekanisk åverkan. I Sverige finns i huvudsak två tanktillverkare, Motala tank i Mjölby samt LAG i Norrköping.

Tänkbart olycksscenario

Ett troligt scenario är en tankbil som välter och river upp ett hål i tanken, eller kolliderar med ett annat större fordon tex buss eller lastbil där ett vasst föremål penetrerar tanken. Att tankens hela volym skulle rinna ut momentant förefaller mycket osannolikt då tanken är uppdelad i 3-4 fack (dock inträffade det i Herborn pga tankbilens höga hastighet). Däremot kan innehållet i två fack successivt rinna ut eftersom en reva eller penetrering olyckligtvis kan ske mellan två fack. En skada på tanken där innehållet i två fack rinner ut innebär ca 10 m³ bensin på gatan. Bensin är klassad som mycket brandfarlig samt explosionsfarlig. Den termiska tändpunkten för bensin är 250 ° C, vilket gör att den kan antändas av ett varmt avgasrör eller katalysator till en bil som kan ha en temperatur på 1000 ° C. Även en cigarett kan orsaka antändning av bensin. En annan tändkälla kan vara friktionen vid en kollision som orsakar gnistbildning. Statisk elektricitet är ytterliggare en potentiell tändkälla.

Bensinutsläppets storlek

Det finns idag inga fullskaleförsök gjorda på ett scenario där en tankbil med bensin som börjar brinna där omgivande fastigheter kan antändas. Däremot har en hel del forskning gjorts kring mindre och större pölbränder i det fria. Detta har resulterat i ett antal beräkningsmodeller, både

handberäkningsmodeller och datorberäkningsprogram som har sin grund i fysikaliska lagar och observationer från försöken. Beräkningsmodellerna beräknar värmestrålning, flamhöjder och andra viktiga storheter.

För att kunna göra rimliga bedömningar av ett utsläpps storlek har författaren till rapporten utfört egna försök. Dessa utfördes med vattentankbilar på Brännkyrka brandstation, Valhallavägen 63 samt i korsningen Torsgatan - Karlbergsvägen. Försöken är beskrivna i detalj längre fram i rapporten.

Signifikant för de två försöken som utfördes på gatorna är att vattnet förr eller senare letar sig fram längs gatukanten för att sen rinna ner i dagvattensystemet. Gatorna är byggda så att regnvatten skall rinna ut mot gatans kant och därefter rinna undan via brunnarna.

Schablonmässigt brandscenario

Det är både tidsmässigt och kostnadsmässigt ohållbart att göra specifika konsekvensanalyser för varje vägvagn i Stockholm. Därför är det lämpligt att resonera kring tänkbara konsekvenser från sk schablonmässigt brandscenario. Avgörande för konsekvenserna är brandens ytmässiga utbredning vilket i sin tur ger avstånd till olika strålningspåverkan från branden. FOA-risk i Umeå har under de senaste åren arbetat med risk- och konsekvensanalyser i fredstid samt med metoder för samhällsplanering. De har i rapporten "Risker i Västernorrlands län" /2/ angett en area på 400 m² som ett schablonmässigt antagande. För att inte okritiskt antaga andra "expertbedömningar" antas i denna rapport 300 m² som en schablonmässig yta, där de egna försöken legat till grund för bedömningen. Antaganden beskrivs i detalj, längre fram.

De meteorologiska förhållanden som råder för schablonbranden är vindstill och utetemperatur +10° C. Dessa vädermässiga förhållanden ger en symmetrisk strålningseffekt runt branden. Om en tankbilsolycka antages ske kl 12.00 på dagen och ett läckage på 12 kg per sekund (15 liter/s) uppstår bildas en 300 m² stor yta med bensin och ett vätskedjup på 8 millimeter på drygt 2,5 minuter. Klockan 12.03 antänds bensinen och har då möjlighet att brinna i 7 minuter med oförminskad area, dvs 300 m². Därefter avtager arean, dock finns ca 1000 kg (1250 liter) bränsle kvar som fortsätter brinna men på en mindre yta.

Mängden bensin, ca 10 m³, som efter drygt 8 minuter haft möjlighet att rinna ut utgör endast innehållet från två fack. Ett tredje fack med bensin antas vara intakt men utsatt för brandpåverkan. Tidigare erfarenheter visar att, trots bensinens värmeledande förmåga som leder bort värme från aluminiumplåten, smälter manluckorna på tankens topp efter några få minuter. Aluminiums smälttemperatur är ca 660 °C. Lågornas temperatur är omkring 900 ° C vilket kraftigt överstiger aluminiumets smälttemperatur. Försök som Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Borås /6/ utfört visar att en tank innehållande bensin sakta smälter från toppen av tanken och nedåt. Detta gör att ytterligare ca 4200 kg (5300 liter) har möjlighet att läcka ut om än under ett långsamt förlopp.

Stockholms brandförsvaret har 7,5 minuters framkomsttid innanför tullarna (se räddningstjänstplan, sidan 9 pkt 6.2), vilket innebär den tid det tar från det att larmet går på brandstationen tills det att insats påbörjats inte får överstiga 7,5 minuter.

Konsekvenser av ett schablonmässigt brandscenario

Den värmestrålning som uppkommer till följd av branden är det som är farligt för människan samt det som åstadkommer den största skadan på material med sekundära bränder som följd. Strålningen från det schablonmässiga brandscenariot finns beskrivet i tabellen nedan.

Avstånd från brandens centrum (m)	Strålningseffekt (kW/m ²)	Observerad effekt på människor och material
114	1,6	Gräns för icke obehag under längre tid /8/
50	6,4	Andra gradens brännskador /4/
26	15	Obehandlad, laserad eller tryckimpregnerad träyta antänds efter ca 5 minuter, motsvarar 390 °C /3/
17	25	Minsta strålningsnivå för att antända de flesta trämaterial /1/

Tabell 1: Strålningsavstånd för schablonbranden

Där strålningsnivån är 15 kW/m² eller mer och intensiteten varaktig i 5-10 minuter är det högst troligt att trämaterial, plaster, textilier antänds. Sannolikheten är stor att även fordon som tex bilar och bussar antänds vid den strålningsnivån.

Det finns idag inga forskningsresultat på hur mycket strålning en fönsterruta klarar innan den spricker. Däremot vet man att det räcker med en temperaturdifferens på 55 ° C mellan kant och mittparti för att 50% av de provade glaspartierna skall gå till brott samt en temperaturdifferens på 85 ° C för att 100% skall gå till brott /7/. Det är troligtvis ingen överdrift att antaga att de flesta fönsterrutorna går sönder vid en strålning på 25 kW/m² eller mer. Vanligt fönsterglas till bostäder är ofta av enklare typ och dessa vet man släpper igenom största delen av den strålning den utsätts för, vilket innebär antändning på insidan även om glaset inte går till brott /7/.

Bensinångor är tyngre än luft och vid en fördröjd antändning innebär det att brännbara bensinångor kan föras med vinden och antändas på avstånd från själva utsläppspunkten. Vilka konsekvenser en olycka skulle få vid en ogynnsam tidpunkt på dagen med stor trafikbelastning och många gående människor är omöjlig att förutse. Sannolikt är att det skulle generera förödande konsekvenser för många människor .

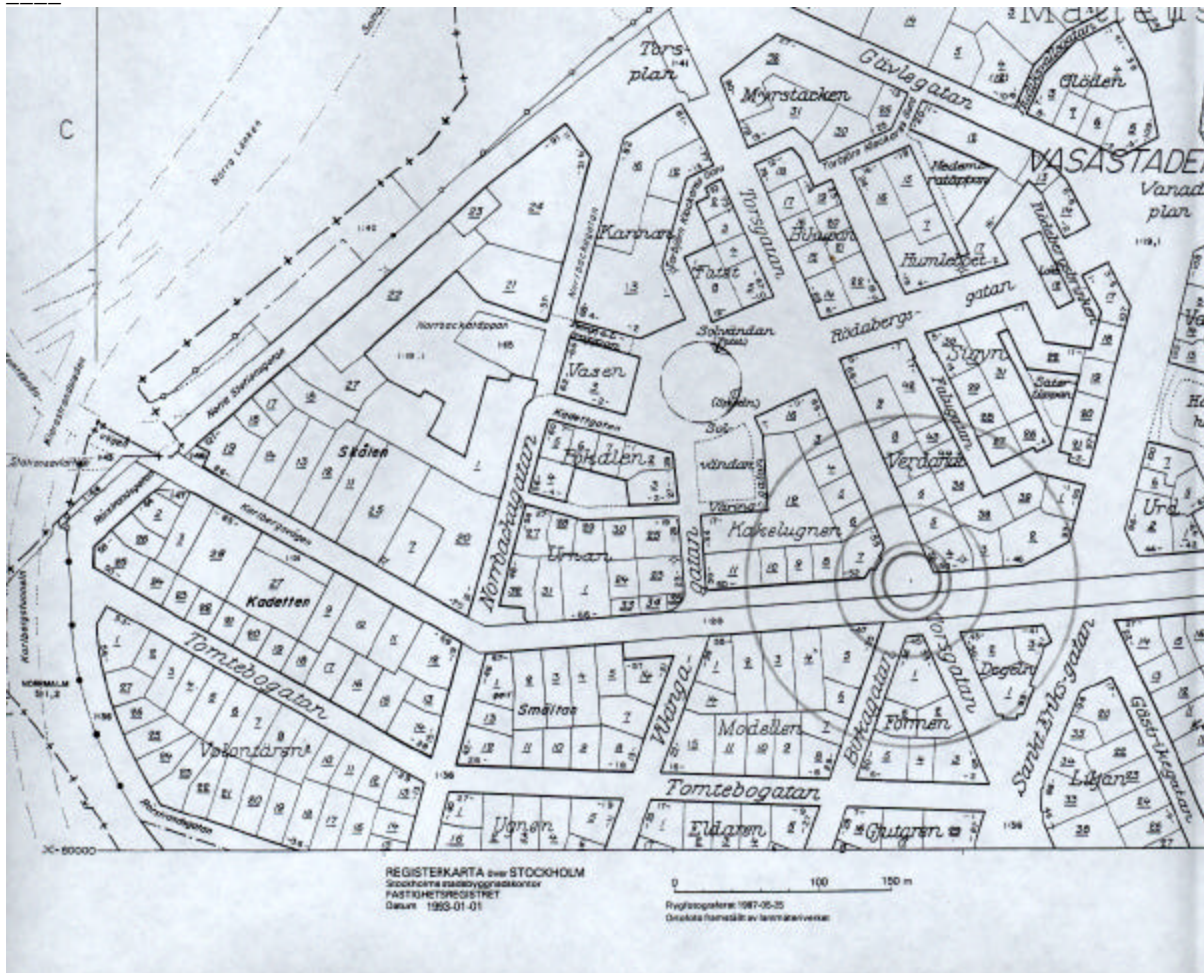
Brandscenario för Valhallavägen 63

Försöket med utsläpp av vatten från tankbil, med 6 m³ vatten, visar i detta specifika fall att vattnet rinner parallellt med fasaden i ca 70 meter innan det når en dagvattenbrunn. Om det är bensin istället för vatten innebär det att på 5 meters avstånd från branden uppnås en strålningsnivå på 25 kW/m², vilket gör att byggnaden på 3,5 meters avstånd från branden med lätthet kan börja brinna. En brand längs gatukanten skulle innebära en brandspridning till den nedersta våningen på fastigheten Banan på en sträcka av 70 meter.

Brandscenario för korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen

I korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen används brandförsvarets stora tankbil med 10 m³ vatten för att simulera en tankbilsolycka. Resultatet blir en drygt 300 m² stor spillyta samt tre flöden längs gatukanten som letar sig ner i dagvattensystemet. En av de tre flödena längs gatukanten är ca 115 m lång, från olyckskorsningen till korsningen Torsgatan-Sankt Eriksgatan. Om utsläppet skulle vara bensin som antänds orsakar värmestrålningen från den 300 m² stora spillytan (se tabell för schablonscenario) samt gatukantsflödet troligen följande initiella antändningar på byggnader, se karta 1:

- Brandspridning till flera våningar i fastigheten Verdand längs fasaden som ligger efter Karlbergsvägen, ca 12 meter in från det brandutsatta hörnet räknat.
- Brandspridning till flera våningar i fastigheten Verdand längs fasaden som ligger efter Torsgatan, ca 24 meter in från det brandutsatta hörnet räknat.
- Brandspridning till flera våningar i fastigheten Kakelugnen längs fasaden som vetter mot den olycksdrabbade korsningen.
- Brandspridning till den nedersta våningen längs hela fasaden av den del av fastigheten Formen som vetter mot Torsgatan, vilket utgör en sträcka på 115 meter.



Karta 1: Kartan visar vad utsläppet i korsningen Torgsgatan-Karlbergsvägen kan ge för strålningspåverkan på omgivningen. Första cirkeln räknat inifrån ger 25 kW/m², andra cirkeln 15 kW/m², tredje cirkeln 6,4 kW/m² och fjärde cirkeln 1,6 kW/m². För information om vad strålningen innebär för människor och material, se tabell 2.

Strålning kW/m ²	Observerad effekt på människor och material
1,0	Den högsta bestrålningen bar hud kan utsättas för utan att man känner smärta /3/
1,6	Gräns för icke obehag på bar hud under längre tid /8/
1,75	Smärta på bar hud efter ca 60 sekunder /4/
6,4	Andra gradens brännskador /4/
9,5	Andra gradens brännskador efter 20 sekunder /8/
12	Trä antänds med pilotlåga /5/
15	Obehandlad, laserad eller tryckimpregnerad träyta antänds efter ca 5 minuter, motsvarar 390 °C /3/
16	Svåra brännskador efter 5 sekunder /4/
20	Täckmålad träyta antänds efter ca 10 minuter /3/
21	Plexiglas antänds med pilotlåga /5/
25	Minsta strålningsnivå för att antända de flesta trämaterial /1/
30	De flesta brännbara material antänds /4/
37.5	Orsakar skador på processteknisk utrustning /8/

Tabell 2: Värmestrålningens påverkan vid olika intensiteter

Spridning av bensin till dagvattensystemet

Vid de olika försöken framkommer att risken är mycket stor att ett större utsläpp på gatan skulle orsaka spridning av bensin till dagvattensystemet. Enligt Kent Vennerstedt (Stockholm Vatten) är hälften av dagvattensystemet, i Stockholms innerstad, sammankopplat med avlopps nätet. Vattnet i avlopps nätet pumpas, via ett fåtal pumpstationer, vidare till Henriksdals reningsverk där det renas för att sedan släppas ut vid Waldemars udde. Den del av dagvattensystemet som inte är sammankopplat med avlopps nätet passerar inte någon reningsprocess utan rinner ut i något närbeläget vattendrag.

Risker med bensin i dagvattensystemet

Kombinationen att bensin inte är lösligt med vatten samt att den har en lägre densitet gör att den flyter ovanpå vattnet. Det gör att bensin på vatten utgör ett hot för brand och explosion i dagvatten- och avloppssystemet. Enligt Kent Vennerstedt (Stockholm Vatten) är risken mycket liten att bensin i

väskefas skulle kunna tränga upp i en fastighet via en avloppsledning. Däremot anser han att bensinångor kan utgöra en risk för fastigheter på de ställen där vattenlåsen inte är riktigt fyllda eller torrlagda.

Konsekvenser på Henriksdals reningsverk

Vid besök på Henriksdals reningsverk berättade processingenjör Johan Stål att den känsligaste delen i reningsprocessen är den biologiska reningsdelen med levande mikroorganismer. Om reningsverket skulle få in några tusen liter bensin skulle med stor sannolikhet den biologiska delen slås ut. Det innebär att man under någon vecka skulle få släppa ut orenat vatten, vilket innebär 3-5 m³ orenat vatten per sekund.

Ett annat hot mot reningsverket är om inkommande bensin orsakar explosiva bensinångor med brand som följd. Mängden brännbart material är liten i tunnelsystemet på Henriksdals reningsverk men det stora antalet elkablar som skulle skadas vid en brand orsakar troligen flera dagars stillestånd.

Tidigare erfarenheter av bensin i dagvattensystem

Vid tankbilsolyckan i Herborn rann stora mängder ner i dagvattensystemet. När bensinen senare antändes förekom upprepade explosioner i avloppsnätet. Bensin rann även via dagvattensystemet ut i en närbelägen flod och började brinna. Branden spred sig till ett hus och några bilar på andra sidan floden /10/.

Vid ett bensinutsläpp i Halmstads hamn, 1992, täcktes en markyta av 360 m². Bensin läckte även in i en byggnad samt gatubrunnar och ledningssystem. Vid mätningar fann man att brännbar gasblandning fanns i 1180 meter dagvattenledning. En komplicerad insats, med räddningstjänsten och andra kommunala förvaltningar, som pågick i två veckor krävdes för att på ett säkert sätt sanera den utsläppta bensinen från ledningssystemet /9/.

Del 2 Beräkningar och tekniska beskrivningar

I detta avsnitt av rapporten beskrivs egna försök, beräkningsmodeller, antaganden samt jämförelser mellan datorberäkningar och handberäkningar.

Utsläppsförsök

För att bilda sig en uppfattning om hur stor yta bensin kan breda ut sig på samt påvisa bensinens benägenhet att söka sig längs gatukanter och ner i dagvattensystemet har fullskaleförsök utförts. Vatten har av praktiska skäl använts men även därför att viskositeten och densiteten är jämförbar med bensin. Haukur Ingason vid SP i Borås har genomfört småskaleförsök /6/ med vatten för att påvisa ytutbredning och vätskedjup för brandscenarios med bensintankbilar, där även han anser vatten vara en bra vätska att jämföra med.

Utsläpp av vatten på Brännkyrka brandstation

Utanför brandstationen på en tillsynes plan yta med asfalt öppnas två vattenuttag till en av brandförsvarets tankbilar innehållande 10 m³ vatten. Självtrycket ger en medelkällstyrka på 7,6 kg/s och bildar en pöl runt fordonet på ca 180 m². Vätskedjupet som uppstår är 9-12 mm och efter några minuter rinner vattnet iväg från den tillsynes plana ytan och bildar en ca 2 meter bred rännil. Utsläppet varar i ca 22 minuter.

Utsläpp av vatten på Valhallavägen 63

Med en av brandförsvarets mindre tankbilar innehållande 6 m³ vatten uppställd på ett plant avsnitt av Valhallavägen får vatten strömma ut på gatan med en källstyrka på ca 13 kg/s, vilket sker med hjälp av ett stationärt pumpaggregat. Utsläppet varar ca 8 minuter och orsakar en 1,5 meter bred och 70 meter lång rännil längs gatukanten, där vattnet slutligen rinner ner i en dagvattenbrunn.

Utsläpp av vatten i korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen

Med brandförsvarets tankbil innehållande 10 m³ vatten uppställd i utkanten av korsningen Torsgatan-Karlbergsvägen får vatten strömma ut med en källstyrka på ca 16 kg/s, med hjälp av ett stationärt pumpaggregat. Korsningen är tämligen plan med en svag lutning från den uppställda tankbilen. Utsläppet som varar i ungefär 11 minuter bildar en yta på ca 340 m² samt en 0,8-1 meter bred och 115 meter lång rännil som slutligen rinner ner i en dagvattenbrunn. Rännilens början är ca 20 meter från utsläppspunkten, vilket ger att dagvattenbrunnen som tar hand om vattnet är ca 135 meter från utsläppspunkten. Vatten rinner även ner i två andra dagvattenbrunnar intill korsningen.

Brandförsök med bensin på Ågesta-övningsanläggning

Vid vattenförsöken framkommer att gatorna i Stockholms innerstad ofta har sin högsta punkt på mitten av gatan och sin lägsta punkt vid gatukanterna. Det gör att ett vätskeutsläpp i de flesta fall bildar rännilar längs gatukanten. I dagsläget finns inga fullskaleförsök gjorda på långsmala bränder där

flamhöjden observerats. Flamhöjden är viktig för att kunna beräkna strålningen från en brand. Därför har två försök utförts på brandförsvarets övningsanläggning i Ågesta.

Försök 1

På en plan yta med betong som underlag och en betongkant som naturlig begränsning på ena sidan och en planhyvlad bräda på den andra sidan hålls 10 liter bensin ut. Med längden 5 meter och bredden 1,5 meter på bensinarean erhålls en flamhöjd på ca 4 meter. Detta överensstämmer ganska bra med den flamhöjd som erhålls vid cirkulära pölbränder med 1,5 meters diameter. Flamhöjdens varaktighet är knappt 5-10 sekunder med den ringa bensinmängden. Vindstyrkan vid försöken uppskattas till 1 m/s med andra ord tämligen lugna förhållanden.

Försök 2

Exakt samma försök utförs som i försök 1 med den skillnaden att bredden på bensinarean är 1 meter. Flamhöjden i detta fall blir ca 3 meter. Detta överensstämmer ganska bra med den flamhöjd som erhålls vid cirkulära polbränder med 1,0 meters diameter.

Beräkningar

Fakta om bensin

Färgad, ofta ljusröd vätska med typisk lukt

Mycket brandfarlig, brännbarhetsområde 1-8 vol %

Densitetstal gasfas 3-4 (luft 1,0)

Densitet 700-800 kg/m³

Ångtryck ca 6-55 kPa (20 °C)

Flampunkt -40 °C

Kokpunkt 35- ca 200 °C

Termisk tändpunkt 250 °C

Ämnet är svårslösligt med vatten. Blandbar med organiska lösningsmedel

Kortidsverkan på människor:

Ångorna och vätskan verkar bedövande. Hygieniskt gränsvärde är satt till 130 ppm (TGV).

Förnärbarhetsgränsen ligger på 300 ppm. 7000 ppm ger efter ca 5 minuter narkotiska symptom och 10 000 ppm är dödligt.

Indata till strålningsberäkningar

Handberäkningar enligt FOA-metoden /3/ används i denna rapport för att verifiera datorkörningar med beräkningsprogrammet SUPERCHEMS /1/. Vid handberäkningar används värdet 0,055 kg/m²s för förbränningshastigheten, vilket är ett verifierat värde för stora pölbränder enligt B. Andersson /4/.

Beräkningarna utförs med antagandet att ingen vindhastighet existerar. Vinden har en betydande inverkan på flammen. Luft rörelser i allmänhet ökar inblandningen av luft i flammen, vilket ökar förbränningen inuti och reducerar därmed dess längd. Vid en brand i marknivå och vindhastighet på ca 2 m/s kommer flammen att luta i en vinkel upp till 45°, vid vindhastigheter upp till ca 5 m/s i en vinkel på ca 60°.

Vid högre vindhastigheter kommer flammen i det närmaste att vara horisontell, vilket innebär en ökad risk för brandspridning i vindriktningen /7/. Experiment har visat att temperaturen i flammen ökar vid ökad vindhastighet, men däremot minskar emissionen, så att strålningen i det närmaste är konstant och oberoende av flammans vinkel vid vindhastigheter upp till 5 m/s /7/.

Strålningsberäkningar för rännilsbrand

Beräkningarna för rännilsbrand utförs med synfaktormetoden enligt D. Drysdale /5/ samt följande ekvation:

$$q_{1,2} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \phi_{1,2} \quad [\text{W/m}^2]$$

där

$q_{1,2}$ = infallande strålning

ε = emissionstal

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

T = flamtemperatur i Kevingrader

$\phi_{1,2}$ = synfaktor

Flammans temperatur antages vara 900° C enligt /7/, samt emissionstalet 0,8 (1,5 m) respektive 0,6 (1,0 m) enligt figur 5.3 i (Brandskydd) /7/. Strålning från en rännilsbrand med längden 10 meter och bredden 1,5 meter respektive 1,0 meter ger följande:

10x1,5 m² ger infallande strålning på 25,8 kW/m² vid ett avstånd på 5 meter från flammen.

10x1,0 m² ger infallande strålning på 22,7 kW/m² vid ett avstånd på 3,5 meter från flammen.

Avståndet mellan gatukanter och fastigheter i Stockholms innerstad är sällan längre än 2-4 meter vilket ger att en rännilsbrand med stor sannolikhet kommer antända nedersta våningen på intilliggande fastighet. En ogynnsam vindriktning kommer definitivt att orsaka brandspridning till fastigheten. I England anger man en maximal nivå för infallande strålning mot en byggnad på 12 kW/m² för att undvika antändning /5/.

Schablonbranden

Valet av en schablonmässig brand med utbredningsytan 300 m^2 grundar sig på de tidigare nämnda vattenförsöken samt vissa litteraturstudier /2/, /3/, /9/. Vätskedjupet på utbredningsytan kan variera beroende på underlaget. Med de egna försöken som utgångspunkt, som visar uppmätta djup på 9-12 mm på asfaltunderlag, samt H. Ingasons /6/ småskaleförsök där han uppmätt ett vätskedjup på 7 mm antages ett medelvätskedjup på 8 mm.

Följande teoretiska räkneexempel kan ge en godtagbar approximation hur länge en 300 m^2 brand kan existera:

Densitet = 800 kg/m^3

Förbränningshastighet = $0,055 \text{ kg/m}^2\text{s}$

Volym bensin = $10 \text{ m}^3 = 8000 \text{ kg}$ (två av totalt tre fack i tanken läcker ut)

Källstyrka = 12 kg/s

Om bensinen får flöda i 160 sekunder (drygt 2,5 minuter) innan antändning bildas ett vätskedjup på 8 millimeter. Det innebär att 1920 kg bensin runnit ut på gatan. Efter 160 sekunder sker en antändning vilket ger en avbrinningshastighet på $300 \times 0,055 = 16,5 \text{ kg/s}$.

Med en enkel ekvation, där t = tiden i sekunder; $1920 + 12t - 16,5t = 0$

får vi att tiden innan pölens area minskar är 427 sekunder, dvs drygt 7 minuter.

Efter 7 minuters brand finns fortfarande 956 kg bensin kvar i de skadade facken. Dessa beräkningar bygger på att innehållet i två av facken, av totalt tre, läckt ut. I det tredje facket återstår ca 4300 kg ($5,3 \text{ m}^3$) och enligt H. Ingasons /6/ försök smälter aluminiumtanken från toppen och ned när den är utsatt för en kraftig brand. Hur utflödet blir av återstående bensin utreds inte närmare i denna rapport.

Strålningen från schablonbranden beräknas med hjälp av handberäkning enligt FOA-metoden /3/ samt datorprogrammet SUPERCHEMS /1/. Eftersom handberäkningarna är en förenklad metod av empiriska försök används utdata från datorprogrammet som underlag för strålning från pölbranden. Det visar sig dock att utdata från handberäkningarna överensstämmer ganska bra med datorberäkningarna.

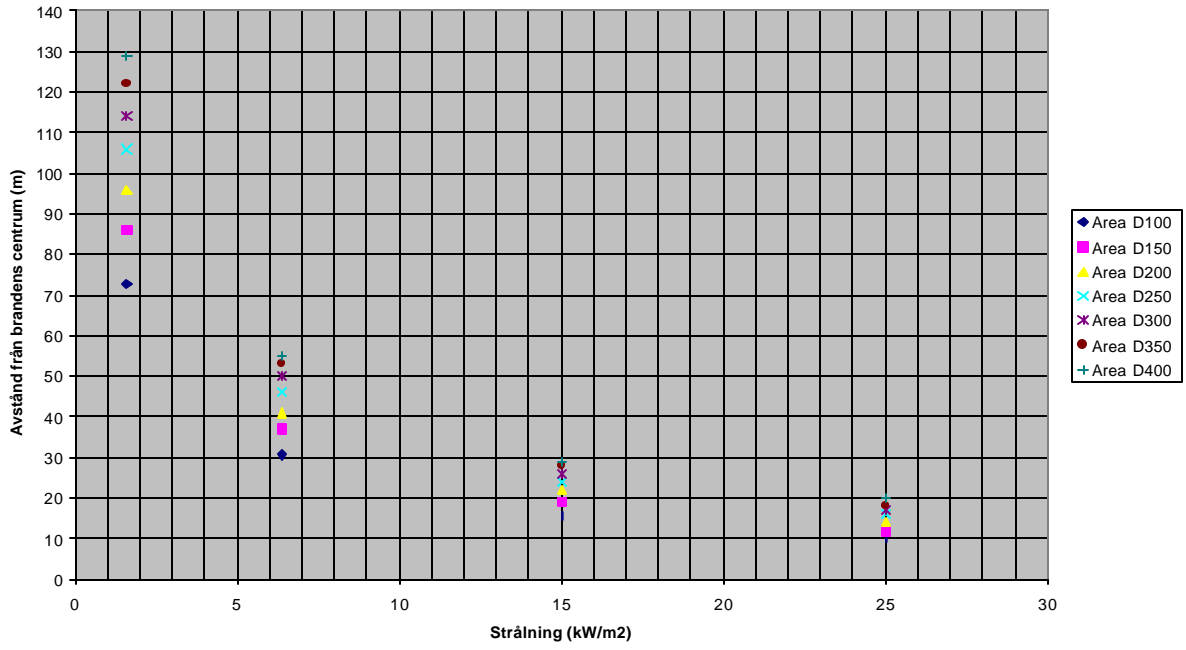
Utdata från SUPER CHEMS för schablonbranden:

Strålning [kW/m ²]	Avstånd från brandens centrum [m]
25	17
15	26
6,4	50
1,6	114

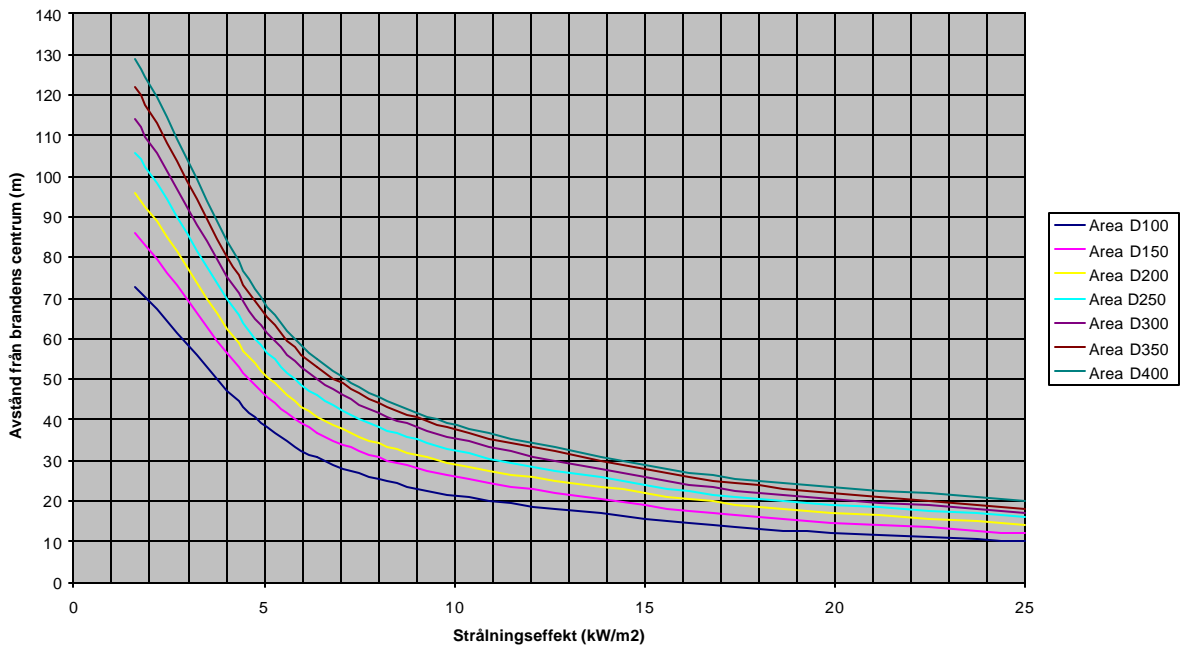
Utdata från handberäkningar och datorberäkningar med varierande utbredningsytor:

Strålning [kW/m ²], datorberäkningar	Avstånd från brandens centrum [m]						
	Area 100	Area 150	Area 200	Area 250	Area 300	Area 350	Area 400
25	10	12	14	16	<u>17</u>	18	20
15	15,7	19	22	24	<u>26</u>	28	29
6,4	30,7	37	41	46	<u>50</u>	53	55
1,6	72,8	86	96	108	<u>114</u>	122	129
Strålning [kW/m ²], handberäkningar							
25	13,4	17,0	20,1	22,6	<u>24,2</u>	26,4	28,4
15	18,4	23,0	27,0	30,4	<u>33,5</u>	36,5	39,0
6,4	29,5	36,4	42,5	47,5	<u>52,0</u>	56,5	60,5
1,6	60,0	74,0	87,0	95,0	<u>104,0</u>	114,0	121,0

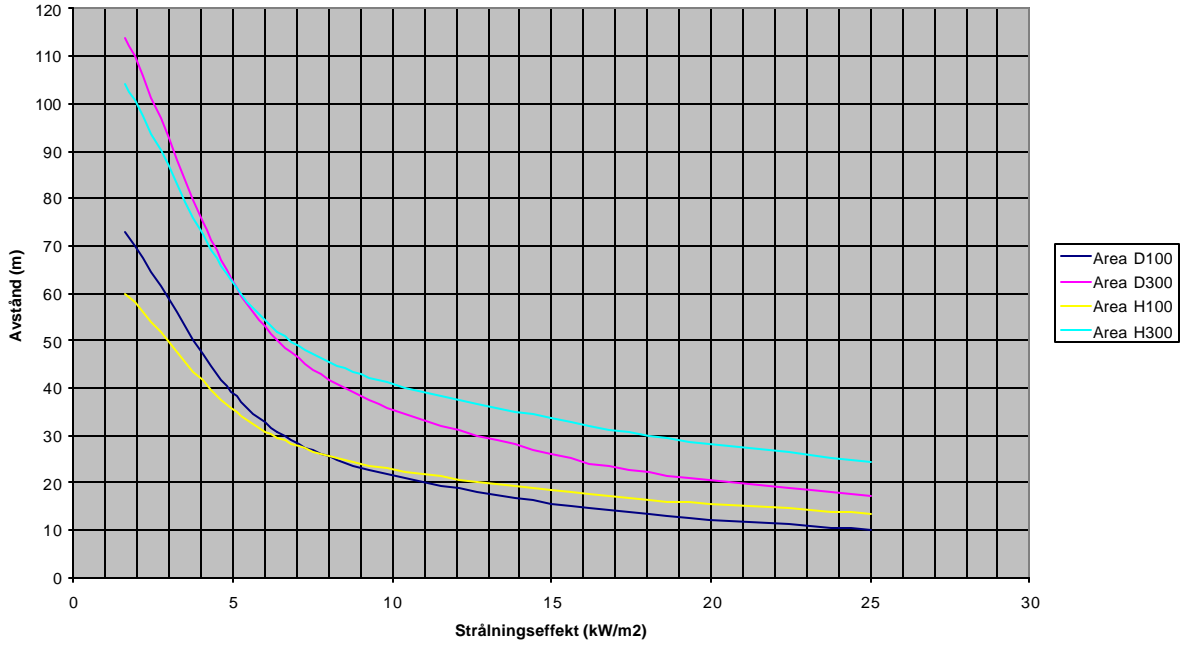
Strålning från cirkulära polbränder (bensin)



Strålning från cirkulära polbränder (bensin)



Jämförelse mellan datorberäkning/handberäkning



Strålningsberäkningsformler

Formler enligt FOA-metoden /3/

$$h_f = D_{eq} * 42 [b' / (\rho(g * D_{eq})^{0,5})]^{0,61} \quad \text{där:} \quad \begin{aligned} h_f &= \text{flammans höjd utan hänsyn till} \\ &\quad \text{vindriktning [m]} \\ b' &= \text{förbränningshastighet [kg/(m}^2\text{s)]} \\ \rho &= \text{luftens densitet = 1,29 kg/m}^3 \\ D_{eq} &= \text{pölens ekvivalenta diameter [m]} \end{aligned}$$

$$P = 0,35 * b' * h_c / (1 + 4h_f/D_{eq}) \quad \text{där:} \quad \begin{aligned} P &= \text{strålning från flamma per ytenhet} \\ &\quad \text{[W/m}^2\text{]} \\ h_c &= \text{energivärde [MJ/kg]} \end{aligned}$$

$$P_s = \sigma * T^4 \quad \text{där:} \quad \begin{aligned} P_s &= \text{utstrålad effekt [W/m}^2\text{]} \\ \sigma &= 5,67 * 10^{-8} \text{ [W/(m}^2\text{K}^{-4}\text{)]} \\ T &= \text{Temperatur [K]} \end{aligned}$$

$$P_{12} = P_1 * \tau_a * F_{12} \quad \text{där:} \quad \begin{aligned} P_{12} &= \text{infallande strålning mot } A_2 \text{ [W/m}^2\text{]} \\ P_1 &= \text{strålning från yta } A_1 \text{ [W/m}^2\text{]} \\ \tau_a &= \text{transmissionsförmågan} \\ F_{12} &= \text{vinkelkoefficienten } A_1\text{-}A_2 \end{aligned}$$

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \quad \text{där:} \quad \begin{aligned} \alpha_w &= \text{absorptionsfaktor för vattenånga} \\ \alpha_c &= \text{absorptionsfaktor för koldioxid} \end{aligned}$$

Värden på α_w och α_c har tagits ur diagram i FOA-handboken /3/.

$$F_{max} = (F_h^2 + F_v^2)^{1/2} \quad \text{där} \quad \begin{aligned} F_h &= \text{vinkelkoefficienten för horisontellt bestrålat plan } (\theta = \pi/2) \\ F_v &= \text{vinkelkoefficienten för vertikalt bestrålat plan } (\theta = 0) \end{aligned}$$

$$F_h = \frac{1}{P} \left[\tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r + 1}{x_r - 1}} - \frac{x_r^2 - 1 + h_r^2}{\sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} \right]$$

$$F_v = \frac{1}{P} \left[\frac{1}{x_r} \tan^{-1} \left(\frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \frac{h_r(A - 2x_r)}{x_r \sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} - \frac{h_r}{x_r} \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r - 1}{x_r + 1}} \right]$$

$$\text{där} \quad \begin{aligned} A &= (x_r + 1)^2 + h_r^2 \\ B &= (x_r - 1)^2 + h_r^2 \\ h_r &= h/r \\ x_r &= x/r \end{aligned}$$

Beskrivning av Herbornolyckan redovisad av Skandia**FAKTA OM
TANKBILSOLYCKAN I HERBORN 87. 07. 07**

<u>Orsak</u>	En tankbil med 35 000 l bensin / diesel välter i stadens centrum.
<u>Skada</u>	6 omkommer. 39 skadas, varav många med svåra brännskador. 12 byggnader förstörs helt; vissa rasar vid explosionen. 9 byggnader får delskador. 6 fordon totalskadas. 30 000 m ² markyta berörs. Avlopps nätet får delvis svåra skador.
<u>Räddningsinsats</u>	600 personer från brand och räddningskårer, sjukvård, polis m.fl organisationer deltar i aktivt skede och 5 dagars eftersläckning och uppröjning. Katastroflarm utsändes för delstaten Hessen och varade i 16 timmar.
<u>Kostnad</u>	Enbart materiella skador: 175 - 200 milj.Kr.
<u>Allmänt</u>	Herborn, c:a 20 000 invånare, ligger i Tyskland c:a 10 mil NV om Frankfurt. Motorvägar finns på två sidor med c:a 100 m nivåskillnad ner till staden och floden Dill. En genomfartsled går genom stadens centrum.
<u>Läget</u>	Vädret var +24°, lungt, mulet, m a o en sommarkväll. Klockan var c:a kvart i nio på kvällen. Ganska mycket folk i centrum.
<u>Händelseförlopp</u>	I den branta infarten får tankvagnen broms fel, bilen blir manöveroduglig och i 80-90 km hastighet välter bilen vid en högersväng. Tankarna rivs upp och innehållet sköljer över gatan och in i husen. Tankbilsföraren kastas ur bilen och undkommer med ett benbrott. Han inser faran och ropar : " Spring härifrån! Snart exploderar allt ". Efter 4-5 min fördröjning kommer också explosionen och verkan blir förödande. Några hinner ej undan utan omkommer vid smällen. Många får brännskador, en äldre dam mittemot dör av hjärtslag, panik utbryter, ett tiotal personer är instängda i brinnande hus och många chockas svårt.
<u>Lärdomar</u>	Transport av farligt gods är en stor risk och härvid måste särskild stor hänsyn tas vid passering genom tätbebyggda samhällen. Skärpt utbildning, fortbildning av förare är av stor betydelse liksom aktuell skaderedovisning och uppföljning, för att hålla frågorna aktuella.

Bilder från Herbornolyckan redovisade av Skandia



I den branta nedfarten till Herborns Centrum har tidigare flera svåra olyckor inträffat. Ändå fanns inget förbud för genomfart med tunga fordon eller transport av farligt gods.



Det brandskadade områdets centrala del, var i full brand inom några minuter efter explosionen. Storleken gjorde att brandkåren endast kunde begränsa skadorna i de yttre områdena.



Stor dramatik utspelades under katastrofens första skede. Delar av husen rasade samman när explosionen inträffade och sen fick branden fritt fram.

Tankbilen blev helt demolerad genom haveriet och den efterföljande branden. Föraren hade stor tur och räddades undan av tillskyndande personer.



Referensförteckning

- /1/ "SUPERCHEMS" version 3,0, Artur D. Little, Cambridge Massachusetts, 1997
- /2/ "Risker i Västernorrlands län, Metodstudie med exempel för samhällsplanering" Håkan Eriksson, Mats Könberg, et.al 1995
- /3/ "Vådautsläpp av brandfarlig och giftiga gaser och vätskor" Stellan Fischer, Rikard Forsén, Ola Hertzberg, Anders Jacobsson, Bo Koch, Per Runn, Lennart Thaning och Stellan Winter, FOA-D-95-00099-4.9-SE
- /4/ "Introduktion till konsekvensberäkningar" Berit Andersson 1992
- /5/ "An introduction to Fire Dynamics" Dougal Drysdale, John Wiley & Sons LTD, New York,1985
- /6/ "Small scale tests for a road tanker fire scenario" Haukur Ingason SP AR 1994:53
- /7/ "Brandskydd, teori och praktik" LTH-Brandteknik , 1994
- /8/ "Chemical Process Quantitative Risk Analysis" American institute of chemical engineers 1989
- /9/ "RIB, Räddningsverkets informationsbank", utgåva 1, 1998
- /10/ "Tankbilsolyckan i Herborn" KAMEDO-rapport, FOA-rapport 54 , 1988

Utskrift från datorberäkningar med SUPERCHEMS

Area 100

EAILJ386, V 1.42	PAGE 2
PROJECT: BENZIN	SKOGETUN
PROBLEM: OLYCKA	Thu Jul 30 09:56:41 1998

Welcome to Release 3.10 of SuperChems

Copyright (C) 1989-1997, Arthur D. Little, Inc.,
Acorn Park,
Cambridge, Massachusetts 02140,
USA.

Level = Professional

Number of scenarios to execute in sequence 1
Project type = Liquid flow

Scenario 0 = EX2A.SC.SC

Executing Scenario 0 = EX2A.SC.SC

User defined scenario:

Name: EX2A.SC
Description: SPILL FR N TANKBIL

HAZOP reference:
Fault tree reference:
Site: STHLM
Vessel: TANK
Piping layout: UTR™
Reaction:
Thermal damage criteria: STR L
Toxic damage criteria: GIFTIGT
Overpressure damage criteria: DEFAULT
Mixture: GASOLINE

User specified project stream

Spill time (hours)	12
Day of the year (1-365)	100
Scenario duration (hours)	0.25
Ignition time (s)	300
Spill surface thermal diffusivity, (m2/s)	4.59E-07
Spill surface thermal conductivity, (W/m/K)	0.96
Dike area (m2)	100
Spill surface intrinsic permeability (m2)	1E-12
Spill surface = AVERAGE_SOIL	
Longitude, (degrees)	71.06
Latitude, (degrees)	42.36
Altitude, (m)	6.401
Time zone factor, (hrs)	4.737
Ambient temperature, (K)	283
Ambient pressure, (Pa)	1.013E+05
Soil temperature, (K)	283
Water temperature, (K)	283
Mean water flow velocity, (m/s)	2
Mean water depth, (m)	10
Relative humidity, (percent)	70

Visual range, (m) 20000
 Roughness length (m) 3

 Wind speed, (m/s) 0.01
 Wind friction velocity, (m/s) 0.003405
 Wind power law constant 0.4927
 Wind speed reference height, (m) 10
 Stability class (A=0/B=1/C=2/D=3/E=4/F=5) 3
 Monin-Obuhkov length (m) 1E+3
 User defined thermal radiation damage criteria:

Thermal radiation criteria name: STR L
 Description: STR LNINGSNIV ER

Heat Flux, (kW/m2)

1.6 6.4 15 25

User defined toxic damage criteria:

Toxic criteria name [s]: GIFTIGT
 Description: DEFAULT TOXICITY CRITERION
 Limiting concentration (ppm)

7000

Averaging time (s) 60
 Receptor elevation (m) 0.0001

User defined overpressure damage criteria:

Overpressure criteria name: DEFAULT
 Description: DEFAULT

Overpressure (Pa)

2.06E+04

User defined mixture:

Name: GASOLINE
 Description: bensinutsl,pp
 Index bank:
 Properties bank:

Chemical Identification Number

1039

GASOLINE is not soluble in water

The following atom matrices will be used:

Mixture atom matrix: atom

Vessel Name: TANK

Description: HORIZONTAL CYLINDRICAL TANK

Material of construction: ALUMINUM
 Vessel Type: Horizontal Cylindrical (hemispherical heads)
 Length (m) 5.8
 Inside diameter (m) 2

Vessel metal mass (kg) 665
 Wall metal thickness (m) 0.005
 Base elevation with respect to scenario ground level (z=0)
 (m) 1
 Total vessel surface area (m2) 49
 Total volume (m3) 22.4
 Maximum allowable vessel pressure (Pa) 1E+38
 No fire loading specified
 No eductor specified
 No water sprays specified
 Vessel is not insulated
 Vessel does not have a cooling jacket
 Vessel does not have a heating jacket
 Vessel is not visible to solar flux

```

+-----+
|# | Zl   | Az   | Vz   |
+-----+
|0 | 0 | 0 | 0 |
|1 | 0.105 | 5.81 | 0.401 |
|2 | 0.211 | 8.3 | 1.15 |
|3 | 0.316 | 10.1 | 2.13 |
|4 | 0.421 | 11.5 | 3.27 |
|5 | 0.526 | 12.7 | 4.55 |
|6 | 0.632 | 13.5 | 5.93 |
|7 | 0.737 | 14.1 | 7.38 |
|8 | 0.842 | 14.5 | 8.89 |
|9 | 0.947 | 14.7 | 10.4 |
|10 | 1.05 | 14.7 | 12 |
|11 | 1.16 | 14.5 | 13.5 |
|12 | 1.26 | 14.1 | 15 |
|13 | 1.37 | 13.5 | 16.5 |
|14 | 1.47 | 12.7 | 17.9 |
|15 | 1.58 | 11.5 | 19.1 |
|16 | 1.68 | 10.1 | 20.3 |
|17 | 1.79 | 8.3 | 21.3 |
|18 | 1.89 | 5.81 | 22 |
|19 | 2 | 0 | 22.4 |
+-----+
    
```

Zl:Liquid height (m) - Az:A(z); Area as a function of liquid height
 m2=f(m) - Vz:V(z); Volume as a function of liquid height m3=f(m)

Piping layout:

Tag: UTR™R

Description: 3 INCH AT BASE OF VESSEL

```

+-----+
|# | Sid   | Stype | Length | K1   | Kinf  |
+-----+
|0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
+-----+
    
```

Sid:Segment identification number [] - Stype:0: Straight pipe /
 valves / fittings, 1: Relief device, 2: Rupture disk, 3: Sharp edged
 orifice, 4: Expander, 5: Reducer, 6: Pump - Length:Piping segment
 length (m) [] - K1:Number of Velocity Heads in $K = K1/NRe + Kinf +$
 Kid/ID - Kinf:Number of Velocity Heads in $K = K1/NRe + Kinf + Kid/ID$

```

+-----+
|# | Kid   | Eps   | AreaC1 | AreaC2 | Angle |
+-----+
|0 | 0 | 4.57E-05 | 0.0177 | 0 | -90 |
+-----+
    
```

Kid:Number of Velocity Heads in $K = K1/NRe + Kinf + Kid/ID$ -
 Eps:Typical pipe roughness: (m), Cast Iron (2.60E-04), Wrought Iron

(4.57E-05), Commercial Steel (4.57E-05), Galvanized Iron (1.52E-04), Asphalted Cast Iron (1.22E-04), Drawn Tubing (1.52E-04) - AreaC1:flow area (m2) [] - AreaC2:C2- Coefficient in segment area equation: A = C1 + C2 X [] - Angle:Angle with respect to horizontal (degrees) []

```

+-----+
|# |Z   |H   |Ts   |
+-----+
|0 |  0 | 1E+38 | 283 |
+-----+
    
```

Z:Elevation of segment entrance (m) [] - H:1/Overall heat transfer coefficient (W/m2/K); Sum_i (1/hi) [] - Ts:Surroundings temperature (K) []

Total length = 0 meters
 Discharge coefficient (when applicable) = 0.900
 1st relief device set / reset pressures (Pa) = 0 / 0

Liquid flow model:

User Inputs:

Mixture density (kg/m3) 791.4
 Hole Diameter, (m) 0.0762
 Distance Between Hole and Tank Bottom, (m) 0.01
 Initial Liquid Height, (m) 3.463
 Vapor space tank pressure, (Pa) 1.013E+05
 Surroundings pressure, (Pa) 1.013E+05

Model Outputs:

Average mass flow rate (kg/s) 7.657
 Average mass flux (kg/m2/s) 1679
 Discharge duration (s) 25062

Discharge coefficient = 0.9 + 0 Liquid Height

Multicomponent liquid pools:

User inputs:

Total mass discharged (kg) 1.919E+05
 Pool discharge temperature (K) 293.2
 Liquid density at discharge conditions (kg/m3) 621.1
 Discharge rate (kg/s) 7.657
 Discharge duration (s) 25061

Model outputs:

```

+-----+
|# |cid   |Dab   |af   |
+-----+
|0 | 1039 | 6.587E-06 | 1 |
+-----+
    
```

cid:Chemical Identification Number - Dab:Diffusivity in air (m2/s) - af:Association factor

Pool time integrated values:

Pool surface temperature, K 313.3
 Pool diameter, m 11.15
 Maximum pool diameter (m) 11.28
 Time averaged mass emission rate (kg/s) 0.01804
 Peak mass emission rate (kg/s) 0.02107
 Average molecular weight of vapor (kg/kmol) 90.87
 Overall liquid evaporation mass flux (kg/m2/s) 0.0001826
 Total moles percolated into soil or dissolved in water (kmol) 12.24

Mixture LFL (vol percent) 1.4
 Mixture UFL (vol percent) 7.6
 Mixture heat of combustion (J/kmol) -3.915E+09
 Flame temperature at UFL is set to 1500 K
 Luminous flame surface fraction will be estimated
 Flame emissive power (kW/m2) 81.14
 Flame temperature at UFL (K) [-1 for default] 1500
 Luminous fraction of flame surface [-1 for default] 0.2289
 Multicomponent pool fires:

 User Inputs:

Liquid Pools Results

#	Time	Depth	Mflux	Diam
0	0.2	1.789	0.0001235	3.229
1	0.21	1.763	0.0001233	3.267
2	0.22	1.74	0.000123	3.301
3	0.23	1.72	0.0001229	3.334
4	0.24	1.703	0.0001227	3.365
5	0.25	1.688	0.0001225	3.393
6	0.332	1.616	0.0001218	3.578
7	0.516	1.603	0.0001208	3.832
8	0.8486	1.712	0.0001202	4.09
9	1.103	1.828	0.0001201	4.22
10	1.439	1.998	0.0001201	4.344
11	1.896	2.246	0.0001203	4.461
12	2.541	2.605	0.0001207	4.577
13	3.472	3.109	0.0001214	4.702
14	4.782	3.739	0.0001223	4.871
15	6.379	4.295	0.0001233	5.129
16	7.824	4.56	0.000124	5.438
17	9.725	4.635	0.0001238	5.938
18	11.19	4.584	0.000123	6.356
19	12.57	4.507	0.0001222	6.757
20	13.96	4.425	0.0001214	7.15
21	15.39	4.346	0.0001206	7.539
22	16.87	4.272	0.00012	7.927
23	19.21	4.174	0.0001191	8.506
24	21.73	4.096	0.0001184	9.078
25	24.53	4.047	0.0001178	9.644
26	27.68	4.025	0.0001174	10.21
27	31.22	4.022	0.0001171	10.78
28	41.53	4.731	0.0001178	11.28
29	46.53	5.245	0.0001193	11.28
30	51.53	5.759	0.0001208	11.28
31	56.53	6.272	0.0001222	11.28
32	61.53	6.785	0.0001235	11.28
33	66.53	7.299	0.0001248	11.28
34	71.53	7.812	0.0001261	11.28
35	76.53	8.325	0.0001274	11.28
36	81.53	8.838	0.0001286	11.28
37	86.53	9.351	0.0001298	11.28
38	91.53	9.865	0.000131	11.28
39	96.53	10.38	0.0001321	11.28
40	106.5	11.4	0.0001344	11.28
41	116.5	12.43	0.0001367	11.28
42	126.5	13.46	0.0001388	11.28
43	136.5	14.48	0.000141	11.28
44	146.5	15.51	0.0001431	11.28
45	156.5	16.53	0.0001452	11.28
46	166.5	17.56	0.0001472	11.28
47	176.5	18.59	0.0001492	11.28
48	186.5	19.61	0.0001512	11.28
49	196.5	20.64	0.0001532	11.28

50	211.5	22.18	0.0001561	11.28
51	226.5	23.72	0.0001589	11.28
52	241.5	25.25	0.0001616	11.28
53	256.5	26.79	0.0001643	11.28
54	271.5	28.33	0.0001669	11.28
55	286.5	29.87	0.0001695	11.28
56	301.5	31.41	0.000172	11.28
57	306.5	31.71	0.0002107	11.28
58	311.5	32.07	0.0002107	11.28
59	316.5	31.82	0.293	11.28
60	321.5	30.2	0.2645	11.28
61	326.5	28.58	0.2645	11.28
62	331.5	26.97	0.2645	11.28
63	336.5	25.35	0.2645	11.28
64	341.5	23.74	0.2645	11.28
65	346.5	22.12	0.2645	11.28
66	351.5	20.51	0.2645	11.28
67	356.5	18.89	0.2645	11.28
68	361.5	17.28	0.2645	11.28
69	366.5	15.66	0.2645	11.28
70	371.5	14.05	0.2645	11.28
71	376.5	12.43	0.2645	11.28
72	381.5	10.81	0.2645	11.28
73	386.5	9.199	0.2645	11.28
74	391.5	7.584	0.2645	11.28
75	396.5	5.968	0.2645	11.28
76	401.5	4.353	0.2645	11.28
77	403.3	3.797	0.2645	11.28
78	408.3	2.182	0.2645	11.28
79	413.3	0.5659	0.2646	11.28
80	413.3	0.5375	0.2645	11.28
81	413.4	0.5103	0.2645	11.28
82	413.5	0.5496	0.2907	10.76
83	413.5	0.5493	0.2642	10.76
84	413.5	0.5946	0.2731	10.34
85	413.5	0.6434	0.2717	9.927
86	413.5	0.6963	0.27	9.534
87	413.5	0.7538	0.2683	9.156
88	413.5	0.8162	0.2664	8.794
89	413.5	0.8839	0.2644	8.445
90	413.5	0.9574	0.2623	8.111
91	413.5	1.037	0.2599	7.79
92	413.5	1.124	0.2574	7.481
93	418.5	0.5523	0.2455	7.31
94	418.5	0.5984	0.2522	7.021
95	418.5	0.6484	0.249	6.743
96	418.5	0.7027	0.2455	6.476
97	423.5	0.5706	0.2352	6.457
98	458.5	0.6387	0.2316	6.217
99	463.5	0.6959	0.2314	6.196
100	468.5	0.77	0.2313	6.173
101	473.5	0.8637	0.2312	6.147
102	478.5	0.9803	0.231	6.118
103	483.5	1.123	0.2308	6.085
104	488.5	1.295	0.2303	6.051
105	493.5	1.496	0.2295	6.021
106	498.5	1.717	0.228	6.003
107	503.5	1.938	0.2259	6.01
108	508.5	2.127	0.2233	6.052
109	513.5	2.248	0.2212	6.134
110	528.5	2.256	0.2399	6.25
111	533.5	2.206	0.223	6.354
112	538.5	2.224	0.2393	6.258
113	543.5	2.176	0.2238	6.353
114	548.5	2.189	0.2386	6.266
115	553.5	2.143	0.2246	6.351

116	558.5	2.149	0.2378	6.273
117	563.5	2.106	0.2254	6.348
118	568.5	2.106	0.237	6.28
119	628	1.996	0.2276	6.319
120	858	1.892	0.2293	6.303
121	903	1.851	0.2324	6.285
122	904	1.851	0.2324	6.285

Time:Time, s - Depth:Pool depth, (mm) - Mflux:Overall liquid evaporation mass flux (kg/m2/s) - Diam:Pool diameter, m

Model Outputs:

Flame length (m)	46.59
Elevation of flame base (m)	1.017
Fire duration (s)	604
Flame tilt (degrees)	0
Flame drag (m)	-4.804
Maximum pool diameter (m)	11.28
Maximum pool burning rate (kg/m2/s)	0.293
Average molecular weight of pool materials in the vapor phase (kg/kmol)	90.87

Calculated ground level distances to user defined limiting thermal flux values

#	Xflux	FmF	TauF	FluX
0	68	0.02739	0.7198	1.6
1	25.87	0.09785	0.8061	6.4
2	10.86	0.2105	0.878	15
3	5.156	0.3396	0.9073	25
4	-72.8	0.02739	0.7198	1.6
5	-30.67	0.09785	0.8061	6.4
6	-15.66	0.2105	0.878	15
7	-9.96	0.3396	0.9073	25

Xflux:Axial distance from spill center (m) - FmF:Maximum view factor
 - TauF:Atmospheric transmissivity - FluX:Limiting flux (kW/m2)
 These values are reported at a target elevation of 1 m

Area 150

LIQUID POOLS SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dav (m)	Mav (kg/s)	Mwa	Pool Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)
EX2A.SC	0.01	293	7.6573	2.5E+04	309.99	13.563	0.0241	91	903	13.8	0.0306

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Dav = Time-integrated pool diameter
 Mwa = Time-integrated molecular weight of mixture leaving pool

POOL FIRES SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)	Lf (m)	Tilt (deg)	Drag (m)
----------	----------	--------	-----------	--------	---------	---------	----------	-------------	--------	------------	----------

EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	80
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	31
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	13
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	6.2
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	-86
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	-37
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	-19
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	314	902	13.8	43.8	53	0	-6	-12

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Lf = Flame height
 Tilt = Flame tilt (degrees)
 Drag = Flame drag (m)
 X = Calculated distance to specified thermal radiation level (m)
 Flux = Calculated flux at reported distance from center of pool (kW/m2)

Area 200

POOL FIRES SUMMARY

Scenario X (m)	Uw (m/s) Flux (kW/m2)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)	Lf (m)	Tilt (deg)	Drag (m)	
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	89
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	34
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	15
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	7
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	-96
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	-41
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	-22
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	16	54.4	58	0	-7	-14

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Lf = Flame height
 Tilt = Flame tilt (degrees)
 Drag = Flame drag (m)
 X = Calculated distance to specified thermal radiation level (m)
 Flux = Calculated flux at reported distance from center of pool (kW/m2)

Area 250

LIQUID POOLS SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dav (m)	Mav (kg/s)	Mwa	Pool Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)
EX2A.SC	0.01	293	7.6573	2.5E+04	305.78	17.25	0.0339	91	905	17.8	0.0412

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Dav = Time-integrated pool diameter
 Mwa = Time-integrated molecular weight of mixture leaving pool

POOL FIRES SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)	Lf (m)	Tilt (deg)	Drag (m)	X (m)	Flux (kW/m2)
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	98	
1.6													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	38	
6.4													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	16	
15													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	7.7	
25													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	-106	
1.6													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	-46	
6.4													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	-24	
15													
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	901	17.8	68.4	63	0	-7.9	-16	
25													

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Lf = Flame height
 Tilt = Flame tilt (degrees)
 Drag = Flame drag (m)
 X = Calculated distance to specified thermal radiation level (m)
 Flux = Calculated flux at reported distance from center of pool (kW/m2)

Area 300

LIQUID POOLS SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dav (m)	Mav (kg/s)	Mwa	Pool Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)
EX2A.SC	0.01	293	7.6573	2.5E+04	304.75	18.733	0.0387	91	901	19.5	0.0462

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Dav = Time-integrated pool diameter
 Mwa = Time-integrated molecular weight of mixture leaving pool

POOL FIRES SUMMARY

Scenario	Uw (m/s) X (m) Flux (kW/m2)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)	Lf (m)	Tilt (deg)	Drag (m)	
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	105
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	41
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	17
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	8.3
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	-114
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	-50
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	-26
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	904	19.5	82.4	67	0	-8.7	-17

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Lf = Flame height
 Tilt = Flame tilt (degrees)
 Drag = Flame drag (m)
 X = Calculated distance to specified thermal radiation level (m)
 Flux = Calculated flux at reported distance from center of pool (kW/m2)

Area 350

LIQUID POOLS SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dav (m)	Mav (kg/s)	Mwa	Pool Dur (s)	Dmax (m)	
EX2A.SC	0.01	293	7.6573	2.5E+04	304.15	20.068	0.0435	91	905	21.1	0.0513

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Dav = Time-integrated pool diameter
 Mwa = Time-integrated molecular weight of mixture leaving pool

POOL FIRES SUMMARY

Scenario	Uw (m/s) X (m) Flux (kW/m2)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)	Lf (m)	Tilt (deg)	Drag (m)	
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	112
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	43
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	18
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	8.8
EX2A.SC 1.6	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	-122
EX2A.SC 6.4	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	-53
EX2A.SC 15	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	-28
EX2A.SC 25	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	906	21.1	96.3	71	0	-9.5	-18

Td = Discharge temperature

 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Lf = Flame height
 Tilt = Flame tilt (degrees)
 Drag = Flame drag (m)
 X = Calculated distance to specified thermal radiation level (m)
 Flux = Calculated flux at reported distance from center of pool (kW/m2)

Area 400

LIQUID POOLS SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dav (m)	Mav (kg/s)	Mwa	Pool Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)
EX2A.SC	0.01	293	7.6573	2.5E+04	303.78	21.25	0.0481	91	905	22.6	0.0565

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Dav = Time-integrated pool diameter
 Mwa = Time-integrated molecular weight of mixture leaving pool

POOL FIRES SUMMARY

Scenario	Uw (m/s)	Td (K)	Md (kg/s)	td (s)	Tav (K)	Dur (s)	Dmax (m)	Mmax (kg/s)	Lf (m)	Tilt (deg)	Drag (m)	
X (m)	Flux (kW/m2)											
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	118
1.6												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	46
6.4												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	19
15												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	9.3
25												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	-129
1.6												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	-56
6.4												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	-29
15												
EX2A.SC	0.01	293	7.66	2.5E+04	313	903	22.6	110	74	0	-10	-20
25												

Td = Discharge temperature
 Md = Discharge rate
 td = Discharge duration
 Tav = Time-integrated liquid pool surface temperature
 Lf = Flame height
 Tilt = Flame tilt (degrees)
 Drag = Flame drag (m)
 X = Calculated distance to specified thermal radiation level (m)
 Flux = Calculated flux at reported distance from center of pool (kW/m2)