

Brand i lastpallslager

Norrköping, augusti 2002



2002 Räddningsverket, Karlstad
Räddningstjänstavdelningen
ISBN 91-7253-204-1

Beställningsnummer P22-433/03
2003 års utgåva

Brand i lastpallslager

Norrköping, augusti 2002

Ulf Lago, Brandingenjör
Norrköpings Brandförsvär

Räddningsverkets kontaktperson:

Ulf Lindén, Enheten för olycksförebyggande verksamhet, telefon 054-13 52 06

Förord

Det finns flera personer som har bidragit till att denna rapport har tillkommit. Alla kan inte nämnas men några som är värda att nämnas är följande:

- Lars Svedlund, Danzas, har bidragit med värdefull information om verksamheten på Danzas, tekniska data om lastpallarna, lagringsförhållanden samt möjliggjort studiebesök.
- Micael Strömberg, Norrköpings Brandförsvär, som var Räddningsledare vid insatsen.
- Lars-Göran Bengtsson, Helsingborgs Brandförsvär, har bidragit med övergripande kontroll av beräkningar och korrekturläsning.
- Ulf Lindén, Statens räddningsverk, har bidragit med korrekturläsning, värdefulla, synpunkter på rapporten och viktig bakgrundsinformation
- Per Wikström, fotograf, har bidragit med bilder från branden.

Norrköping i april 2003

Ulf Lago
Norrköpings Brandförsvär

Innehållsförteckning

1	Bakgrund.....	11
1.1	Syfte.....	11
2	Beskrivning av objektet	12
2.1	Byggnader.....	12
2.2	Verksamhet.....	13
2.3	Omgivning.....	13
2.4	Lastpallarna	13
2.5	Vidtagna brandförebyggande åtgärder	14
3	Lagstiftning	15
3.1	Plan- och bygglagen	15
3.2	Byggnadsverkslagen.....	15
3.3	Räddningstjänstlagen.....	16
3.4	Miljöbalken	16
3.5	Rekommendationer.....	16
3.5.1	Malmö Brandkårs rekommendationer.....	16
4	Beskrivning av insatsen.....	17
4.1	Insatsens inledning	17
4.2	Kritiskt skede av insatsen	18
4.3	Insatsens slutskede	19
5	Litteraturstudie	20
5.1	Beräkning av utfallande strålning.....	20
5.1.1	Flammans temperatur	21
5.2	Beräkning av infallande strålning.....	21
5.2.1	Flammans geometri	21
5.2.2	Synfaktor	22
5.3	Kritiska strålningsnivåer.....	22
5.4	Brandbekämpning.....	23
5.5	SkandiaTips	24
6	Metod.....	25
6.1	Faktainsamling	25
6.1.1	Insatsrapport	25

6.1.2	Brandutredning.....	25
6.1.3	Videofilm och fotografier.....	25
6.1.4	Uppgifter från Räddningsledaren.....	25
6.1.5	Danzas	26
6.2	Mätning av flamhöjd och flambredd	26
6.3	Beräkningar	27
7	Resultat.....	28
7.1	Visuella observationer.....	28
7.1.1	Brandspridning i lastpallslagret.....	28
7.1.2	Upplevd strålningsvärme.....	29
7.1.3	Strålnings-skador på omgivningen	30
7.1.4	Gnistregen	31
7.1.5	Flamhöjder och flambredder	31
7.2	Beräkningar	32
7.2.1	Strålning ut från flammans mitt.....	34
7.2.2	Strålning som faller mot marken	34
7.2.3	Strålning mot lastpallslagrets yta	35
7.3	Jämförelse av beräkning och verklighet.....	36
7.3.1	Flammans geometri	36
7.3.2	Strålning från branden	37
8	Rekommenderade lagringsförhållanden av lastpallar utomhus....	38
8.1	Mål: Begränsning av brand	38
8.2	Mål: Släckning av brand.....	39
8.3	Andra skyddsåtgärder.....	40
9	Diskussion och slutsatser	41
9.1	Felkällor.....	41
9.2	Beräkningar	41
10	Referenser	42
	BILAGA A Nomenklaturlista	
	BILAGA B Beräkningsprinciper	
	BILAGA C Fotografier från branden	

Abstract

On 26th August 2002 at 21.34 the fire brigade in Norrköping was called out to a fire in a pallet warehouse at Danzas ASG Eurocargo AB. The warehouse contained 75,000 wooden pallets all of which were consumed by the fire. This was the fourth arson in Norrköping within a week.

The firefighting operation was extremely difficult and there was a serious risk that the fire would spread to surrounding buildings. The very strong heat radiation made it almost impossible to approach the fire to attempt to extinguish it. In addition, hydrants in the area were not working effectively, which further worsened the situation.

There are only a few existing recommendations on how to store pallets and these are seldom put to the test in large-scale trials. Therefore, this fire provided the opportunity for in-depth study on the storage conditions for pallets. Analysis of video footage and photographs from the fire, along with calculation models, provided the data for a calculation of heat radiation from the fire. Observations from the incident commander made it possible to make a comparison between the heat radiation levels experienced at the fire and the subsequent calculated levels.

The study on this fire found the following:

- The experienced and calculated conditions tallied satisfactorily
- Pallets burn with a high rate of heat release; and the spread of fire within a layer of pallets is extremely fast. The speed of the spread of fire in a lateral direction was estimated at approximately half a metre per minute. From the beginning of the operation the pallet storage system in use at the time made it almost impossible to extinguish the fire.
- The distance from the warehouse to surrounding buildings should have been at least 75 metres, but was in fact 20. For some other storage conditions studied this distance ought to be 1½ times the length of the shortest side of the warehouse.
- The distance from the point where firefighting was possible to where the fire was most intense was 120 metres. For some other storage conditions studied the distance ought to be twice the length of the shortest side of the warehouse.

Keywords. Wood pallets, radiation and flame height.

Sammanfattning

Den 26 augusti 2002 kl. 21.34 larmades Brandförsvaret i Norrköping till en brand i ett lastpallslager hos företaget Danzas ASG Eurocargo AB. Branden var en av totalt fyra anlagda bränder i Norrköping under en veckas tid.

Räddningsinsatsen blev mycket svår och risken för spridning av branden från lastpallslaget till byggnader i omgivningen var mycket stor. Den starka strålningsvärmens från branden gjorde det svårt att närma sig branden för att kunna bekämpa den. Dessutom fungerade brandposterna i området dåligt, vilket försvårade situationen ytterligare.

Den inträffade branden gav möjligheter att studera lagringsförhållanden av lastpallar djupare. Studier av framförallt videoupptagningar och fotografier från branden utgjorde tillsammans med beräkningsmodeller grund för beräkningar av strålningsvärmens från branden. Erfarenheter från Räddningsledaren möjliggjorde en jämförelse mellan upplevda och beräknade strålningsnivåer vid branden.

Resultatet av arbetet var:

- Verkliga och beräknade förhållanden för branden vid Danzas visade god överensstämmelse.
- Lastpallar brinner med mycket hög effektutveckling och brandspridningen inom ett lager av lastpallar går mycket fort. Brandspridningshastigheten i sidled uppskattades till ungefär en halv meter per minut. Möjligheterna att släcka branden var i stort sett obefintliga med det aktuella lagringssättet.
- Avståndet till närliggande byggnader borde ha varit minst 75 meter istället för 20 meter. För några andra lagringsförhållanden som studerades bör avståndet till närliggande byggnader eller material vara minst 1,5 gånger så stor som lagringenshetens kortaste sida.
- Avståndet till den plats varifrån brandbekämpning var möjlig var då branden var som intensivast 120 meter. För några andra lagringsförhållanden som studerades bör avståndet minst uppgå till 2 gånger lagringenshetens kortaste sida.

Nyckelord: Lastpallar, strålning och flamhöjd.

1 Bakgrund

Den 26 augusti 2002 kl. 21.34 larmades Brandförsvaret i Norrköping till en brand i ett lastpallslager i Norrköping som tillhör företaget Danzas ASG Eurocargo AB. Branden utvecklades snabbt och efter tre timmar hade omkring 75 000 lastpallar brunnit upp. Den starka strålningsvärmén från branden hotade närliggande byggnader samtidigt som den gjorde det svårt att bekämpa branden och skydda hotade byggnader. Dessutom fungerade inte brandposterna i närheten vilket försvårade situationen ytterligare. Tack vare en lyckad insats av brandpersonalen i kombination med gynnsamma väderförhållanden lyckades branden i stort sett begränsas till lastpallslaget.

Den efterföljande brandutredningen tillsammans med ett erkännande av en misstänkt person bekräftar att branden var anlagd. Personen som anlade branden samlade ihop etiketter från lastpallarna, som placerades vid ett par lastpallar och antändes. Totalt brann ungefär 75 000 lastpallar upp vid branden. Räddningstjänstinsatsen förklarades avslutad den 27 augusti kl. 12.00.

Lastpallar är en viktig komponent i samhällets transport- och logistiksystem. Upplag av lastpallar kan förekomma i olika storlekar. Erfarenheter visar att bränder i till synes små lagervolymer kan ge allvarliga konsekvenser, inte minst genom brandspridning till intilliggande byggnader.

Bränder i lastpallslager av den storleksordning som inträffade i Norrköping är sparsamt dokumenterade i nuläget. Likaså är råd och anvisningar om lagringsvolymer och skyddsavstånd till byggnader av mager karaktär. Det som ibland används är ofta baserat på teoretiska beräkningsmodeller som inte alltid är verifierade vid praktiska försök. Till följd av den inträffade branden finns det möjlighet att undersöka vad som hände i verkligheten och med detta som utgångspunkt kanske finna, eller få verifierat, lämpliga lagringssätt och relevanta skyddsavstånd vid verksamheter av nämnda slag.

Rapporten är skriven av Brandingenjör Ulf Lago, Norrköpings Brandförsvär, på uppdrag av Statens räddningsverk.

1.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att utifrån erfarenheter från den aktuella branden kunna finna, eller få verifierat, lämpliga lagringssätt och relevanta skyddsavstånd vid liknande verksamheter.

2 Beskrivning av objektet

Lastpallslagret som omfattades av branden tillhörde företaget Danzas ASG Eurocargo AB i Norrköping. Området där företaget är etablerat består till största del av mindre företag och industrier.

2.1 Byggnader

På den aktuella tomten finns 2 byggnader (**bild 1**). En mindre byggnad i nordvästra hörnet av tomten är ett förråd som vid brandtillfället innehöll lastpallar. Huvudbyggnaden innehåller terminal- och lagerlokaler med två hyresgäster; Green Cargo och Danzas. Placeringen av lastpallslagret innan branden framgår av bilden nedan. Av bilden framgår även placeringen av lastpallslagret innan det flyttades efter påpekanden vid brandsyn i april 2002.

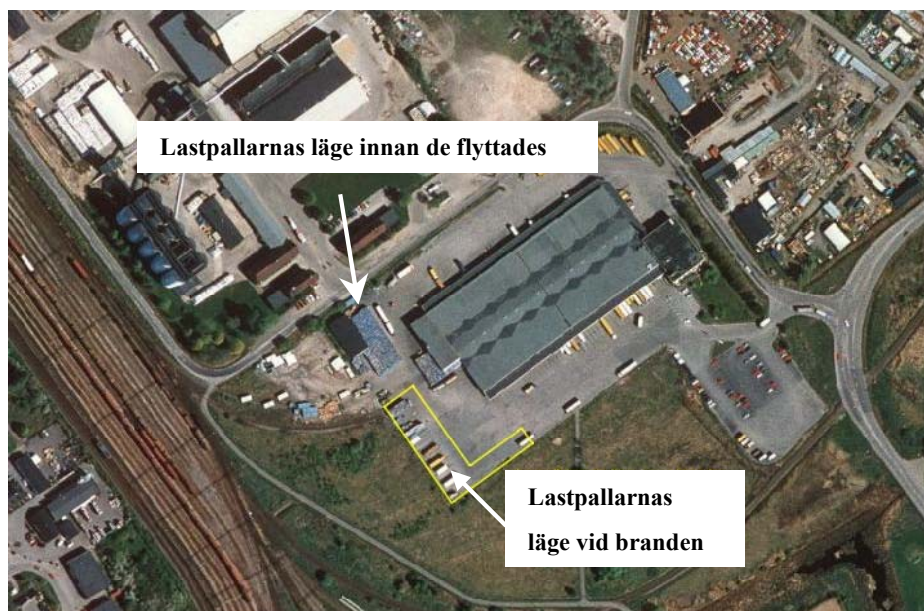


Bild 1. Byggnaderna på Danzas område och placering av lastpallarna innan och efter de flyttades.

Den stora byggnaden har murade ytterväggar av tegel och tak av pappbeklädda ytongelement. De bärande elementen i byggnaden består av betongpelare. Det finns en tillbyggnad till terminalbyggnaden som är av plåt och som vetter mot lastpallslagret. Angöringen för lastbilar till terminalbyggnaden består av plåtutbyggnader. För att förhindra att kall uteluft tränger in i byggnaden vid lastning och lossning av fordon finns det vädertätningar av gummi. Vid lastning och lossning blåses dessa upp med tryckluft och tätar kring lastbilschassit. Den fristående förrådsbyggnaden är av plåt. Området är inte inhägnat.

2.2 Verksamhet

Danzas bedriver en godsterminal för omlastning av gods. De lastpallar som var inblandad i branden förvarades på Danzas område för en kunds räkning, och är ingen del av godsterminalverksamheten.

2.3 Omgivning

Väster om Danzas finns närmast en öppen gräsyta och sedan järnvägsspår för stambanan. Inom ett avstånd av 250 meter finns Norrköpings rangerbangård, som är en § 43-anläggning i kommunens räddningstjänstplan.

I östlig riktning, inom ett avstånd av ungefär 300 meter, finns ett område med mindre verkstäder och upplag.

100 meter från lastpallslagret finns Hydro Agri AB. Verksamheten där omfattas av den lägre kravnivån i Sevesolagstiftningen (1999:381). Hydro Agri AB bedriver terminalverksamhet för gödselmedel, och på området kan 1500 ton ammoniumnitrat samt 200 ton kaliumnitrat lagras samtidigt utomhus. En mindre del förvaras inomhus. Avståndet mellan utomhusförvaringen och lastpallslagret var 150 meter. Hydro Agri har en kontorsbyggnad närmast Danzas och avståndet mellan denna byggnad och lastpallslagret var ungefär 100 meter.

2.4 Lastpallarna

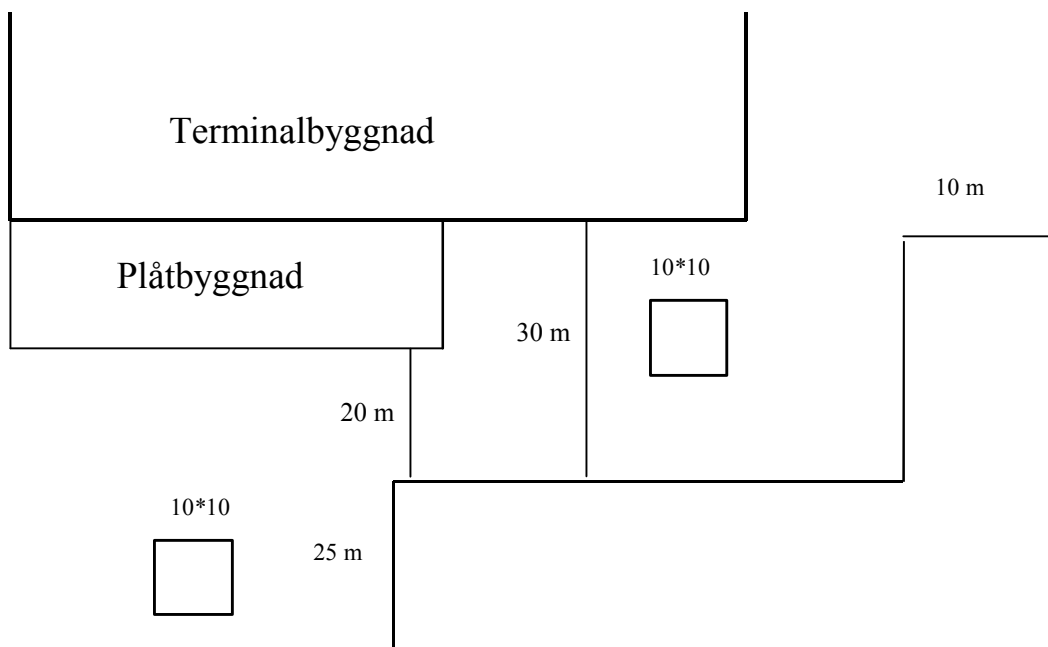
De lastpallar som var inblandade i branden går under benämningen Chep-pallar. Pallarna har måtten 1200*800*150 mm. En pall väger ungefär 25 kg. Pallarna var målade med en blå, vattenbaserad färg.

Lastpallarna förvarades i en större enhet och två mindre enheter (**figur 1**). Förvaringen skedde på en yta om ungefär 2900 m². De flesta staplar bestod av 38 lastpallar, medan några bestod av 19 pallar. Lastpallarna var orienterade med långsidan mot terminalbyggnaden och kortsidan tvärs terminalbyggnaden.

Lagret av lastpallar var uppskattningsvis 100 meter långt. Mellan varje stapel av lastpallar fanns ett fritt utrymme om ungefär 2-3 dm på vardera sidan. Djupet på lastpallslagringen var ungefär 25 meter på den långa delen av L-formationen. Den kortare delen av L-formationen var ungefär 50 meter lång och 8 meter djup.

Vid sidan av den stora lagringen fanns de två mindre upplagen om uppskattningsvis 100 m² vardera (**figur 1**).

Enligt uppgift från Danzas fanns ungefär 75 000 lastpallar på området vid brandtillfället.



Figur 1. Ritning över området med lastpallar (ej skalenlig).

2.5 Vidtagna brandförebyggande åtgärder

Danzas verksamhet omfattas av regelbunden brandsyn, och brandsyn genomförs vartannat år. Den sista brandsynen innan branden genomfördes den 22 april 2002. Då påtalades risken med att förvara lastpallarna så som framgår av bild 1. Lastpallarna flyttades därefter till den plats som var aktuell vid branden.

Avståndet mellan lastpallarna och den stora terminalbyggnaden var som minst 20 meter, vilket var avståndet mellan lastpallarna och den tillbyggda plåtbyggnaden. Avståndet mellan lastpallarna och den murade väggen i terminalbyggnaden var 30 meter (**figur 1**). Några interna brandgator eller säkerhetsavstånd mellan lastpallarna fanns inte.

Terminalbyggnaden på området är försedd med automatiskt brandlarm och brandgasventilation.

3 Lagstiftning

3.1 Plan- och bygglagen

Plan- och bygglagen (1987:10) tar i sina inledande kapitel upp hur mark skall användas och hur bebyggelsen skall utformas. Följande finns att läsa:

4 § Inom områden med sammanhållen bebyggelse skall bebyggelsemiljön utformas med hänsyn till behovet av

1. skydd mot uppkomst och spridning av brand samt mot trafikolyckor och andra olyckshändelser....

Dessa krav skall beaktas vid detaljplanarbetet.

3.2 Byggnadsverkslagen

I lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk (1994:847) och tillhörande föreskrifter, anges hur brandskyddet i byggnader skall utformas. Lastpallslagret var beläget i det fria, vilket gör att lagret inte omfattas av bygglagstiftningens regler för brandskydd. Om däremot ett lastpallslager etableras inne i en byggnad finns det krav i byggreglerna på hur brandskyddet i en sådan byggnad skall utformas. I Nybyggnadsreglerna (BFS 1988:18) fanns rekommendationer om brandgasventilation, sprinkler och automatiskt brandlarm beroende på byggnadens volym och brandbelastning. I Boverkets byggregler (BFS 1993:57) finns inte dessa rekommendationer uttryckta men förslag på hur skydd mot brandspridning mellan byggnader kan försvåras finns enligt lydelsen nedan.

Brandspridning bör försvåras genom begränsning av strålningsnivån.

Detta kan åstadkommas te.x. genom att

- uppföra byggnader på ett tillräckligt avstånd från varandra,*
- oskyddade byggnadsdelars storlek begränsas,*
- brandbenägenheten hos exponerade fasader begränsas,*

eller

- brandens omfattning begränsas, så att strålningsnivån hålls låg, genom anordnande av brandgasventilation eller installation av automatisk vattensprinkleranläggning.*

Brandspridning bör också begränsas genom utformningen av tak och/eller takytor eller genom sektionering av byggnader så att räddningstjänsten lättare kan förhindra brandspridning.

Mer detaljerade råd kring utformningen finns i BBR 5:72

När en byggnad kan förväntas påverkas av strålning från flammor bör strålningsnivån understiga 15 kW/m² i minst 30 minuter. Alternativa strålningsnivåer kan bestämmas med ledning av fasadyornas utformning och material.

3.3 Räddningstjänstlagen

Enligt 41 § Räddningstjänstlagen (1986:1102) är ägare eller innehavare av byggnader och anläggningar skyldiga att vidtaga skäliga brandskyddsåtgärder. Enligt 16 § Räddningstjänstlagen skall brandsyn förrättas i de byggnader eller anläggningar som regeringen bestämmer. Brandsyn skall avse kontroll av brandskyddet i dessa byggnader och anläggningar. Räddningstjänstförordningens (1986:1107) 16 § anger vilka byggnader eller anläggningar som skall omfattas av regelbunden brandsyn. Upplag är ett sådant objekt som skall omfattas av regelbunden brandsyn. Räddningstjänstförordningen 17 § ger Statens räddningsverk i uppdrag att bestämma hur ofta brandsyn skall förrättas i de byggnader eller anläggningar som finns upptagna i förordningens 16 §.

Brandsyn kan förrättas även vid andra objekt eller anläggningar än de som regeringen har bestämt och vid andra tillfällen än vad Statens räddningsverk anger. Beslut om brandsyn i annat fall fattas av den kommunala nämnd som ansvarar för räddningstjänsten.

3.4 Miljöbalken

Materialupplag av aktuellt slag omfattas inte av Miljöbalken (1998:808) eller föreskrifter meddelade med stöd av Miljöbalken. (Mailkorrespondens med Gunilla Blomé, Miljö- och hälsoskyddskontoret i Norrköpings kommun)

3.5 Rekommendationer

3.5.1 Malmö Brandkårs rekommendationer

Malmö Brandkår (2001) har i en promemoria angett sin syn på hur brandskyddet bör utformas vid upplag utomhus. Promemorian innehåller bland annat rekommenderat lagrings sätt, lagringsvolym samt skyddsavstånd till annat brännbart material och byggnader. I promemorian anges lämpliga avstånd mellan lastpallar och byggnader, maximal lagringshöjd och lagringsyta, avstånd mellan lagringsytor och avstånd till grannfastighet. Dessutom finns förslag på när brandvägar är nödvändiga.

4 Beskrivning av insatsen

Brandförsvaret i Norrköping larmades den 26 augusti 2002 kl. 21:34 till Danzas lokaler på Kommendantvägen i stadsdelen Saltängen. Utlarmningen från SOS var:

”Stort larm stn 10 och 11- brand i en pallhög nära bebyggelse.”

Vädret var klart med en temperatur om 18 °C och svag, sydostlig vind om 2 m/s.

4.1 Insatsens inledning

Från huvudstationen utgick en ledningsbil med brandmästare (1) en släckbil (1+4) och en tankbil (1). Från bibrandstationen (stn 11) utgick en släckbil (1 + 4.)

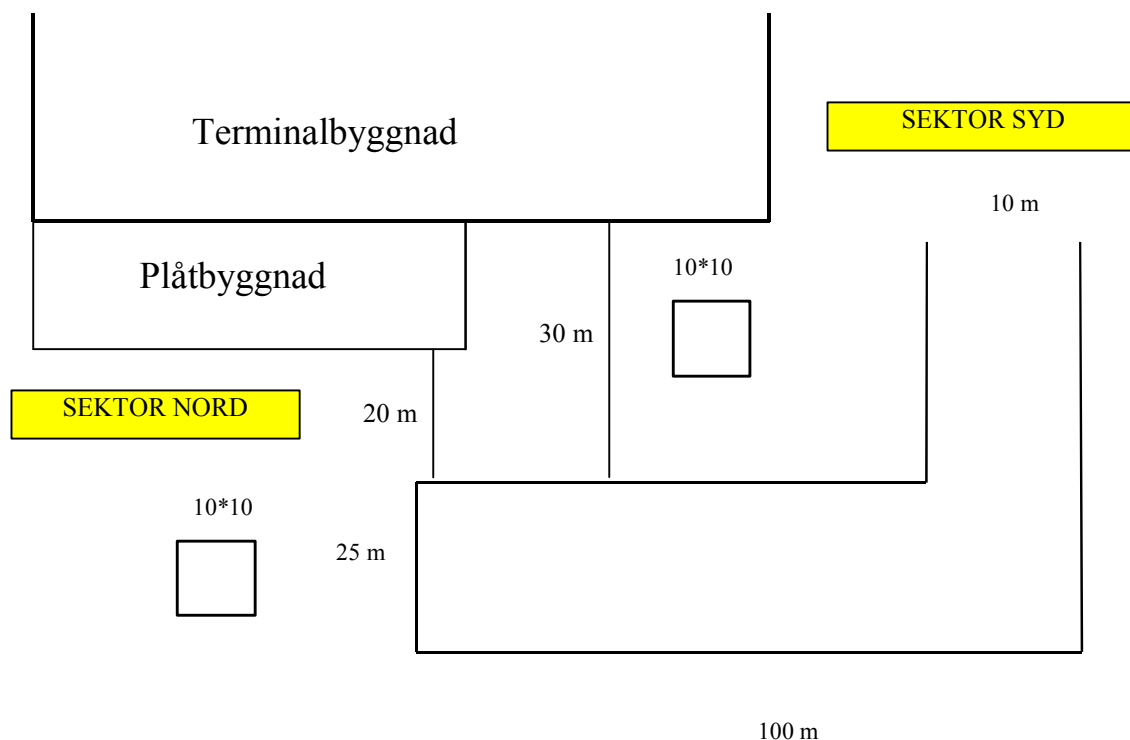
Under framkörning sågs en rökpelare från området. Vid ankomst kunde konstateras att branden inte var så stor och att den var centrerad till mitten av pallhögen. Troligen hade branden startat i den bakre delen av högen. Pallhögen bedömdes ha formen av ett L med måtten (60x40) m och (20x40) m. Höjden uppskattades till 7 m.

Insatsledaren beordrade styrkorna att angripa branden från två håll. Styrkorna delades i sektor Syd och sektor Nord (**figur 2**). De fick order om att säkra vattentillgången, vilket visade sig vara problematiskt. Sektor Syds ena brandpost gick att få upp men levererade inget vatten. Den andra brandposten gick inte att öppna. Sektor Nord fick också problem med sina brandposter. Den ena visade flaggan åt fel håll och den andra hade ingen flagga. Den brandpost som till slut kunde användas låg inne på Hydro Agri AB:s område.

Vid brandtillfället fanns det gott om personal på företaget, eftersom skiftbyte precis hade skett. Med hjälp av Danzas egna truckförare gjordes kl. 21.45 försök att köra bort en del av de hotade lastpallarna. Det visade sig dock var för riskabelt med tanke på den starka strålningsvärmens från branden. Dessutom ansågs det meningslöst med tanke på den snabba brandspridningen. Fordon och släp som var uppställda på området kördes bort med hjälp av företagens personal och tillgängliga lastbilschaufförer.

Från företaget erhöles information om innehållet i byggnaden. I halva byggnaden fanns nya fordonsdäck staplade mellan golv och tak. I den andra halvan av byggnaden förvarades blandat gods, även sådant som klassas som farligt gods. Insatsledaren och företagsledningen gjorde en bedömning av hur branden hade påverkat byggnaden och miljön inomhus. Vissa portar öppnades för att få ut de brandgaser som började ansamlas under innertaket. Personal från företaget hjälpte till att kyla ner de portar och dörrar som var varma. På vissa hade isoleringen börjat brinna. Företagsledningen fick också i uppdrag att försöka tömma lokalerna på gods.

Kl. 22.10 gjordes försök i syfte att dämpa branden med hjälp av vattenkanoner på Luftfartsverkets fordon. Vattnet hade ingen dämpande effekt alls. Därför togs beslut att inte ödsla varken vatten eller resurser på att släcka eller dämpa branden. I stället fokuserades kraften på att bevaka de begränsningslinjer som hade upprättats



Figur 2. Sektorindelning vid insatsen.

4.2 Kritiskt skede av insatsen

Kl. 22.15 hade förstärkning anlänt. En släckenhet fick direkt order om att släcka och begränsa de gräsbränder som hade härjat fritt bakom lastpallslagret. Kl. 22.20 var branden intensiv på grund av att hela högen av pallar brann inklusive en mindre hög mellan den stora högen och terminalbyggnaden. Ytterligare en släckenhet, som hade befunnit sig på brytpunkt som taktisk reserv för oförutsedda händelser, sattes in. De anslöt till sektor Syd för att lösa av första styrkan som var ordentligt trötta. Vid denna punkt hade så mycket resurser byggts upp att händelseutvecklingen kunde kontrolleras.

Kl. 22.40 beträddes terminalbyggnadens tak för att släcka en brand som börjat att få fäste i takfoten. Det ångade också från tjärpappen på taket. Ett höjdfordon anlände kl. 22.55 och sattes in för att kunna vattenbegjuta taket med vattenkanon från höjdfordonet

Nästa släckenhetskommando kom till platsen kl. 23.15 och fick förstärka upp sektor Nord med att säkra vattenförsörjningen från öppet vatten. Ytterligare styrkor fick uppgift att tillsammans med sektor Nord kyla de väggar som var utsatta för kraftig strålningsvärme.

Ledningshjälp i form av en brandmästare kom till platsen kl. 23.45. Efter en snabb genomgång av området och situationen blev brandmästaren samordnare på sektor Nord. Vid denna tidpunkt var strålningsvärmen på sektor Syd fortfarande så stor att man inte kunde komma åt att kyla byggnaden. Försök gjordes att kyla med markkanoner istället.

4.3 Insatsens slutskede

Kl. 01.00 meddelade företaget att de hade lyckats tömma halva byggnaden av däck och andra kollin av gods. De ville inte köra ut mer gods då det medförde problem med de som hade kommit för att titta på branden. De hade börjat intresserat sig för det gods som var utkört från lokalerna och det fanns risk för stöld enligt företaget. Ett vaktbolag hyrdes in att bevaka godset. Trots vaktens närvaro hade det kommit in folk i lokalen som vaktbolaget fick avvisa.

När högarna med pallar rasade såg brandhårdarna ut som flytande lava. Det positiva med att högarna rasade var att branden avtog i intensitet och därmed även värmestrålningen. De styrkor som varit först på plats kunde nu lösas av. Den styrka som löste av sektor Syd fick gå upp på taket för att bryta upp plåtar och tjärpapp för att släcka glödbränder. Strålningsvärmen var kl. 01.50 inte lika intensiv, det gick att gå ända fram till den sida av taket som var närmast brandhärden.

Personalen utsattes för svåra påfrestningar till följd av den enorma strålningsvärme branden utvecklade. En del av dem hade huvudvärk, illamående, kräkningar och kramper. I inledningsfasen hade de upplevt att det var svårt att få tillräckligt med luft.

5 Litteraturstudie

Riskerna vid brand i upplag utomhus består främst av brandspridning via strålningsvärme från flammorna eller spridning av gnistor. För att kunna bedöma riskerna för spridning av brand via strålningsvärme i det förebyggande arbetet måste lämpliga teoretiska beräkningsmodeller användas.

5.1 Beräkning av utfallande strålning

Den avgörande faktorn för den *utfallande* strålningen från en brand är flammans temperatur och emissivitet. Den utfallande strålningen kan beräknas med Kirchhoffs lag (Drysdale, 1992) enligt följande:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [1]$$

Faktorn ε kallas flammans emissivitet. Enligt Ondrus (1990) varierar emissiviteten mellan 0,3-0,7 för de flesta bränder. Emissiviteten beror också på flammans tjocklek. Ju tjockare flamma desto högre värde antar emissiviteten. Enligt Brandskyddslaget – LTH Brandteknik (1994) närmar sig värdet på emissiviteten 1 för flammor som är tjockare än 2 meter.

En annan metod för att beräkna den strålning som avges från flamman genom strålning är att utgå från den totala effektutvecklingen. För lastpallar finns ett empiriskt framtaget uttryck (SFPE och NFPA (1992)) för beräkning av den avgivna effekten:

$$\dot{q} = 1450(1 + 2,14 \cdot h_c)(1 - 0,027M) \quad [2]$$

Av den totala effektutvecklingen avges en viss del i form av strålning. Denna andel utgörs normalt av 15-30% av den totala effekten. Om man betraktar flamman som en rektangel kan strålningseffekten från flamman beräknas som (Drysdale, 1992):

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,3 \cdot \dot{m} \cdot \Delta H_c \cdot A_f}{l \cdot D} \quad [3]$$

I täljaren återfinns ett uttryck för den av branden utvecklade effekten och i nämnaren flammans area.

5.1.1 Flammans temperatur

Om Kirchoffs lag används som utgångspunkt för beräkning av infallande strålning måste flammans temperatur vara känd. Det finns flera sätt att bestämma flammans temperatur.

Temperaturen varierar i olika delar av flammen. Enligt Brandskyddslaget & LTH-Brandteknik (1994) varierar temperaturen i flammans bas mellan 700 °C och 1200 °C och temperaturen i flammans topp mellan 500 °C och 600 °C. Beroende på hur pass fullständig förbränningen är bildas mer eller mindre sot i flammen. Ju mer sot som bildas desto lägre temperatur i flammen.

5.2 Beräkning av infallande strålning

För beräkning av den *infallande* strålningen mot ett specifikt objekt är flammans geometri och objektets placering i förhållande till branden (synfaktorn) av betydelse. Beräkning av den utfallande strålningen från en brand mot en specifik punkt kan enligt Drysdale (1992) ske enligt följande:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \phi_{12} \cdot T^4 \quad [4]$$

I denna formel är ϕ_{12} synfaktorn för strålningen mellan två objekt.

5.2.1 Flammans geometri

Vid beräkningar av infallande strålning är flammans geometri av betydelse. Flammans geometri kan i det tvådimensionella fallet förenklas till en rektangel.

För mindre bränder kan flammans höjd beräknas med hjälp av vedertagna och verifierade formler. Den höjd som då erhålls är den genomsnittliga flamhöjden. I själva verket uppträder flammen oscillerande, det vill säga flamhöjden varierar hela tiden. Exempelvis har man för en liten metangasflamma fastställt att den oscillerar med frekvensen 3 Hz (Drysdale, 1992).

När brandarean ökar kommer det inte längre att finnas en enda stor flamma, utan flammen bryts ned i mindre delar (Brandskyddslaget & LTH-Brandteknik, 1994). För dessa bränder finns inga verifierade beräkningsmodeller framtagna och de samband som gäller för mindre bränder upphör att gälla. Flammans höjd kan då antas vara mindre än diametern på det brinnande materialet. För större bränder med diameter motsvarande 100 meter eller större, är flamhöjden oftast 10-20 meter. Anledningen till att flammen blir mindre vid stora bränder är att flammen delas upp flera mindre flammor som brinner oberoende av varandra.

5.2.2 Synfaktor

Strålning från en flamma sker i alla riktningar, och det är bara en viss del av strålningen som faller mot ett objekt. Strålningen från flaman mot ett objekt begränsas den så kallade synfaktorn. Synfaktorn kan bestämmas genom kunskap om flammans geometri, avståndet mellan flaman och objektet och objektets orientering gentemot branden. Beräkningar kombineras med tabelldata och ett värde på synfaktorn erhålls.

5.3 Kritiska strålningsnivåer

Den avgörande faktorn för om brandspridning via strålning skall ske är om den strålning som faller in mot ett material kommer att leda till antändning. Varje brännbart material har en kritisk strålningsnivå där antändning sker utan tändkälla. Det finns även en kritisk strålningsnivå när antändning kan ske med hjälp av tändkälla. I **tabell 1** redovisas kritisk strålningsnivå för olika material och för människor (Drysdale, 1992).

Tabell 1. Kritisk strålning för olika objekt (Drysdale, 1992)

Strålningsnivå [kW/m ²]	Effekt
0,7	Solsken en solig sommardag
1	Maximal strålning för oskyddad hud
6,4	Smärta efter 8 sekunders exponering
10,4	Smärta efter 3 sekunders exponering
12	Gaser från trä kan antändas med pilotlåga
16	Blåsor på hud efter 5 sekunder
29	Trä antänds spontant efter längre tids exponering
52	Träfiberskivor antänds spontant

Enligt Bengtsson (2001) kan en rökdykare utsättas för maximalt 200-300 °C temperatur i några minuter. Denna temperatur motsvarar en infallande strålning på mellan 2,8-6 kW/m².

Brandskyddslaget & LTH-Brandteknik (1994) anger en övre gräns för strålningen på 2,4 kW/m² när kontinuerlig brandbekämpning är möjlig. Ett gränsvärde för oskyddad hud och långa exponeringstider är 2,5 kW/m².

I NASA-tabellen (**tabell 2**) nedan (Lago m.fl. 1993) anges exponeringstid vid olika lufttemperaturer som utgångspunkt för indelning i olika klasser. NASA-tabellen används bland annat vid framtagande av skyddskläder.

Tabell 2. NASA-tabell (Lago m.fl.).

Klass	Lufttemperatur [°C]	Strålning [kW/m ²]	Exponeringstid [min]
1	40	0,5	30
2	95	1	15
3	250	1,75	5
4	815	42	10 sekunder

Kravet vid utveckling av Räddningsbeklädnad 90 var att en brandman inte skall känna smärta vare sig under eller inom 5 minuter efter avslutad värmeexponering i klass 1-3 (Lago m.fl.). I samband med utvecklingen av Räddningsbeklädnad 90 gjordes en rad praktiska försök. Bland annat utsattes brandmän i skyddsdräkt för olika strålningsnivåer. Vid en strålning på 3,4 kW/m² upplevdes inget obehag under exponeringen, men en strålning på 5 kW/m² ledde till smärta efter 5 minuter (SP, 1990).

Den typ av brandslang som användes vid branden består av bland annat polyestergarn. Detta materials egenskaper börjar förändras vid en yttemperatur om 160 °C (telefonsamtal med Arne Kopp, SVEBAB) Detta motsvarar överslagsmässigt en strålning om 2 kW/m². Om slangens är fylld med strömmande vatten ökar slangens strålningsmotstånd.

5.4 Brandbekämpning

Flera studier har gjorts som behandlar hur stora bränder som en brandman eller brandstyrka kan bekämpa. Bengtsson (2001) anger att en rökdykare utrustad med strålrör kan bekämpa en inomhusbrand som utvecklar en brandeffekt om 15-20 MW.

Särdqvist (1999) anger att den genomsnittliga vattenpåföringen för att släckning skall kunna ske måste vara minst 0,002 l/m² s. Om vattenflödet är mindre så förlängs bara tiden för branden att brinna ut. Dessutom är avståndet mellan strålrör och branden avgörande. Ju större avståndet är mellan branden och strålröret ju mindre måste konvinkeln vara för att strålen skall kunna nå fram till branden. Medelpåföringen av vatten på det ställe där den slutna strålen träffar blir visserligen hög, men för att kunna släcka hela branden måste strålröret ges ett häftigt rörelsemönster.

Det finns andra faktorer än möjligheten att närma sig branden som påverkar möjligheter till brandsläckning. Sådana kan vara risken för ras, att branden skyms av andra föremål och att det är svårt att komma åt branden från olika håll.

5.5 SkandiaTips

Skandia Tips nr 2-87 refererar till försök gjorda i USA samt egna genomförda försök med lastpallar i Landskrona. De amerikanska försöken resulterade i att förhållanden mellan avgiven värmeeffekt vid brand och staplingshöjd kunde fastställas. Effekten anges per kvadratmeter exponerad yta och volymenhet (**tabell 3**).

Tabell 3. Avgiven effekt vid brand i lastpallar (SkandiaTips nr 2-87)

Lagringshöjd [cm]	Effekt [kW/m ² brinnande area/10 ³]
10-30	1,4
150	5,2
300	10,7
480	17

Dessutom finns tiden angiven då branden uppnår en effekt om 1 MW för olika staplingshöjder (**tabell 4**).

Tabell 4. Tillväxttid till 1 MW (Skandia Tips nr 2-87).

Lagringshöjd [cm]	Tillväxttid till 1 MW [s]
5-30	150 – 325
150	90 – 200
300	80 – 125
480	75 – 125

Av försöken gjorda i Landskrona dras en del slutsatser. Försöken gjordes med ungefär 2000 lastpallar, där 1500 lades i en huvudstapel och resterande del i sidostaplar på 5,4 respektive 8,2 meters avstånd från huvudstapeln. Antändning skedde med hjälp av bensin.

Vid försöken observerades att brandspridningen inom lastpallslagret skedde på ytan av lastpallslagret i större utsträckning än i de nedre partierna. Ett annat resultat var att den stora strålningsvärmens förstörde en plastvägg på 75 meters avstånd från branden. Efter 1 timme betraktades lastpallarna helt nedbrända.

De slutsatser och rekommendationer som brandförsöket gav var att 15 meters skyddsavstånd är nödvändigt mellan lastpallslager och byggnader med bristfällig brandsektionering. Tidigt larm till Brandförsvaret rekommenderas också, eftersom värmestrålningen vid försöken redan efter 10-12 minuter var sådan att Brandförsvaret omöjligen hade kunnat närma sig branden för begränsande insats.

6 Metod

6.1 Faktainsamling

Fakta kring branden har hämtats från följande källor

- Brandförsvarets insatsrapport
- Brandutredning och polisens förhörprotokoll
- Videofilm och fotografier från branden
- Uppgifter från räddningsledaren och övrig insatspersonal
- Produktinformation från Danzas om lastpallarna och lagringsförhållanden.

6.1.1 Insatsrapport

Brandförsvarets insatsrapport studerades för att få uppfattning om händelseutvecklingen i stort och viktiga tidsangivelser.

6.1.2 Brandutredning

Från Polisens brandutredning har fakta inhämtats. Bland annat har information kring brandens uppkomst erhållits.

Från förhörprotokollen med den person som erkände anläggandet av branden har information om hur och var branden startade erhållits.

6.1.3 Videofilm och fotografier

I ett av Brandförsvarets fordon fanns en videokamera. Denna var i gång under femton minuter i början av branden. På videobandet hörs en del trafik i kommunikationsradion men även en nyhetssändning från Sveriges Radio.

Fotografier har erhållits via massmedias fotografer. Fotografierna är digitala och tillsammans med bilden lagras också tidpunkten för fotograferingen. Fotografen har kontaktats för kontroll av att kamerans tidsangivelse stämmer med verklig tid.

6.1.4 Uppgifter från Räddningsledaren

Räddningsledaren och annan insatspersonal har bidragit med erfarenheter och minnesbilder från branden. Även brandsynerförrättaren och brandutredaren har bidragit med kunskap.

6.1.5 Danzas

Via företaget Danzas har en rad uppgifter inhämtats. Tekniska data kring lastpallarna har erhållits men även uppgifter om lagringsförhållanden mm.

6.2 Mätning av flamhöjd och flambredd

För att bestämma flamhöjd och flambredd vid olika tidpunkter har fotografier och videofilmer studerats. Dessa är försedda med tidsangivelse som har visats sig vara korrekta.

Flammans höjd och bredd har kunnat bestämmas genom att höjden på lastpallarna mätts på fotografierna (**bild 2**). Då branden uppstod lagrades 38 lastpallar på höjden, och varje lastpall är 15 cm hög. En stapel med 38 lastpallar är alltså 5,7 meter hög. På detta sätt kan en skala bestämmas, där 1 mm på fotografierna motsvarar en viss längd i verkligheten.

Flammans bredd har bestämts genom att mäta på fotografierna. Fotografierna är tagna mot lastpallslagrets långsida vilket gör att flammans bredd blir stor. Om fotografierna hade tagits mot lastpallslagrets kortsida hade flammans bredd uppfattats som mindre. De kommande beräkningarna av bland annat strålning förutsätter att flammen approximeras till en rektangel. Höjden av rektangeln motsvarar den verkliga flamhöjden, men rektangelns bredd har bestämts till 75% av den verkliga flambredd. Den rektangel som erhålls bedöms ha samma yta som den verkliga flammen.

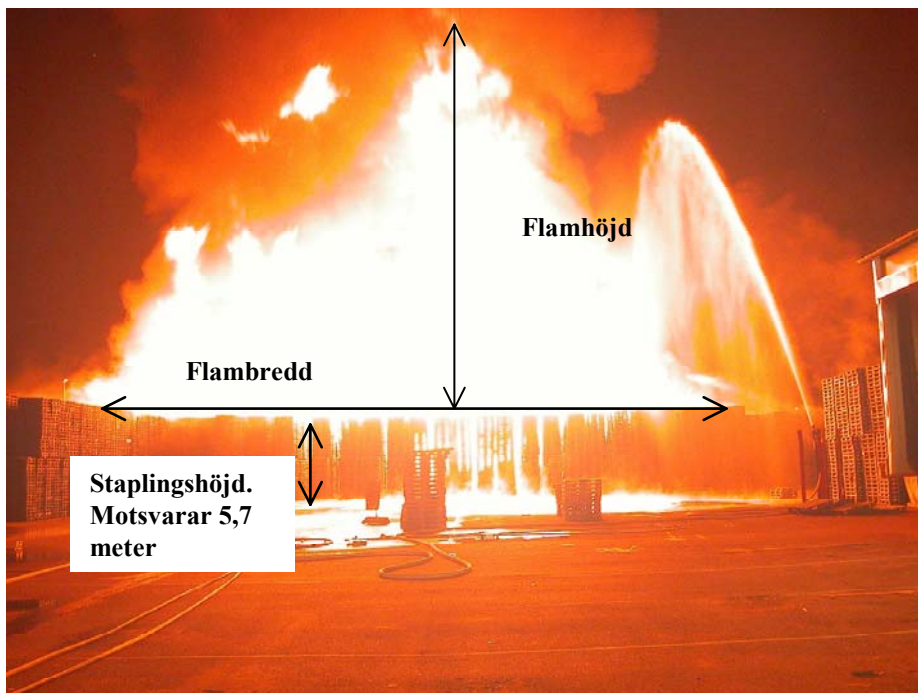


Bild 2. Figuren visar hur flamhöjd och flambredd kunde bestämmas genom kunskap om den verkliga lagringshöjden. Foto: Per Wikström.

6.3 Beräkningar

För att verifiera de förhållanden beträffande strålningsvärme som rådde vid brandtillfället har beräkningar gjorts. Beräkningarna grundar sig på bedömning och uppskattning av flamhöjd och flambredder.

7 Resultat

7.1 Visuella observationer

De visuella observationerna vid och efter branden beträffande brandförloppet, upplevd strålningsvärme, strålningsskador på omgivningen, gnistregn och flammans geometri redovisas nedan. Utifrån insatsrapporten har tiden då larmet inkom till Brandförsvaret kunnat bestämmas. På den 15-minuter långa videoupptagning som finns från en av släckbilarna hörs en nyhetssändning från Sveriges Radio. På så sätt har förhållanden på brandplatsen i brandens inledningsskede kunnat tidsbestämmas. Genom att överföra bilder varje minut från videokassetten till fotografi kan olika förhållanden vid olika tidpunkter studeras noggrannare.

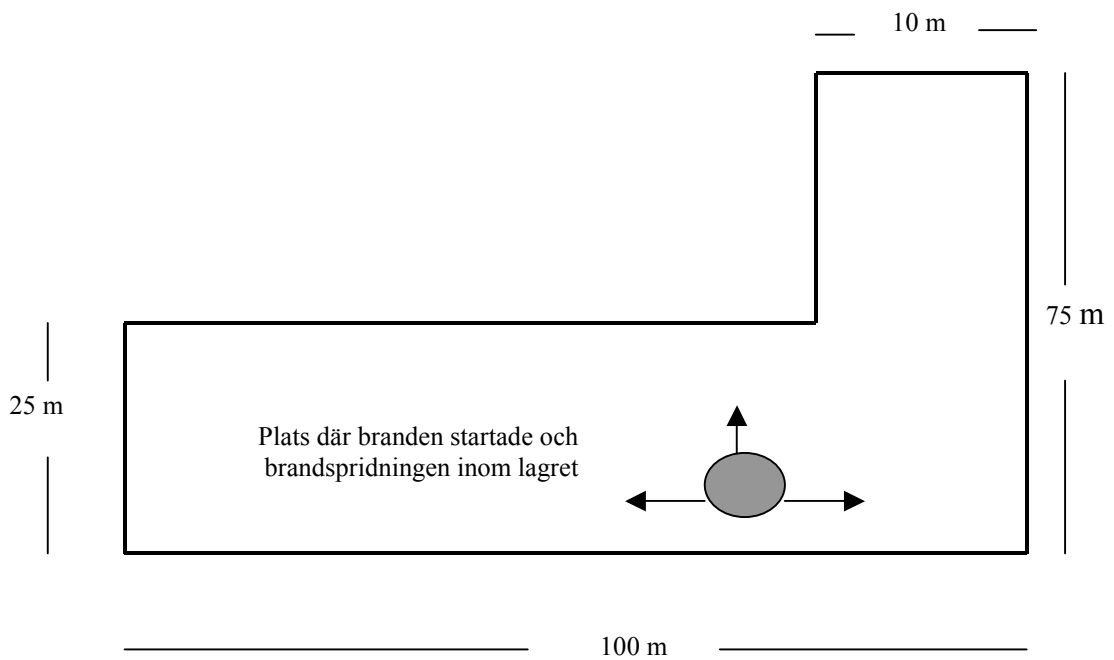
Förhållanden efter det att videoupptagningen upphört grundar sig på de fotografier som är tagna med digitalkamera av massmedia. Vid fotograferingen lagras förutom bilden även tidpunkt i kamerans minne. Dessa tider har vid kontroll hos fotografen visat sig ha god överensstämmelse med verklig tid.

7.1.1 Brandspridning i lastpallslagret

Enligt Polismyndighetens brandplatsundersökning från branden har branden startat ungefär 10 meter in i lagret (**figur 3**). Det var möjligt att anlägga branden en bit in i lagret genom att lastpallarna var staplade med ett mellanrum på uppskattningsvis 2-3 dm. Branden anlades genom att etiketter från några lastpallar samlades ihop och antändes. Branden spred sig i lagret och brandspridningen skedde genom att lastpallarna antändes av strålningsvärmen från flammorna. Brandspridningen skedde sålunda över toppen på lastpallslagret. Eftersom vinden vid brandtillfället var mycket svag steg flammorna rakt upp. Strålningen från flammorna bör därmed ha varit lika stor i alla riktningar över lastpallslagret.

Allteftersom branden spred sig i båda riktningarna i lastpallslagret lämnade den uppbrunna lastpallar efter sig.

Efter ungefär en och en halv timma hade branden spridit sig till hela lagret och vid den tidpunkten var branden som intensivast. Efter tre timmar hade i stort sett samtliga lastpallar brunnit upp och kvar var endast en stor glödande hög. Den genomsnittliga brandspridningshastigheten i horisontell riktning var ungefär en halv meter per minut.



Figur 3. Platsen där branden uppstod och brandspridningen genom lagret.

7.1.2 Upplevd strålningsvärme

Intensiteten på strålningen var under vissa tider av insatsen så hög att det var omöjligt att bekämpa branden och komma åt att skydda byggnader. Fram till kl. 22.15 kunde vatten påföras branden utan att det förångades innan det nådde flammorna. Sedan förångades det vatten som sprutades på branden. Vatten påfördes branden bland annat via mark- och fordonsbundna vattenkanoner.

Temperaturen på insidan av terminalbyggnadens murade vägg mättes kl. 22.30. Den översteg då inte 100 °C. Kl. 22.30 användes de lastpallar som var placerade mellan den stora lagringenheten och terminalbyggnaden. Avståndet mellan den stora lagringenheten och dessa var ungefär 25 meter (**figur 1**).

Brandförsvarets fordon fick vid flera tillfällen retirera på grund av strålningsvärmen, som orsakade skador på bland annat vindrutor och blåljusramper. Brandslangar som låg utlagda på marken förstördes av strålningsvärmen. Kl. 23.15 var ett högfordon placerat ungefär 75 meter från branden, vilket var så nära branden ett fordon och en brandman med full beklädnad kunde vistas på grund av strålningsvärmen. Ledningsplatsen var vid denna tidpunkt ungefär 200 meter från branden och där upplevdes det som möjligt att vistas en längre tid utan full skyddsbeklädnad.

Kl. 00.00 var det fortfarande så varmt att det var omöjligt att gå längs den fasad som vette mot lastpallslagret. Avståndet från denna vägg till lastpallarna var 30 meter.

Utifrån litteraturstudien och den upplevda strålningsvärmens kan en bedömning göras av hur stark strålningen kan ha varit på olika avstånd (bild 3).



Bild 3. Bedömning av strålningsvärme vid olika tidpunkter på olika avstånd från branden. 1=Lastpallshög som antändes. 2 = Fasad som kunde ej passeras kl 00.00. 3 = Plats för högfordon vid 23.15. 4 = Ledningsplats.

7.1.3 Strålningsskador på omgivningen

Byggnaderna i området fick strålningsskador i samband med branden (bild 4). Isoleringen i dörrkarmar på fasaden mot lastpallslagret i den stora terminalbyggnaden smälte av värmen. Enligt uppgift var denna isolering av glasull. Avståndet från denna dörr till lastpallslagret var ungefär 30 meter.

I taknivå på den stora terminalbyggnaden och den tillbyggda plåtbyggnaden fanns en träregel placerad bakom en plåt. Strålningsvärmens som träffade denna plåt överfördes till träregeln, som fattade eld efter ett tag.

De väderskydd av gummi som fanns vid lastnings- och lossningsplatserna för lastbilarna skadades på 80 meters avstånd från branden. Färgen på plåtbyggnadens fasad började flagna. En garageport i terminalbyggnaden 30 meter från branden som saknade brandteknisk klass klarade strålningsvärmens utan några större skador. Dock antändes tätningar runt portarna av strålningsvärmens

Ytskiktet på terminalbyggnadens tak var av papp, och detta började pyrolysera av strålningsvärmens. Genom att vattenbegjuta taket förhindrades antändning.

Ungefär 15 meter från lastpallslagret stod två järnvägsvagnar. Dessa fattade eld och brann upp.

I Hydro Agri:s kontorslokaler, ungefär 100 meter från branden, noterades en förhöjd inomhustemperatur.



Bild 4. Områden som uppvisade strålningsskador vid branden. 1 = Glasullisolering i dörrkarm smälter. 2= Vädertätningarna skadade. 3 = Området för pyrolys av takpapp. 4 = Placering av järnvägsvagnar. 5 = Hydro Agri:s kontor.

7.1.4 Gnistregen

Hydro Agri:s område drabbades av gnistregn från branden. På området fanns gödselmedel i form av ammoniumnitrat i plastsäckar, som var över-täckta med en presenning av plast. Gnistregnet gjorde hål i denna presenning, men varken säckarna eller dess innehåll påverkades av dessa gnistor. Avståndet från lastpallarna till ammoniumnitratet uppskattas till 150 meter.

7.1.5 Flamhöjder och flambredder

Tabell 5 redovisar en sammanställning av uppskattade förhållanden beträffande flamhöjder och flambredder under olika tider utifrån videoupptagningar och fotografier.

Tabell 5. Resultat från visuella observationer av flamhöjd och flambredd via kamera och video.

Tid	Flamhöjd [m]	Flambredd [m]	Kommentar
21.50	19	16	16 minuter efter larm
21.55	20	18	
22.00	22	26	
22.05	19	33	
22.10	15	40	
22.15	20	43	Tendens till delning av flamma
22.20	24	48	En stor flamma fortfarande
22.30	32 resp. 22	55	Två stora flammor kan skönjas
23.00	21	80-100	Brand längs hela lagret
23.15	16	80-100	Två lika stora flammor och området i mitten är avbränt
23.30	8	-	Flera mindre flammor
23.40	3	-	
00.10			En stor glödande hög

Flamhöjden är enligt fotografierna som högst 24 meter innan flammen delar upp sig i två mindre delar. Flammans höjd ökade inte i samma takt som flammans bredd. Efter det att flammen delat upp sig brinner lastpallarna med två tydliga flammor där den ena flammen stundtals hade en flamhöjd på 32 meter.

Vid midnatt, ungefär tre timmar efter larm, hade de flesta lastpallar brunnit upp. Kvar var då en stor glödande hög. Eftersläkningsarbetet och bevakningen av platsen pågick fram till kl. 12.00 efterföljande dag.

7.2 Beräkningar

Det finns inga verifierade beräkningsmodeller för att beräkna flamhöjd för bränder av denna storlek. Det finns dock metoder för att uppskatta flamhöjd vid stora bränder. Enligt tidigare resonemang (**kapitel 5**) kan flamhöjden antas vara lika stor som flammans diameter för bränder av större omfattning. Uppmätt flambredd och beräknad flamhöjd redovisas i tabell 6.

Tabell 6. Uppskattning av flamhöjder vid olika tidpunkter

Tid	Uppmätt flambredd [m]	Beräknad flamhöjd [m]
21.50	16	16
21.55	18	18
22.00	26	26
22.05	33	33
22.10	40	40
22.15	43	43
22.20	48	48
22.30	55	55
23.00	80-100	80-100

Den bredd på flammen som redovisas i tabell 6 har mätts på fotografier som är tagna mot lastpallslagrets långsida. Om fotografierna hade tagits mot lastpallslagrets kortsida hade flammans bredd varit mindre, eftersom flammans maximala bredd begränsas av lagringsenhetens minsta bredd. Flammans maximala *diameter* begränsas av lagringsenhetens kortaste sida. Eftersom lagringsenhetens kortaste sida är 25 meter bör flamhöjden aldrig överstiga 25 meter.

Flammans emissivitet (ϵ) sätts till 0,9 och temperaturen sätts till 900 °C. Detta innebär att den från branden utfallande strålningen blir 96 kW/m² enligt ekvation [1]. För att kunna genomföra beräkningar av infallande strålning mot objektet har flammans geometri anpassats till en rektangel. I denna rektangel utgör flamhöjden en sida. Flammans bredd har approximerats till i genomsnitt 75 % av den uppmätta flambredden. Denna anpassning är gjord för att kunna erhålla en rektangel med motsvarande yta och utseende som flammen.

Strålningen beräknas i följande riktningar:

- Vertikalt ut från flammans mitt
- Nedåt på marken vid lastpallarna
- Nedåt på lastpallslagrets yta

7.2.1 Strålning ut från flammans mitt

Den maximala strålningen från en flamma faller alltid på en tänkt linje horisontellt ut från flammans mitt. Flammans geometri approximeras till en rektangel med flamhöjd och en anpassad flambredd på flammen som sidor. Flammen antas vara placerad i lastpallslagrets kant närmast terminalbyggnaden. Strålningen räknas mot en punkt vertikalt ut från flammans mitt på olika avstånd (**tabell 7**).

Tabell 7. Beräkning av infallande strålning vertikalt från flammans mitt.

Tid	Anpassad flamgeometri (höjd * bredd) [m]	Strålning 10, 15, 20 och 30 meter från branden [kW/m ²]
21.50	19 * 10	34, 17, 13, 5
21.55	20 * 15	45, 28, 17, 9
22.00	22 * 15	46, 29, 19, 10
22.05	19 * 19	52, 29, 24, 10
22.10	15 * 17	43, 27, 19, 9
22.15	20 * 29	62, 45, 29, 15
22.20	24 * 48	70, 55, 41, 25
22.30 ¹	32 * 45	89, 61, 45, 30
22.30 ¹	22 * 45	67, 51, 38, 22
23.00	25 * 80	79, 67, 47, 32, (29, 20, 15) ²

¹ Vid 22.30 uppträder två flammor, och strålning beräknas för var och en av flammorna

² Strålningen beräknas även på 40 50 och 60 meters avstånd.

7.2.2 Strålning som faller mot marken

Strålning från flammen till olika platser på marken beräknas (**tabell 8**). Detta är av intresse för att bland annat kunna avgöra hur nära material kan förvaras och hur nära branden insats kan ske. Samma förutsättningar som för tidigare beräkningar gäller även här.

Tabell 8. Beräkning av infallande strålning från flamman mot marken.

Tid	Anpassad flamgeometri (höjd * bredd) [m]	Strålning 10, 15, 20 och 30 meter från branden [kW/m ²]
21.50	19 * 10	11, 7, 5, 2
21.55	20 * 15	14, 11, 7, 3
22.00	22 * 15	15, 14, 10, 4
22.05	19 * 19	17, 12, 10, 4
22.10	15 * 17	14, 11, 7, 4
22.15	20 * 29	20, 18, 13, 6
22.20	24 * 48	25, 22, 20, 12
22.30 ¹	32 * 45	27, 25, 20, 14
22.30 ¹	22 * 45	48, 40, 32, 11
23.00	25 * 80	32, 28, 21, 14

¹ Vid 22.30 uppträder två flammor, och strålning beräknas för var och en av flammorna.

7.2.3 Strålning mot lastpallslagrets yta

För att kunna bedöma risken för brandspridning över lastpallslagrets yta beräknas den strålning som faller mot intilliggande lastpallar (**tabell 9**).

Tabell 9. Beräkning av infallande strålning från mot lastpallslagrets yta.

Tid	Anpassad flamgeometri (höjd * bredd) [m]	Strålning 5, 10,15 och 20 meter från branden [kW/m ²]
21.50	19 * 10	41, 28, 16, 10
21.55	20 * 15	42, 31, 21, 14
22.00	22 * 15	43, 32, 22, 15
22.05	19 * 19	43, 32, 22, 16
22.10	15 * 17	39, 27, 18, 13
22.15	20 * 29	43, 34, 22, 19
22.20	24 * 48	45, 36, 29, 24
22.30 ¹	32 * 45	- , 41, 33, 29
23.00	22 * 45	- ,34, 27, 22

¹ Vid 22.30 uppträder två flammor men strålningen beräknas för en av flammorna.

Det är den infallande strålningens storlek på de närliggande pallarna som avgör hur snabbt brandspridningen kommer ske över pallagret.

7.3 Jämförelse av beräkning och verklighet

Jämförelse görs mellan med de visuella observationerna och de beräknade förhållanden beträffande flammans geometri (bredd och höjd) och strålning.

7.3.1 Flammans geometri

Flamhöjd vid bränder av aktuell omfattning kan antas motsvara flammans diameter. Flammans maximala ”diameter” begränsas av den kortaste sidan av lagringsenheten. Den minsta bredden i lagret är 25 meter, vilket alltså bör vara den maximala flamhöjd som kan uppkomma. För den del av brandförloppet som studeras i denna rapport stämmer denna approximation någorlunda. I tabell 10 jämförs verkliga och beräknade värden på flamhöjd och flambredd. Notera att fotografierna är tagna mot lastpallslagrets långsida, varför den presenterade flambredden blir högre än om fotografiet hade tagits mot lastpallslagrets kortsida.

Tabell 10. Jämförelse mellan verklig och beräknad flamhöjd.

Tid	Flammans geometri enligt fotografier (höjd * bredd)	Flammans geometri enligt beräkningar (höjd * bredd)
21.50	19 * 16	16 * 16
21.55	20 * 18	18 * 18
22.00	22 * 26	26 * 25
22.05	19 * 33	25 * 25
22.10	15 * 40	25 * 25
22.15	20 * 43	25 * 25
22.20	24 * 48	25 * 25
22.30	32 * 55	25 * 25
23.00	21 * 80	25 * 25

7.3.2 Strålning från branden

Den strålning som har fallit mot vissa objekt och människor under branden noterades. Dessa sammanfattas i nedanstående tabell (**tabell 11**), där även beräkningar av strålning på samma avstånd återfinns.

Tabell 11. Jämförelse mellan beräknad och bedömd strålningsnivå.

Avstånd	Tid	Strålningseffekter	Beräknad strålning [kW/m ²]	Bedömd strålning [kW/m ²]
20 meter	22.30	Pallarna som låg mellan lagret och terminalbyggnaden antändes.	29	30
40 meter	00.00	Det var det möjligt att passera hörnet på terminalbyggnaden.	7	5
75 meter	23.00	Man kunde vistas under en längre tid på denna plats.	12	4
200 meter	23.00	Avstånd för ledningsplats.	2,5	1

8 Rekommenderade lagringsförhållanden av lastpallar utomhus

Branden förhindrades i detta fall att sprida sig till annat brännbart material eller byggnader. Däremot brann alla lastpallar upp utan att det fanns någon möjlighet att släcka branden. Annorlunda vindstyrka och vindriktning hade skapat andra förutsättningar beträffande såväl gnistregnets utbredning och strålningsskadorna. Det är tveksamt om branden hade kunnat begränsas till lastpallslagret under dessa förutsättningar.

För att kunna utarbeta rekommendationer för hur lagring av lastpallar skall ske måste vissa skyddsmål fastställas. De rekommendationer som ges i denna rapport syftar till att uppfylla följande två skyddsmål:

- Lagringen av lastpallar skall vara sådan att en brand i hela lastpallslagret inte sprider sig till närliggande byggnader eller material oberoende av insats från räddningstjänsten
- Lagringen av lastpallar skall vara sådan att en inträffade brand skall vara möjlig att släcka.

8.1 Mål: Begränsning av brand

För att nå detta mål får strålningen från en brand inte vara så stor att närliggande byggnader eller annat brännbart material antänds. Den infallande strålningen mot ett objekt påverkas förutom av flammans temperatur även av flammans storlek och dess placering i förhållande till det hotade objektet. Flamhöjden antas motsvara diametern på flammen. Flammans diameter antas motsvara den kortaste sidan av lagringenheten. Antändning av trä kan ske utan pilotlåga vid 30 kW/m^2 och med pilotlåga vid 15 kW/m^2 .

De rekommendationerna som ges i denna rapport begränsar den maximala strålningen mot angränsande byggnader eller material till 15 kW/m^2 . Denna strålningsnivå ger en marginal som är på den säkra sidan.

I diagram 1 nedan ges några exempel på lagringsgeometrier och beräknade strålningsnivåer. Beräkningarna förutsätter en staplingshöjd motsvarande Danzas (5,7 meters staplingshöjd).

Strålning horisontellt från flamma

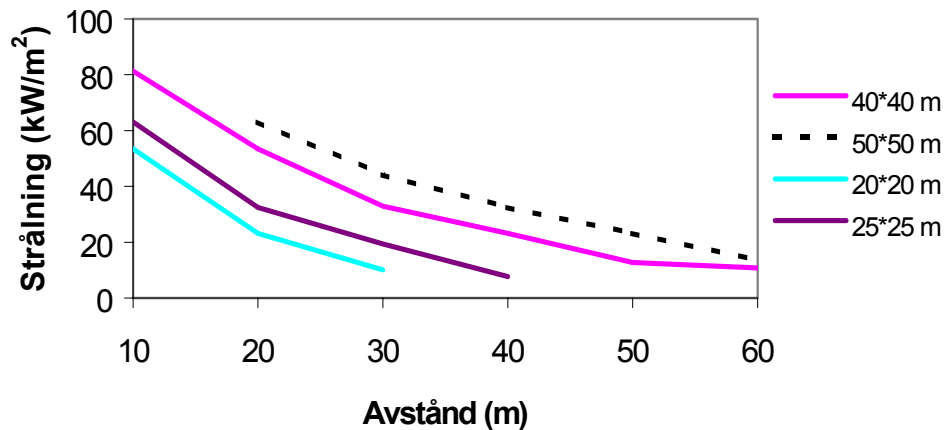


Diagram 1. Strålning horisontellt från flammans mitt mot närliggande objekt. Staplingshöjden är 5,7 meter.

I tabell 12 redovisas olika avstånd från branden där strålningen uppgår till 15 kW/m² beroende på lagringssätt.

Tabell 12. Avstånd där strålningen från flammorna uppgår till 15 kW/m².

Lagringssätt	20*20 meter	25*25 meter	40*40 meter	50*50 meter
Avstånd	28 meter	35 meter	48 meter	58 meter

8.2 Mål: Släckning av brand

Kritisk nivå för brandbekämpning under en längre tid för en brandman klädd i skyddskläder sätts till 3 kW/m². Dessutom får inte brandeffekten vara för stor då släckningen påbörjas. För de förhållanden som var aktuella i detta fall får brandeffektutvecklingen inte överstiga 30 MW om släckinsats skall vara meningsfull.

I diagram 2 nedan redovisas strålning från branden mot marken på olika avstånd.

Strålning mot marken

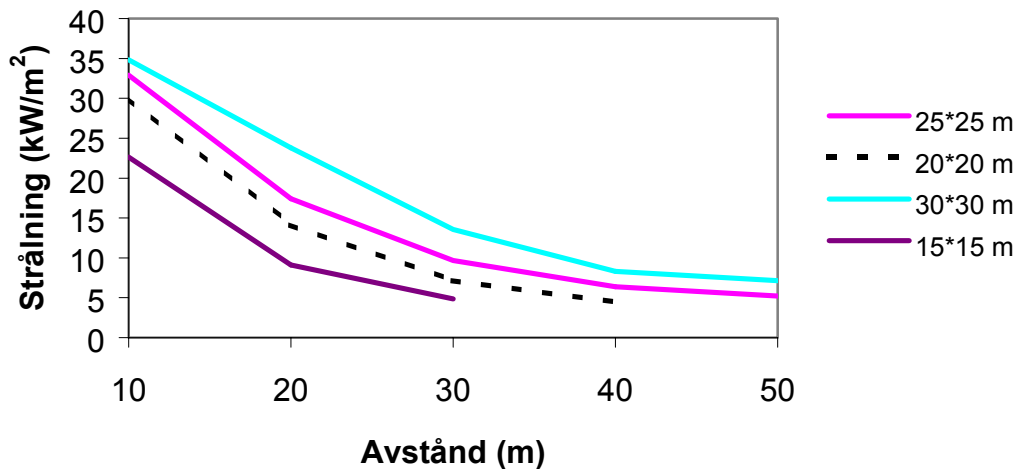


Diagram 2. Strålningsnivå mot marken på olika avstånd vid olika lagringssätt. Staplingshöjden är 5,7 meter.

I tabell 13 redovisas olika avstånd från branden där strålningen uppgår till 3 kW/m² beroende på lagringssätt.

Tabell 13. Avstånd då strålningen uppgår till 3 kW/m²

Lagringssätt	15*15 meter	20*20 meter	25*25 meter	30*30 meter
Avstånd	35 meter	45 meter	55 meter	65 meter

8.3 Andra skyddsåtgärder

Förutom att utföra lagringen av pallar så att brandbegränsning eller brandsläckning är möjlig kan andra skyddsåtgärder vidtagas. Bland dem kan nämnas följande:

- All lagring bör ske inom ett inhägnat och övervakat område för att minska risken för anlagd brand.
- Staplingshöjden bör vara så låg som möjligt. Staplingshöjden ökar såväl den maximalt utvecklade effekten som tillväxthastigheten.
- Lagring bör ske i flera och mindre enheter hellre än i stora och färre enheter.
- Väggpartier i byggnader som vetter mot lastpallslager bör utföras i erfröderlig brandteknisk klass om strålningsnivån antas överstiga 15 kW/m².
- Vid placering och utformning av lastpallslager skall hänsyn tas till räddningspersonalens förmåga att komma åt att skydda hotade byggnader.

9 Diskussion och slutsatser

Några slutsatser till följd av den inträffade branden och denna rapport kan dras:

- Brandspridningen sker fort i lastpallslager. I detta fall skedde brandspridningen i sidled med en hastighet om en halv meter per sekund. Möjligheterna att begränsa eller släcka en brand i lastpallar med motsvarande lagringsförhållanden är ofta mycket begränsad.
- De rekommendationer som ges i rapporten beträffande hur lagring av lastpallar bör ske innebär att stora markområden måste avsättas för upprätthållande av skyddsavstånd. Ett sätt att möjliggöra stapling i andra höjder och i annan formation är att utveckla lastpallar i annat material som är obrännbara eller som inte brinner under samma effektutveckling.
- Installation av fasta släcksystem kan vara en möjlig åtgärd där förvaringen av lastpallar är statisk. Exempel på sådana kan vara markkanoner för påföring av vatten.
- Passiva skyddssystem kan anordnas i form av skyddsavstånd, strålningskärmar eller utförande av väggar i brandteknisk klass.

9.1 Felkällor

Mätningen av flamhöjden via fotografier är ingen exakt metod. Dessutom oscillerar flamman, vilket resulterar i att flamhöjden varierar med tiden. Det är därför svårt att avgöra om det är den genomsnittliga flamhöjden som har fastnat på fotografierna eller inte.

Beräkningarna har inte tagit hänsyn till vindens inverkan på brandförloppet utan förutsätter vindstilla förhållanden.

För att kunna göra beräkningarna har bedömningar och approximationer av verkliga förhållanden varit nödvändiga, vilket också inverkar på resultatens giltighet.

9.2 Beräkningar

Det är svårt att verifiera de visuella observationerna med beräkningar. Detta beror i huvudsak på att det saknas verifierade beräkningsmodeller för bränder med sådan kraftig effektutveckling som var fallet vid branden i Danzas.

10 Referenser

Brandskyddslaget och LTH-Brandteknik (1994). Brandskydd Boverkets Byggregler – teori och praktik. Stockholm: Nyman & Jonsson AB

Boverkets Byggregler, BFS 1993:58. Boverket

Drysdale, Douglas (1992). An Introduction to Fire Dynamics. John Wiley & Sons Ltd

Holmstedt, Göran (1982). SkandiaTips nr 2:87. Skandia.

Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk mm, SFS 1994:847.

Lag om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor, SFS 1999:381

Lars-Göran Bengtsson (2001). Inomhusbrand. Räddningsverket: Karlstad

Mailkorrespondens, Gunilla Blomé, Miljö- och hälsoskyddskontoret i Norrköpings Kommun.

Malmö Brandkår (2001). PM Brandsäkerhet vid Upplag

Miljöbalk, SFS 1998:808.

Nybyggnadsregler, BFS 1998:18. Boverket

Plan- och bygglag, SFS 1987:10.

Sveriges Provnings- och forskningsinstitut; Basutrustning för skumsläckning (SP Rapport nr 1990:36.)

Särdqvist, Stefan (1999) Manuell brandsläckning med vatten, (Report nr 3106, Lunds Tekniska Högskola), Lund

Särdqvist, Stefan (2000) Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting (Doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola)

The Society for Fire Protection Engineer and the National Fire Protection Association (1992). The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. USA.

Telefonsamtal Arne Kopp, SVEBAB, 2002-12-11.

U, Lago. L, Strandh. L-G Bengtsson, Räddningsbeklädnad 90 – utvecklandet och resultatet. Rapport i kursen Arbetsmiljöteknik för Brandingenjörer, Lunds Tekniska Högskola (1993)

Bilaga A

Nomenklaturlista

E = strålningseffekt [kW/m^2]

ε = emissivitet [-]

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

T = Temperatur [K]

\dot{q} = effektutveckling [kW]

\dot{m}'' = massflöde [$\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$]

ΔH_c = förbränningsvärme [kJ/g]

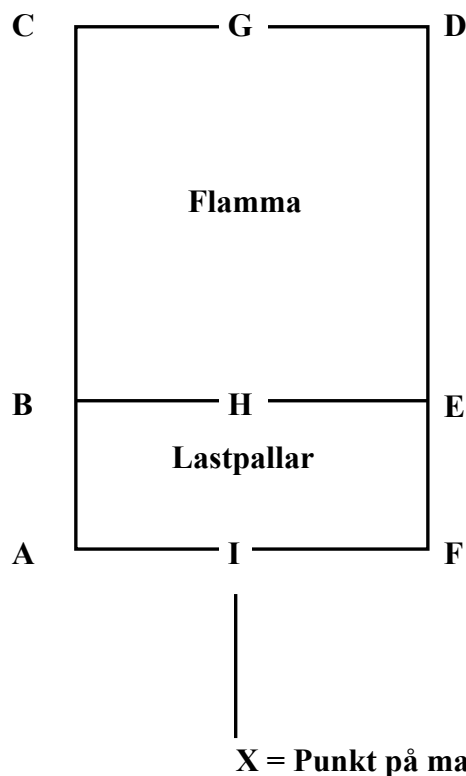
A_f = brinnande area [m^2]

ϕ = synfaktor [-]

Bilaga B

Beräkningsprinciper för infallande strålning

Den strålning som träffar ett objekt från en brand reduceras alltid. Omfattningen på reduktionen beror på objektets placering i förhållande till branden. Hur mycket strålningen reduceras kan beräknas som en synfaktor för det aktuella fallet. Synfaktorn för strålning från flammorna mot marken har beräknats så som framgår av ekvation [A1]. Flamman har approximerats till en rektangel som är placerad på lastpallslagret.



Rektangeln ABEF motsvarar ytan av lastpallarna (höjd och bredd). Rektangeln ACDF motsvarar ytan av flammen och lastpallarna. För att få fram den strålning som träffar en punkt på marken måste synfaktorn från flammen till punkten på marken beräknas. Detta sker genom att beräkna synfaktorn för rektangeln ACDF och subtrahera med synfaktorn för rektangeln ABEF. Matematiskt uttrycks detta som

$$\phi_{12} = \phi_{ACDF} - \phi_{ABEF} \quad [A1]$$

Synfaktorn ACDF beräknas som

$$\phi_{ACDF} = \phi_{ACGI} + \phi_{IGDF} \quad [A2]$$

Synfaktorn ACGI respektive IGDF beräknas med hjälp av flamhöjd och pallarnas lagringshöjd:

$$\bullet \quad \frac{H}{D} = \frac{(\text{Flamhöjd} + \text{lagringshöjd})}{\text{Avstånd}} \quad [A3]$$

$$\bullet \quad \frac{L}{D} = \frac{\text{Flambredd} / 2}{\text{Avstånd}} \quad [A4]$$

Värdena från ekvationerna [A3] och [A4] används som ingångsvärden i en tabell (Drysdale, 1992). Ur denna tabell kan värdet på synfaktorn avläsas. Denna multipliceras med faktor två för att få den totala synfaktorn för rektangeln ACDF. Motsvarande beräkningar genomförs för rektangeln ABEF.

Synfaktorn för strålningen mellan flamman och en punkt på marken kan nu beräknas med ekvation [A1]. Synfaktorn multipliceras med den från branden utfallande strålningen genom att använda ekvation [1].

Bilaga C

Fotografier från branden



Klockan 22.05



Klockan 22.10



Klockan 22.15



Klockan 22.20



Klockan 22.22



Klockan 22.30



Klockan 22.45



Klockan 23.00



Klockan 23.30

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-13 50 00, fax 054-13 56 00. Webbplats <http://www.srv.se>

Beställningsnummer P22-433/03. Fax 054-13 56 05
ISBN 91-7253-204-1