



Rapport Silobrand Härnösand 8 – 13 september 2004



”En beskrivning av olycksförloppet, olycksorsaken och våra erfarenheter från insatsen.”

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning.	3
2. Bakgrund	4
3. Beskrivning av siloanläggningen	5
4. Beskrivning av pellets som bränsle och produktion	6
5. Förloppet i stora drag	7
Dag 1 – tisdag 7 september	7
Dag 2- onsdag 8 september	7
Dag 3 – torsdag 9 september	9
Dag 4 – fredag 10 september	12
Dag 5 - lördag 11 september	13
Dag 6 – söndag 12 september	14
Dag 7 - måndag 13 september	15
6. Räddningstjänsttaktiken och dess påverkansfaktorer	16
Skadans art	16
Yttre påverkansfaktorer	17
Räddningstjänstens strategiska beslut	17
Val av taktik och metoder	17
Räddningstjänstorganisation	20
7. Information, internt och externt	21
8. Olycksorsak	22
9. Slutsatser, erfarenheter och rekommendationer	25
Erfarenheter från insatsen	25
Rekommendationer för siloanläggningar	27
10. Referenser	28
Bilagor	29

1. Sammanfattning

Under 6 dagar i september 2004 drabbades Härnösand av silobränder med kraftig rökutveckling. Siloanläggningen var belägen i hamnområdet nära stadskärnan. Av en siloanläggning med 5st silos brann 3st fullt utvecklat och en påvisade sönderdelning av pelleten.

Som metod för att åtgärda silobränderna valdes att tömma silorna och utföra släckningen på utsidan. Den första silon tog 3 dagar att släcka. Därefter fylldes de återstående silorna med koldioxid för att motverka en sönderdelning. Fyllningen fick dock motsatt verkan. Följande dag påvisade 2 st silos tecken av brandpåverkan och att en silo var under de första stadierna av sönderdelning. Samtliga silos tömdes och släcktes på samma sätt som den första.

Det är svårt att ge ett entydigt svar på olycksorsaken. Vad vi kan konstatera är att det har skett en autooxidation i silon. Vad som har varit den utlösande orsaken till autooxidationen kan vi inte fastställa.

Våra rekommendationer för att förebygga eller underlätta det skadeavhjälpande arbetet är:

- Tryckavlastningar på lämpligt ställe
- Detektorer i silon för att upptäckta förändringar i ett tidigt skede
- Silon bör vara förberedd för att snabbt tömma innehållet d.v.s nödtömning.
- I silo med brännbart innehåll bör fasta släckanläggningar installeras. Används ett gasformigt släckmedel skall påförningen ske på mjukast möjliga sätt med förångare tillgänglig. Dysorna bör placeras på olika nivåer för att täcka större delen av volymen med minsta möjliga turbulens.

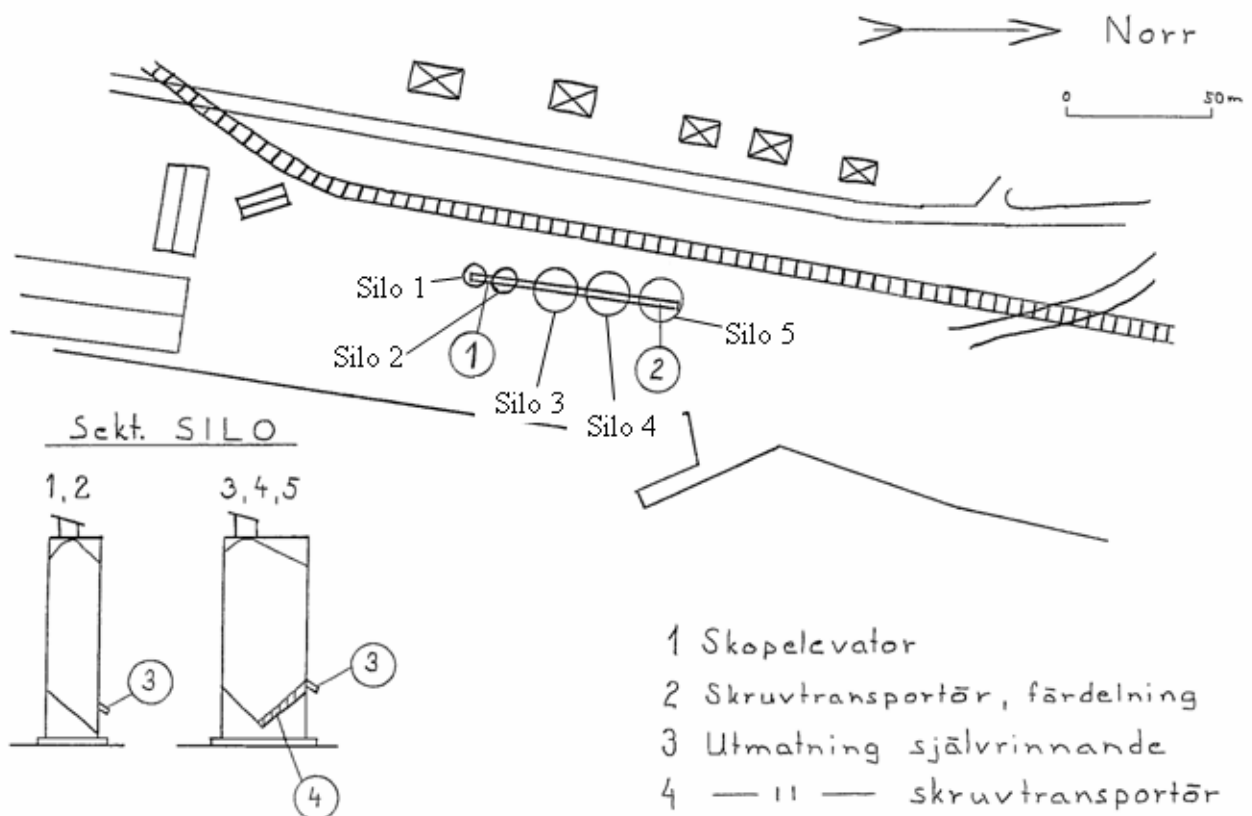
2. Bakgrund

Siloanläggningen byggdes ursprungligen för att lagra grafitpulver (kolpulver) som användes vid tillverkningen av elektroder. Elektroderna var en produkt som skulle vara tryggt under ofred för att säkerställa stålproduktionen i Sverige. Byggnationen finansierades av dåvarande ÖCB, Överstyrelsen för Civil Beredskap.

När tillverkningen av elektroder lades ner så fanns inte direkt någon ny användare av siloanläggningen. Genom åren har det funnits planer för alternativt nyttjande vid flera tillfällen men samtliga förslag har fallit av en eller annan anledning.

Första förfrågan som BioNorr gjorde för att använda anläggningen för pelletsförvaring var redan 1996. Frågan kom för att täcka ett extra lagringsbehov vid överproduktion. I Söderhamn förvarades pellets i en likvärdig siloanläggning med goda erfarenheter. Någon lagring kom dock inte till stånd vid det tillfället i Härnösand.

Under sommaren 2004 blev frågan för BioNorr åter aktuell eftersom företaget hade ett tillfälligt lagringsbehov till dess att den nya "pelletslada" som var under uppbyggnad var färdigställd. Efter ett positivt besked från ägarna, Härnösands Hamn, påbörjades fyllningen av silorna den 4/8. Fyllningsordning och tiden för detta presenteras nedan med numrering av silo från söder.



Fyllningen av silorna överlappade varandra i tiden. Värt att notera är att de som var sist fyllda var de som kom att bli mest aktiva och brandpåverkade.

Silo nr.	Fyllningsstart/datum	Fyllningstid
3	4 augusti	15 dagar
2	8 augusti	25 dagar
1	9 augusti	10 dagar
4	16 augusti	7 dagar
5	23 augusti	7 dagar

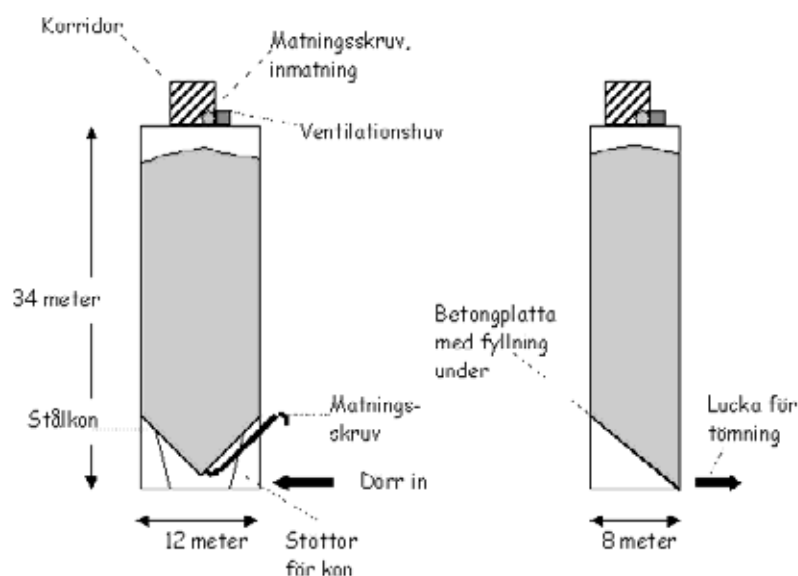
Tiden från att pelleten lämnat pelletspressen till dess att den lagrats i silon var ca 1 månad för silo 1-3 och ca 3 dagar för silo 4 och 5. Det har enligt uppgifter från BioNorr förekommit att man fyllt de förstnämnda blandat.

3. Beskrivning av siloanläggningen

Samliga silon var 34 m höga. Invändig diameter för silo tre, fyra och fem var 11.5 meter och för silo ett och två var diametern 8 meter. Den effektiva lagringsvolymen för de större silorna var 2700 m³ och för de mindre 1350 m³. Grundmaterialet i anläggningen var betong med en tät armering av järn. Armeringsjärnens dimension var ungefär 1 tum. Även taken på varje silo var av armerad betong.

Innehållet var vid olyckstillfället ca 1800 ton pellets i de större silorna och ca 900 ton i de mindre.

Konstruktionen av silorna skiljde sig mellan de mindre och de större. På botten mot fundamentet hade de mindre en betongplatta, vinklad 45 grader, som skulle säkerställa en själv rinnande tömning. Under plattan fanns fast sten och grusfyllning för att bära tyngden av siloinnehållet. De större hade i grundutförande en metallkon i botten som hölls upp av stag. Konen var ca 6 meter hög. Tömning genomfördes med en matningskruv kopplat till botten av konen. På silo 3 hade tömningsanordningen ändrats något för att vara mer lämplig för pellets. Där fanns det ett rör monterat strax ovanför konen vilket innebar att pelleten själv kunde rinna ur silon.



Silorna fylldes genom att en skopelevator lyfte pelleten från marknivå till toppen där den föll ner i en skruvtransportör. Skopelevatorn fanns mellan silo 1 och 2. Skruvtransportören i sin tur matade pelleten horisontellt. För att fylla en silo öppnades en lucka i transportören och pelleten föll ner i silon. Transportören fanns i en korridor som länkade samman silorna. Korridoren var konstruerad av stål och täckt av korrugerad plåt.



I varje silo fanns även en ventilationsanordning. Den bestod av en betongkub med hål nedåt in i silon och ett utåt som var skyddat mot väder och vind. I kuben fanns ett filter av ett tygmateriäl. Kuben var placerad direkt i anknjting till korridoren där transportören fanns.

Marken kring siloanläggningen bestod av hårdgjord mark av antingen betong eller asfalt. Området var inhägnat och fritt från annan verksamhet.

Det fanns enbart tre vägar in i området, två från söder och en i norr. Samtliga var försedda med grindar eller bommar.

4. Beskrivning av pellets som bränsle och produktion

Råvaran vid pelletstillverkning består av rent sågspån från tall och gran utan kemiska tillsatser eller kemikalier. Sågspånet mals ner, torkas och pressas till pellets med en diameter av 6mm. Efter torkningen är fukthalten ca 6 % och därmed så ökar energivärdet 2 – 3 gånger. Ett ton pellets har energivärdet 4,95 MWh/ton vilket motsvarar ungefär 0,49 m³ eldningsolja. Densiteten hos färdig pellets är 630 kg per m³. En mer detaljerad beskrivning av processen vid produktion återfinns i bilaga 4.

5. Förloppet i stora drag

Dag 1 – tisdag 7 september

Första indikationerna på sönderdelning/värmeutveckling inkom under tisdagen den 7/9. Kl 17.17 rapporterades att det luktade skarpt från siloparken. Jourhavande insatsledare i Härnösand begav sig till Djuphamnen och undersökte objektet i samråd med personal från anläggningen. Detta upprepades kl 21.40 då ytterliggare en undersökning genomfördes. Lukten från siloanläggningen hade under kvällen spridit sig till de centrala delarna av Härnösand och allmänheten uppfattade lukten som "stinkande". Inga åtgärder från räddningstjänsten vidtogs vid det tillfället då det inte fanns några tecken på förhöjda temperaturer eller rökutveckling. Enligt personal från anläggningen kom lukten från pelletens "normala" avgasning av aldehyder.

Dag 2- onsdag 8 september

Tidigt på morgonen fick räddningstjänsten ånyo larm från siloanläggningen. Denna gång hade läget förändrats radikalt. Från att ha varit gasutveckling med lukt från botten av silo 4 var det nu kraftig rökutveckling från silotoppen.

Kl 07.05 kontaktade insatsledaren (IL) i Härnösand Befäl i Beredskap (BiB) för att rapportera om läget och begärde samtidigt att BiB skulle bege sig till platsen. Som första åtgärd kontaktades Sundsvall – Timrå Räddningstjänst för att ge en förberedande begäran om assistans av SMC-enheterna (storskalig släckutrustning, se bilaga 1). Därefter gavs order till Kramfors och Sollefteå om att bistå med tankbil och personal.

Vid kl 07.30 lämnade tankbil 403 Kramfors, vice Räddningschef åkte till Djuphamnen, BiB lämnade Sollefteå och åkte mot stationen i Härnösand och samtidigt kallade IL i Härnösand representanter för BioNorr, hamnen, försäkringsbolag och Härnösands kommun till ett möte i räddningstjänstens lokaler.

Nere i hamnen gjordes försök att tömma den aktuella silon via matningsskruven. Detta gick bra men pelleten som kom ut var mycket varm och antändes nästan omedelbart. Det kunde därmed konstateras att det fanns glöd i nedre delarna av silon.

Kl 07.45 begärde BIB officiellt hjälp av SMC Sundsvall via IL på Sundsvall - Timrå räddningstjänst. Samtidigt anlände v Räddningschef till Djuphamnen för att informera sig om läget på plats.

Efter kl 09.00 samlades ledningspersonalen i räddningstjänstens lokaler för överläggningar om behovet av en räddningsstab, informationsinsatser samt aktuellt personalläge. Samtidigt fick räddningsstyrkan med IL till uppgift att finnas nere i hamnområdet för att spärra av och bevaka området. Inga släckinsatser skulle göras innan alla möjligheter och risker hade utretts.

Vid 9-tiden var representanter från räddningstjänsten, BioNorr, kommunen, hamnen och försäkringsbolag samlade i räddningstjänstens möteslokal. Under mötet gavs en orientering om läget och en beskrivning av silokonstruktionerna. Beslut fattades om att arbetet skulle inriktas på att söka erfarenhet om silobränder samt att informera

allmänheten. Vidare togs en första stabsarbetsplan fram med befattningar, arbetsuppgifter och viktiga tidpunkter som t.ex. pressinformation.

Redan under förmiddagen ökade informationsbehovet till allmänheten i takt med att röken ökade i omfattning. Frågor och klagomål började strömma in till kommunens växel.

På skadeplatsen fortsatte arbetet med att organisera en kommande insats. SMC-enheterna från Sundsvall och styrkor från Härnösand samt Kramfors arbetade med att förbereda vattengivning från SMC, spärra av området samt förbereda lätt- och mellanskum i toppen för att motverka eventuella dammexplosioner. Åtgärderna fortsatte under hela eftermiddagen.

I staben diskuterades möjligheterna att släcka silobranden. En viktig faktor var den tilltagande röken mot de centrala delarna av Härnösand. Målet blev att släcka branden så fort som möjligt med största möjliga säkerhet. Processen att släcka branden inne i silo tar lång tid, kräver en relativt tät konstruktion och ger rökutveckling under hela förloppet.

Valet av metod var dock inte självklart. Efter samtal med flertalet räddningstjänstbefäl och experter med erfarenhet av silobränder beslöts att tömma och utföra släckningen av innehållet på utsidan. För att undvika tändningar av gasfickor som "utlöstes" till det fria när en håltagning av silon genomfördes, skulle silon fyllas med koldioxidgas. Detta för att skapa en inert (icke brännbar) miljö inne i silon vid håltagningsmomentet. Att koldioxiden dessutom kylde pelletsmassan var en positiv bieffekt. Ett problem fanns dock med påförningen av gasen. Det fanns ingen förångare tillgänglig inom regionen. Förångare krävs för att koka vätskan och på så sätt undvika frysningar i slangar och pelletsmassan. Det skulle vålla problem i fortsättningen. Vidare skulle ett lättskumlager påföras från toppen för att täcka pelletslagret och motverka dammexplosioner när pelleten sattes i rörelse vid håltagningen. Att begjuta pelleten med vatten från toppen var inte att rekommendera för den fortsatta insatsen. När pellets väts expanderar den och kan bilda en hård skorpa och fastna inne i silon. Det skulle skapa stora problem när silon skulle tömmas fullständigt.

Efter samtal med AGA Gas AB beräknades CO₂-bilen anlända till Härnösand vid tio-tiden samma kväll. På eftermiddagen togs större delen av styrkan i hamnområdet från olycksplatsen för att vila upp sig inför natten. Endast personal från Sundsvall med SMC-enheterna fanns på plats samt befäl från Härnösand. Resterande eftermiddag och kväll ägnades åt att finslipa planen för insatsen, skapa materieldepåer, personallistor och avlösningar samt tillverka lansar och rörkopplingar för CO₂-fyllningen.

Påkörningsrisken med många tunga fordon och mycket folk på plats bedömdes som en av de största riskerna på olycksplatsen. Särskild vikt ägnades därför åt traktorernas och lastbilarnas körvägar, reträttvägar och deras körschema. Säkerhetsarrangemanget organiserades utifrån påkörningsrisker i mörkret, explosionsrisker och risk för nedfallande material från silon. Vidare skulle lämpliga ytor för upplag av pellets tas fram som inte låg nära tätbebyggt område eller på annat sätt kunde skapa problem för egendom, hälsa eller

miljö. Om pelleten blöts sväller massan och både volym och vikt ökar varvid transportbehovet ökar.

Kl 21.00 samlades staben och befälen i insatsstyrkan för att göra en sista genomgång av organisation, troliga olycksförlopp, planen för insatsen samt för en grundlig genomgång av riskerna.

En timme senare samlades all personal som skulle medverka i insatsen under natten. All räddningstjänstpersonal, polis, ambulans, personal från hamnen, personal från BioNorr, traktor- och lastbilschaufförer, miljökontoret och chauffören från AGA fick en samlad redogörelse för insatsplaneringen där vikten lades på säkerhetsorganisationen, målet med insatsen, sina respektive arbetsuppgifter samt hur de skulle agera vid olika förlopp. Allt för att skapa en organisation som hade möjlighet att fatta beslut i "chefens anda" om det behovet skulle uppstå.

Direkt efter genomgången begav sig insatspersonalen till olycksplatsen för att förbereda sina uppgifter och invänta CO₂-fyllningen. Skumfyllningen på toppen påbörjades första gången ungefär vid midnatt. Därefter förklarades arbete på och vid silotoppen som förbjudet område att vistas inom p.g.a. ras-, tändnings- och explosionsriskerna.

Dag 3 – torsdag 9 september

Klockan 05.20 påbörjas fyllning av CO₂. Initialt injekterades koldioxiden i gasfas med maxtrycket 10 bar och därefter växlades det till vätskefas (15 – 30 bar). Efter en kort stund uppstod problem som innebar att lanser och närområdet i silon frös fast i en isklump på grund av den "adiabatiska" förångningen. (Med adiabatisk förångning menas att vätskan tar energi från sig själv till att koka och övergå till gas.) Lanser gick inte att få bort vilket innebar att det krävdes att en ny lans fick tillverkas samt att det måste borraras nya hål i silon för att kunna fortsätta påföringen av koldioxid. Strax efter klockan fem på morgonen var problemen lösta och silon hade fyllts med så pass mycket koldioxid att den kunde anses vara inerte. Arbetet avslutades med en sista skumfyllning på toppen och håltagningen i manteln kunde påbörjas. Som en konsekvens av nattens tekniska problem skedde detta betydligt senare än planerat.

Strax efter kl 6.00 var ett hål med en öppningsyta om ca 1 - 1.5 m² klart. Vid håltagningen fanns inga tendenser till antändningar eller tryckökningar. Den pellets som rann ut var varm men inte förkolnad eller glödande. Först senare vid kl 07.45 började den utflödande pelleten att antändas. Branden på utsidan kontrollerades enkelt med vattenbegjutning från SMC-enheterna. Det förekom inga öppna lågor inuti silon vid tillfället. I och med att kastlängden är lång och vattenflödet kraftigt minimerades behovet av räddningstjänstpersonal i silons närområde. Traktorer och lastbilar hade därmed fritt arbetsutrymme och kunde fokusera på deras uppgift och deras egen säkerhet.

Vid kl 08.00 började det trycka ut stora mängder mörk rök från hålet och även en viss pulsation kunde konstateras. Pelleten hade kolat och bildat klumpar som inte kunde falla igenom nätet av armeringsjärn i hålet.



Detta var ett återkommande problem under hela insatsen. För att minimera kommande risker var det viktigt att hela tiden ha pelleten rinnande. Om det uppstod stopp och det inte fanns förbindelse mellan hålet och silotoppen, ökade riskerna för att fickor av brännbara gaser ansamlades i silon. När dessa kollapsar kommer gaserna antingen antändas inne i silon eller komma ut från hålen i silon med ett visst tryck. Utgången av dessa scenarion beror bl.a. på var fickan finns, tillgången av syre och tändkällor. Som direkt åtgärd togs en "pet-lans" fram. Den fästes på en teleporter för att röra om i öppningen och på så sätt hålla flödet från hålet igång.



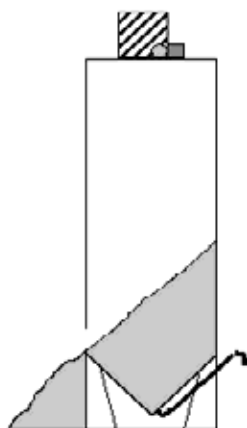
Under tiden ökade rökutvecklingen från toppen av silorna. Röken blev gradvis mörkare och mer turbulent, vilket är ett tecken på en kommande tändning. Kl 10.20 antänds gaserna vid silotoppen och hela transportkulverten påverkas. Samtidigt slår det ut kraftiga lågor från hålet nertill. Efter en halvtimme börjar det falla ner material från plåtkulverten. Det innebar ingen risk då riskområdena var väl tilltagna och förarna i arbetsfordonen var skyddade. Mellan silo 1 och 2 fanns en vertikaltransportör som kunde bli brandpåverkad om branden i silotoppen fortsatte under en längre tid. I samråd med hamnchefen beslöts att inga åtgärder skulle vidtas då riskerna var allt för stora, branden på toppen avtog och kunde begränsas med SMC-enheterna.

Under tiden hade ett meddelande till allmänheten förberetts av informationsbefälet och sänts ut via radio.

Kl 12.00 bedömdes ca 80 procent av pelleten vara kvar i silon. Beräkningarna grundade sig på hur många lass som transporterats iväg till upplaget. En full silo innebär ca 115 – 120 lass av torr pellets. Vi fick beräkna ett högre transportbehov eftersom pellets som blötts ner sväller och ökar i vikt och volym.

Bemanningen från räddningstjänsten minskades även vid detta tillfälle. En sektor med uppgift att skydda fordonsförarna från eventuella tändningar togs bort av två skäl. Först kunde man konstatera att SMC-enheterna kunde begränsa och skydda fordonen minst lika bra som en rörlig grupp med 2*300 liter vatten. Den andra orsaken var att säkerheten ökades med mindre personal i direkt anknäring till siloområdet.

Under eftermiddagen löpte arbetet med att tömma silon enligt planerna. Vid ett par tillfällen stannade flödet upp och fick hjälpas igång med "pet-lansen". Vidare genomfördes personalbyten och samtlig personal fick tillfälle till raster och mat. Kl 16.10 fick informationsbefälet tillfälle att informera om branden i regionalradion. En presskonferens hölls vid 17-tiden där TV, radio och tidningarna deltog. Där beskrevs hur vi organiserat olycksplatsen, vilken metod som valts och varför. En förväntad fråga som dök upp på konferensen var hur pass farlig röken var för de som befann sig i vindriktningen. Svaret vi gav var att *"det fanns ingen direkt hälsofara med tanke på vindriktningen och avståndet till bebyggelse och allmänhet men man bör stänga fönster och inte vistas i områden där röklukt finns om man känner obehag"*.



Under kvällen påbörjades planeringen inför situationen då pelleten ur hål nr 1 slutade att rinna. Det skulle fortfarande vara en stor del av pelletsmassan kvar i silon. När den rinner ut skapar den en stigningsvinkel på ungefär 45 grader. Vi antog att vinkeln inuti silon torde vara densamma, vilket innebar att det fanns mellan 650 – 700 m³ ovanför konen och i konen ungefär 225 m³ pellets.

För att minska innehållet ytterliggare skulle ett nytt hål tas på andra sidan av silon. Det nya hålet bedömdes inte påverka silons hållfasthet nämnvärt.

Vid kl 21.50 påbörjades håltagningen av det andra hålet och detta var klart strax efter 22-tiden på kvällen. För att kunna täcka och nå flödet ur det andra hålet omgrupperades en enhet från SMC till landsidan av silon. Pelleten som rann var inte brandpåverkad i början och flödet var stabilt ur båda hålen.

Dag 4 – fredag 10 september

Strax före kl 24.00 började det synas mindre "flygbränder" från toppen. Riskerna för brandspridning till angränsande området var mycket små eftersom vindriktningen var ut mot kajen och de glödande spånen självslocknade relativt snabbt. Riskerna för en horisontell spridning av branden till närliggande silo bedömdes också som mycket liten. Om branden skulle sprida sig till de andra silorna skulle brandgaser och glödande partiklar transporteras via matningsskruven och vidare ner genom en lucka. Om så skedde, skulle en brand kunna uppstå på ytan av pelletsmassan. Den skulle i så fall ha ett långsamt förlopp och vara relativt enkel att släcka.

Under natten avtog flödet från hålen och vid kl 05.30 så avstannade flödet helt och hållet. Det brann fortfarande kraftigt i det resterande innehållet. Genom överslagsräkning fann vi att ca 115 m³ fanns kvar som en "kon på konen".

SMC-enheterna omgrupperades ännu en gång för att släcka resterande innehåll och spola ut så mycket som möjligt av pelleten. Vid denna tidpunkt fanns stora mängder pellets på marken utanför silon. Den hade sugit upp släckvattnet som användes för att dämpa branden under natten vilket resulterade i en 30 – 50 cm djup "gröt". För att möjliggöra en omgruppering av SMC-enheterna var vi tvungna att invänta till dess att traktorer hade fått bort så pass mycket att det var möjligt att flytta slang samt monitor.

Kl 08.20 på fredagsmorgonen kunde vi anse att branden i silo 4 var släckt. Frågan kvarstod om övriga silokroppar var påverkade och i vilken omfattning. Personal från hamnen samt BioNorr tillkallades för överläggning om hur vi skulle fortsätta insatsen. En besiktning visade att det fortfarande fanns glödbränder i korridoren som sammanlänkade silorna men att det inte fanns några antydningar på att glödbränder fanns inne i de övriga silorna. Beslut togs att vi under dagen skulle fylla de resterande silorna med koldioxid för att vara på den säkra sidan. Vi hade fortfarande kvar koldioxid-bilen på plats med $\frac{3}{4}$ av tank och släp oanvänt. Därefter skulle vi från räddningstjänsten med 5 man genomföra en släckning av de glödhögar som fanns uppe i korridoren. Avslutningsvis skulle en tömning ske av de resterande silorna via den naturliga vägen d v s utmatningsskruven på botten av silon.

Under fredagsmorgonen påbörjades tillverkningen och monteringen av lansarna för CO₂-fyllningen. När samtliga silos var fyllda började det att mörkna och återstående arbete med att släcka småbränderna i korridoren flyttades till lördagsmorgonen av säkerhetsskäl. En förutsättning för att genomföra släckarbetet var att brandmännen skulle kunna ha fri sikt för att bedöma riskerna med lösa föremål, stabilitet och att ha en säker reträttväg.

Dag 5 - lördag 11 september

Direkt på lördagsmorgonen kunde en dramatisk förändring ses i tre av silorna. Från silo 5 kom en kraftig rökutveckling och från de övriga kunde man skönja en viss värmepåverkan. Kontakt togs direkt med Sundsvall-Timrå Räddningstjänst för att återigen rekvirera SMC-enheterna. Staben på stationen i Härnösand förstärktes från att ha varit lågt bemannad under natten. Ett snabbt möte på kajområdet mellan IL från Härnösand och "BiB" ägde rum. Beslutet fattades att vi skulle tömma de resterande silorna så fort som möjligt. Under tiden som SMC-enheterna mobiliserades beställdes återigen koldioxid, håltagningsresurser och lättskumsresurser. Mätningar under silo 5 visade att det fanns brännbara gaser men inte i den omfattningen att det skulle innebära en direkt explosionsfara.

En grupp, under ledning av skadeplatschefen, fick som uppgift att kontrollera om det gick att starta matningsskruven i botten av silo 5 för att påskynda tömningen. För att möjliggöra detta var de tvungna att starta elmotorn till hydraulmotorn utifrån och koppla slangarna från hydraulmotorn inifrån. Riskerna för antändning av gaserna bedömdes som låg men för att minimera riskerna genomfördes en ventileringsutrymning med en kompressor. En tankbil med vattenkanon placerades 35 meter från dörröppningen och 90 grader från skruvöppningen, för att kunna dämpa eventuella lågor från den utmatade pelleten. Personalen som skulle starta skruven fick noggranna instruktioner av genomförandet och övriga skulle vistas utanför beordrat riskområde. Personalen begav sig ut ur riskområdet och skruven startades. Efter någon minut började det komma kraftigt förbrända pellets ur skruven och dessa antändes i högen som bildats utanför. Skadeplatschefen avslutade då matningen omgående och beordrade personalen att bege sig utanför riskområdet.

Det var nu kraftig rökutveckling från matningsskruven och efter ytterliggare någon minut så märktes en tydlig tryckökning. Direkt därefter antändes gaserna som strömmade ut och bildade en tjutande jetflamma som gick genom träd och buskage och antände gräset i trädgården på andra sidan vägen (se bilaga 3). I och med att all personal hade dragit sig tillbaka utanför definierat riskområde så kom ingen till skada. Brandmannen, som bemannade vattenkanonen, stukade dock foten när han i all hast hoppade ner från tanken.

Under tiden som personalen på plats räknades in larmades stationen i Härnösand för att släcka markbränderna av jetflamman. Allt arbete närmare än 100 meter från silo 5 blåstes av i avvaktan på en säkerhetsbedömning av olycksplatsen. Eldkvastarna återkom under eftermiddagen med minskande styrka ungefär med en halvtimme mellanrum från skruven. Efter ett möte i staben beslutades att vi omedelbart skulle påbörja tömningen av silo 1 som var längst ifrån silo 5. Eftersom silo 1 var påverkad var det bara en tidsfråga när den skulle bli ett lika stort problem som silo 5. Under tiden skulle vi avgöra vilken metod som var säkrast och lämpligast för silo 5. Stabsgruppen hade som uppgift att ta fram vilka alternativ som fanns och var lämpligast med tanke på situationen i silo 5. Först skapades en kontakt med Räddningsverkets vakthavande tjänsteman men han kunde inte ge någon hjälp vid tillfället. Under tiden tog staben kontakt med försvarsmakten och polisens nationella insatsstyrka för att undersöka om de kunde bistå vid håltagningen. De har utrustning att spränga hål i mantelytan med riktad sprängverkan. Grävmaskinen som redan hade rekvirerats från Örnsköldsvik nyttjades normalt i tunnlarna vid bygget av Bottniabanan. De hade grävmaskiner med "bilningsverktyg" och extra

säkerhetsutrustad förarkupé. Kupén var "crash-säker" med tredubbla säkerhetsglas och filteranläggning till luftförsörjningen.

Räddningsledaren beslutade att genomföra håltagningen i silo 5 med grävaren från Örnsköldsvik. Sprängning skulle betyda stora risker om en ansamling av brännbara gaser fanns i närheten av mantelytan. Erfarenheter från Esbjerg i Danmark (se bilaga 2) gjorde att vi var tveksamma till den håltagningsmetoden. Om det fanns fickor med brännbara gaser i silon kunde chockvågen av sprängmedlet utlösa alla gasfickorna samtidigt och resultera i stora eldklot på utsidan. I Esbjerg hade det rapporterats om eldklot med räckvidd på ca 150 m.

Vid 19-tiden började den utströmmande pelleten från silo 1 att antändas. Flödet var fortfarande stabilt så inga direkta risker kunde skönjas. Under tiden som pelleten rann i "ettan" så förbereddes håltagningen av silo 5. För att minska riskerna av antändning av eventuella gaser under konen skulle ett hål tas under livet av konen för att ventileras ut eventuella varma brännbara gaser. Därefter skulle ett hål för tömningen av pelleten tas ovanför livet. Första hålet i silo 5 togs vid 20-tiden och strax därefter det andra. När flödet i hålet var jämnt vidgades hålet i silo1 och strax därefter ännu ett på motsatt sida för skynda på tömningen.

Dag 6 – söndag 12 september

Vid midnatt hade innehållet i silo 5 fortfarande inte antänts. Ett par timmar senare slutar pelleten att rinna ut men startar igen efter att klumpar i armeringen tagits bort med "pet-lansen". Strax därefter antänds pelleten. Under tre timmar var ett återkommande problem att flödet avstannade och att det brann mer eller mindre konstant från hålet och dess omgivning. Samtidigt under denna period föll skopelevatoren som var monterad mellan silo 1 och 2 ner. I och med att riskområdet var väl tilltaget så blev det inga skador på vare sig personal eller maskiner.

Under morgontimmarna började det misstänkas att det blivit en "valvbildning" i silo 5. Inget rann ut samtidigt som det fortfarande brann inne i silon. Farhågor fanns om att detta skulle resultera i att gasfickor bildades och att de kunde antändas när de frilades vid förändringar i pelletsmassan. Antagandet visade sig vara rätt när stora gasmassor strömmade ut ur hålet vid 6-tiden och antändes. Under cirka 15 minuter frigjordes flertalet mindre fickor av gas vilket resulterade i brinnande gas på utsidan. För att minska förbränningen i hålet styrdes vattenflödet från SMC-enheterna direkt in i hålet.

Betongen, framför allt i toppen började nu uppvisa sprickbildningar p.g.a. värmen. När vattnet från SMC-enheterna påfördes in i silon så lät spjälkningen av betongen som mindre knallar. Troligtvis var värmen som starkast i betongen i silotoppen och den snabba avkylningen av gasmassan i silon förvärrade sprickbildningen ytterligare. Det bedömdes dock som mindre allvarligt då konstruktionen redan påvisat sprickbildning och risken för fallande betongbitar bedömdes som liten med tanke på den täta och kraftiga armeringen. Vattengivningen in i silo 5 fortsatte under ett par timmar med allt mindre utströmmande pellets.

Under tiden när riskerna avtog och problemen med silo 5 hade lösts, riktades åtgärderna mot silo 2 och 3. I silo 2 fanns det små indikationer av värmealstring men

dock inte i samma nivå som de silos som nu var, mer eller mindre, tömda och släckta.

I silo 3 fanns inga tecken på någon sönderdelning av pelleten. När håltagningen av silo 2 var genomförd visade sig innehållet vara förändrat till både färg och temperatur. Pelleten var mörkare, luktade något och var ca 80 - 90 grader varm. En SMC-enhet hade som uppgift att bistå vid tömningen om den skulle börja brinna. Redan efter någon timme blev färgen ljusare och temperaturen minskade i utflödet.

I detta läge hade tre silos tömts. Flödet i silo 2 var god, inga klumpbildningar fanns och pelleten rann med god hastighet. Ett återkommande problem var att få undan massorna på utsidan och få dem lagrade på rätt ställe. Lagringen av blöt, brandpåverkad pellets var på ett ställe och den torra lades på ett annat. Skälen till detta var dels restvärdet av det torra opåverkade bränslet och att det blöta, delvis förbrända fortfarande var en säkerhetsrisk och en möjlig miljörisk. En paus i åtgärderna planerades under lunchtimmen för att röja upp siloområdet.

När silo 3 öppnades under eftermiddagen påvisade pelleten inga som helst tecken på att vara under sönderdelning. Under tiden var silo 2 i stort sett tömd och silo 5 utom fara. Det som återstod i silo 5 var endast den pellets som fanns i konen. Arbetet med att släcka den pellets som förbrändes under ytan var inte helt färdigt men inte heller akut. Det fick vänta till dess att all pellets på planen utanför hade borttransporterats. På söndagskvällen minskade räddningsledaren riskområdet och hemvärnspersonalen, som under helgen bevakat avspärningarna, kunde fara hem. Staben hade varit under nedtrappning under söndagen stängdes helt sent under söndagskvällen.

Tömningen av resterande silos och släckningen av den glödande pelleten i silo 5 genomfördes utan något större problem.

Dag 7 - måndag 13 september

Under måndagsmorgonen kallade räddningsledaren till sig hamnchefen och representanter från BioNorr för att avsluta räddningsinsatsen och ge instruktioner om bevakningen samt vilka risker som anläggningen påvisade.

6. Räddningstjänsttaktiken och dess påverkansfaktorer

En silobrand är lyckligtvis sällan förekommande. Det innebär också att räddningstjänsten normalt sett har en liten eller ringa erfarenhet av den typen av olycka. Vi kan därmed inte genomföra insatser med ett igenkänningsbaserat tillvägagångssätt. Under förberedelserna inför och under släckningsarbetet var räddningsledningens uppgift att samla uppgifter för att bedöma skadans art, yttre påverkansfaktorer och utifrån tillgängliga resurser fatta strategiska beslut. Nästa del i beslutskedjan blir att välja taktik och metoder som kan uppfylla de strategiska målen. Nedan följer en del av de bedömningsgrunder som beaktades.

Skadans art

En silobrand har inledningsvis, sett från räddningstjänstens ögon, ett relativt långsamt förlopp. Så länge siloinnehållet är inneslutet sker endast den värmeutveckling som syremängden inuti silon tillåter. Detta är dock inte helt statistiskt i och med att de flesta silokonstruktioner inte är helt lufttäta. När värmen i silon ökar kommer även trycket i silon att öka varvid ett gasflöde uppstår. Hur stort flödet blir påverkas av storleken på otätheterna, var otätheterna finns, hur varmt det är i silon och siloinnehållets egenskaper. Är silon fylld med en tät massa minskar naturligtvis flödet.

I vårt fall fanns små otätheter mellan konen och siloväggarna. Under konen fanns även en dörr som kunde betraktas som relativt tät vilket minskar det totala flödet. På toppen av silon fanns ventilationshuven av betong där ventilationsarean var mindre än en kvadratmeter. Flödet i silon var därför relativt litet inledningsvis. Förbränningen och sönderdelningen av pelleten begränsades av syret som fanns i silon och den naturliga konvektion (drag) som fanns i pelletsmassan.

Om en silo öppnas förändras situationen. En omrörning av innehållet sker och de delar av silon som inte berörs kan påverkas, dels av ett värmeflöde som sprider glödbranden och dels genom att förse de delar som haft en lägre syrenivå på grund av glödbranden med nytt syre. Har man påbörjat en tömning av en silo så är det svårt att förändra sin taktik och man måste därför ha dimensionerat släckinsatsen för en kraftigt ökad förbränning.

Under tömningen kan det uppstå problem som måste beaktas innan beslut fattas. Eventuella stopp i utflödet av olika skäl vilket kan skapa ett "valv" i massan där stora mängder brännbara gaser kan ansamlas. Gasfickorna kan även uppstå naturligt p.g.a. av den volymminskning som sker av innehållet när det sönderdelas och förbränns. Gasen kommer att frigöras och antändas beroende på var tändkällor och syre finns.

Man bör ha en frånluftsöppning i silotoppen för att man inte skall få en ansamling av brännbara gaser. Ansamlingen kan skapa en explosionsrisk om gaserna är inneslagna och blandas med luft i viss proportion. Konsekvensen av ett sådant förlopp innebär troligen konstruktionen skadas. Vid tömningen var det ofrånkomligt att vi fortfarande skulle ha en stor mängd pellets kvar i silon samtidigt som det bildats en fri väg mellan frånluftshålet i toppen och i tömningshålet. Vi har då kvar bränslet samtidigt som vi skapat en skorsten. All förbränning kommer att ske inuti silon varvid värmepåverkan på konstruktionen blir stor.

Längst ner i silon finns en stålkon med ett stagsystem som bär upp hela vikten av pelleten (1800 ton). Vi kunde konstatera att det fanns glödbränder och sönderdelning i direkt anknytning till konen. Om värmeutvecklingen i konen fick fortgå obehindrat skulle stålets hållfasthet påverkas och risken för skador på konen var uppenbar. Konsekvensen av en skada på konen skulle troligen försvåra den fortsatta insatsen och även öka det oönskade luftflödet.

Yttre påverkansfaktorer

Siloanläggningen ligger inom stadskärnan på hamnområdet i Härnösand. Direkt väster om hamnen finns ett bostadsområde, norrut finns ett industriområde och söderut finns småindustrier samt en byggvaruhandel och lagerlokaler. Kajen är åt öster och på andra sidan sundet, ca 500 meter från kajkant, ligger Härnön med täta bostadsområden.

Vinden var inledningsvis nordvästlig och övergick under veckan till att bli västlig - sydvästlig. Vindriktningen var en av de viktigaste påverkansfaktorerna i valet av metod för att åtgärda olyckan. En silobrand som skall släckas inne i silon riskerar att bli långvarig och under denna tid kommer det att produceras stora mängder rök. När ett släckförsök påbörjas, oavsett vilket släckmedel som används, kommer rökens termiska stigkraft att minska. En stor del av röken kommer därför att finnas på marknivå. Röken är på nära håll hälsofarlig men diffunderas ut, blandas med luften, och verkar på håll enbart som irriterande. Vi ansåg att röken skulle bli ett av de största problemen, kanske det största. Målet blev därför att släcka branden så fort som möjligt innan vinden växlade till västligt. Då skulle vi med stor sannolikhet vara tvungna att evakuera hela bostadsområden och stänga skolor som låg i den vindriktningen.

Räddningstjänstens strategiska beslut

När en summering av yttre omständigheter, skadans art och tekniska möjligheter gjorts fattades beslut om att vi skulle släcka branden så fort som möjligt. Det kan tyckas vara ett självklart mål men det får konsekvenser för riskerna på olycksplats, organisationen på olycksplats och kostnaderna för insatsen. Med andra ord så fattade vi ett offensivt beslut om att så fort som möjligt tömma alla silos med största möjliga säkerhet.

Val av taktik och metoder

Vid informationssökningen om silobränder framkom en rapport som skulle påverka vår insats i stor utsträckning. I rapporten beskrevs ett liknande fall i Esbjerg, Danmark där valda metoder skapade problem för den fortsatta insatsen och säkerheten på olycksplatsen (se bilaga 2).

Utifrån skadans art, yttre påverkansfaktorer, strategi och tillgängliga resurser utkristalliserades tre möjliga metoder och angreppssätt. De två första alternativen ratades av olika skäl. Alternativ 3 valdes och beskrivs här lite mer ingående.

1. *Invändig släckning i silo med vatten.* För att släcka en pellets massa som är under sönderdelning/glödbland måste man nå själva härden med vattnet. Var härden finns, horisontellt och vertikalt, är det i praktiken omöjligt att få kunskap

om. Härden fanns i detta fall troligtvis centralt, mitt i silon. Exakt var den fanns vertikalt var det svårare att veta. Det innebar även stora svårigheter att nå in med vatten till mitten av silon.

Om man påför vatten kommer pelleten att suga åt sig detta och bilda en massa som hårdnar. Egentrycket från pelleten gör att den fuktade massan kompakteras ytterligare vilket gör att den sedan blir närmast ogenomtränglig. Sannolikheten (om man nu klarar att få in vatten med lansar etc.) för fullständig släckning är liten. När sedan fortsatta släckförsök görs är både en tömning av silon svår och penetrering av vatten likaså. Tekniskt sett är det möjligt att tillverka lansar och skjuta in dessa i pelleten med stor kraft. Metoden är dock tidsödande, sannolikheten för en lyckad släckning är liten och handlingsfriheten begränsas starkt i den fortsatta insatsen.

Ett annat alternativ hade varit att påföra stora mängder vatten från toppen ner i silon. Det skulle släcka eventuella bränder på ytan av pelletsmassan. En mindre önskad effekt är, enligt ovanstående, att pelleten suger åt sig vattnet och bildar ett lock i silon. Ju mer vatten som påförs in i silon desto tjockare lock bildas.

Möjligheten att släcka en brand inne i silon var närmast obefintlig. Metoden skulle däremot skapa enorma problem för den fortsatta insatsen med bl.a. gasfickor och vattnets expansion vid ångbildning under tryck. Vidare kunde konstruktionen påverkas av trycket som uppstår när pelletsmassan sväller.

2. *Släckning med ett gasformigt släckmedel.* För att nå en effektiv släckning av en silobrand med gasformiga släckmedel såsom koldioxid och kvävgas är en förutsättning att konstruktionen är relativt tät. Gasen som injekteras måste verka under en längre tid för att kunna få en släckande effekt. Om konstruktionen är otät kommer gasen att läcka ut och skapa ett oönskat flöde. Branden får inte heller vara för utvecklad. Om glödbränderna i silon är stora i omfattning skapar det ett flöde i silon. Gasens släckmekanism är framförallt kylning av gaserna från sönderdelningen och om det skall släcka glödbränder så krävs även att syrenivån sjunker ner runt 1-2 %. Det innebär praktiskt att man minst skall fylla silon med 4 gånger mer koldioxid än ursprungsvolymen.

En tumregel är att man skall fylla 1.5 kg flytande koldioxid per kubikmeter. Släckning med gasformigt släckmedel skulle ta lång tid och fortfarande innebära en mer eller mindre kraftig rökutveckling. Erfarenheter från andra silobränder i Sverige och internationellt är att det kan ta flera veckor innan branden släcks och att troligen behövs flertalet påfyllningar av släckmedlet.

3. *Tömning av silo och utvändigt släckning med vatten.* De erfarenheter som inkom vad gäller att släcka större siloanläggningar var att "förr eller senare måste massan lämpas ut". Lämpningen av silorna har ofta skett då alla andra släckalternativ misslyckats. Metoden bygger på att ta hål i silons mantelyta, låta pelleten strömma ut och att släcka eventuella bränder på utsidan. Denna metod ställer höga krav på organisationen vad gäller säkerhet, släckkapacitet och logistik för avtransportering av pelleten. Den första risken som identifierades uppkom redan vid själva håltagningen.

Om man som i Esbjerg valde håltagning med sprängmedel fanns det risk att gasfickor utlöstes momentant. Hela eller stora delar av området kunde svepas in i ett eldklot. Vi valde en teknik som gick ut på att använda grävare med bilningsutrustning. Föraren fick noggranna instruktioner om att punktera mantelytan med ett litet hål inledningsvis. Om det fanns brännbara gaser i direkt anslutning till hålet skulle de strömma rakt ut med ett högt tryck. För att minska risken för tändningar valde vi att inertera, blanda ut gaserna i silon med en obrännbar gas, med koldioxid. Koldioxiden hade en kylande verkan på de brännbara gaser som fanns i silon.

För att motverka risken för dammexplosioner i utrymmet mellan silotoppen och pelleten fylldes utrymmet med lätt- och mellanskum. Denna åtgärd var tänkt att enbart vara verksam under den första delen av tömningen. De heta, orena gaserna från pelleten skulle bryta ner skumtäckets relativt omgående. En positiv bieffekt var att det mesta av dammet skulle vara uppbundet av en liten mängd fukt.

Vidare var det viktigt att flödet var kontinuerligt. Om flödet ur silon avstannade kunde förbränningen inne i silon stegra, i och med att syrenivån höjts, och risken för ansamlingar av brännbara gaser ökade. Pelleten blir vid kraftig värmeutveckling och sönderdelning lite kletig till karaktären och kan skapa relativt stora hålrum. Den täta och kraftiga armeringen gav upphov till problem i och med att pelleten fastnade i hålet. Det hände särskilt när vi nått områden som var mer värmepåverkade och klumpar bildats. Lösningen var att sätta en lans på en teleporter som på ett säkert avstånd kunde peta i öppningen och få igång flödet igen.

Stundtals brann det mer eller mindre kraftigt på utsidan av silorna. SMC-enheterna kunde tillgodose alla behov som vi hade avseende kastlängd och vattenflöde. Kastlängden innebar att vi inte behövde ha ett system med grovslang i området som skulle trafikeras av lastare och lastbilar. Vi kunde även minimera räddningstjänstpersonalen i närheten av silorna och i arbetsfältet för de tunga fordonen. Strålarnas räckvidd medgav att vi även kunde täcka bränder på silotoppen. Det stora flödet från enheterna (upp till 12 m³ per minut) gjorde att vi kontrollerade bränderna på utsidan och att vi aldrig behövde beakta risken för spridning.

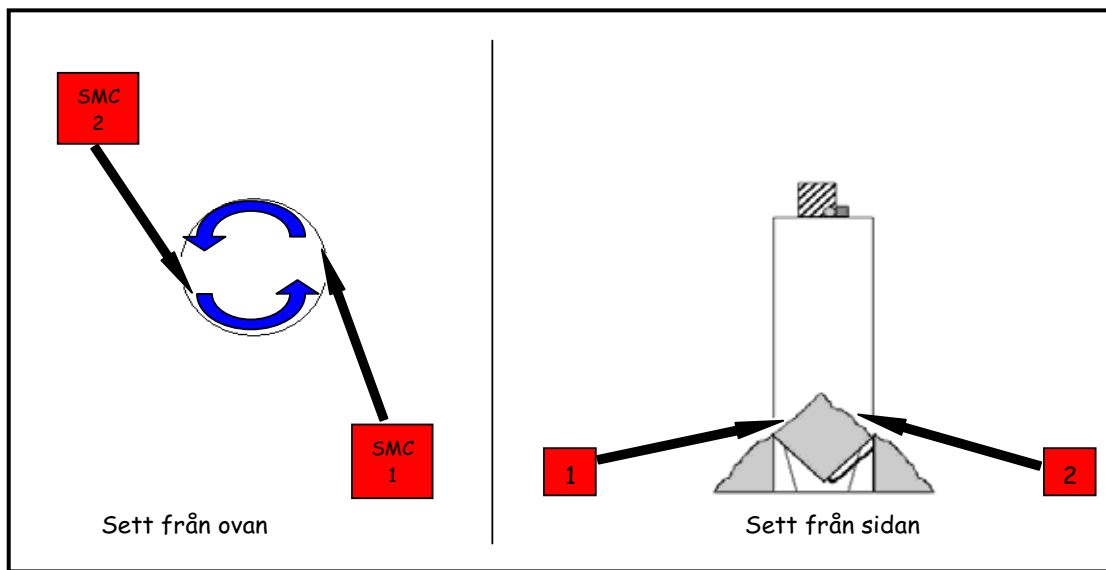
Innan första håltagningen var det viktigt att noggrant planera avtransporteringen av pelleten. Kapaciteten hos transportererna måste stå i paritet med flödet, vägarna inom riskområdet måste vara klart definierade och upplag med hårdgjord mark färdigställt.

I slutfasen av släckningen av silo 4 och 5 brann fortfarande pelleten i konen (se bild nedan). Uppskattningsvis var det runt 250 ton pellets kvar. Att enbart vattenbegjuta ytan skulle dämpa förbränningen inne i silon men glödbränder skulle finnas kvar under den hårda "skorpan" som bildats.

Vi använde därför SMC-enheternas stora flöde och den kraft som strålarna gav. Genom att ställa dem enligt nedanstående bild spolades stora delar av pelleten ovan konens kant ut och en släckning kunde åstadkommas.

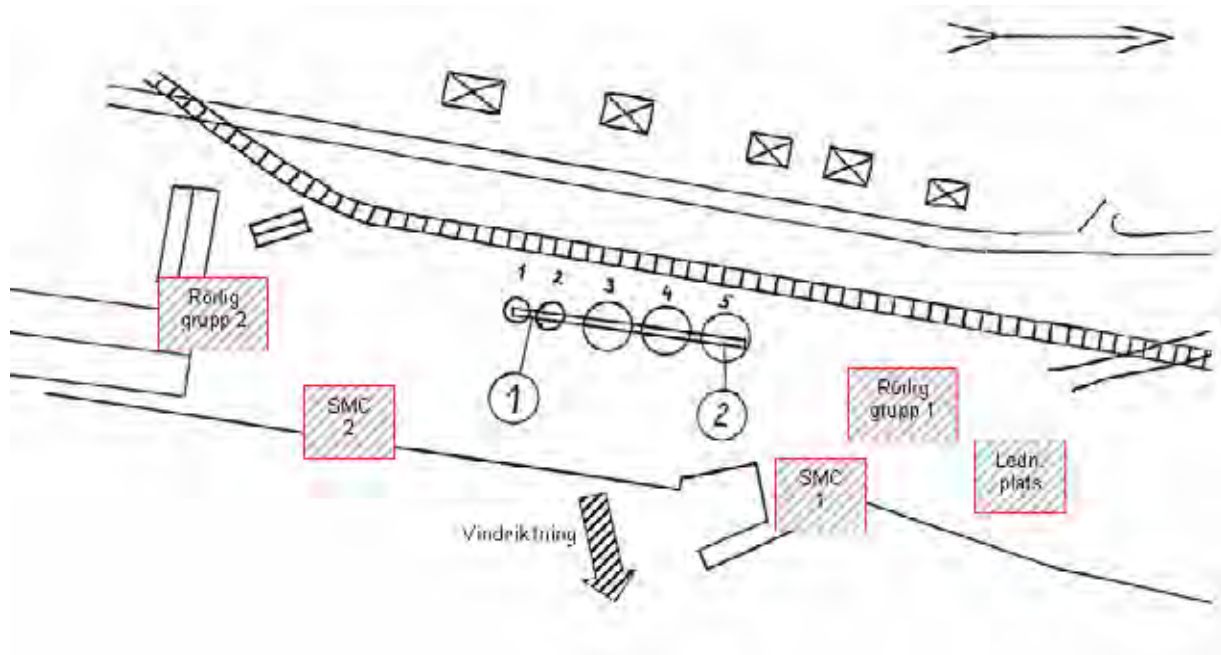
Eventuella glödbränder som fanns inne i konen kom vi inte åt med den här

metoden. I och med att den släckningen inte var akut och att ägaren eller verksamhetsnyttjaren själv kunde skaffa sig lämpliga resurser avslutades räddningstjänstinsatsen.



Räddningstjänstorganisation

Som tidigare nämnts var en bra organisation av olycksplatsen av yttersta vikt för att målet skulle nås och att säkerheten skulle vara hög. Inledningsvis användes två enheter från SMC och två rörliga grupper med ansvar att säkra arbetsmiljön för förarna av lastfordon och lastbilarna. Till detta fanns en ledningsplats och en materieldepå.

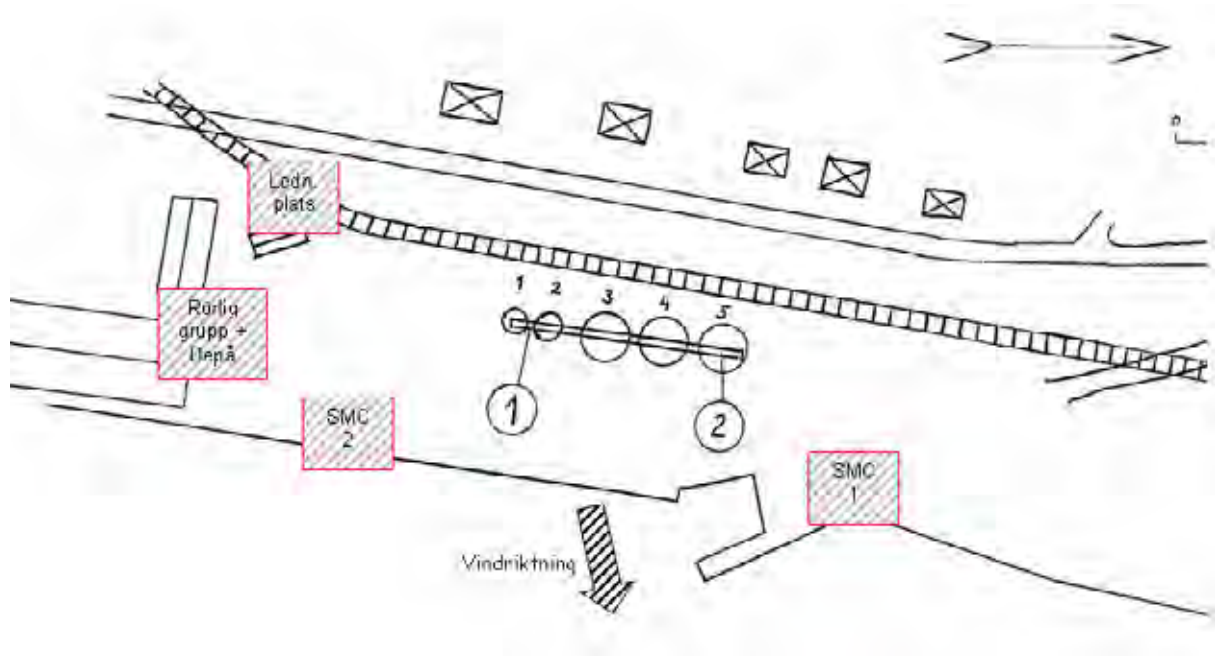


Bildtext: Organisation vid branden i Silo 4, 7/9 – 9/9

När håltagningen och transporterna av pelleten kom igång insåg räddningsledningen att den rörliga enheten närmast ledningsplatsen var onödig och försvårande för

förarna. En påkörningsrisk fanns. De fick under den första natten stå i beredskap vid depån om särskilt behov skulle uppstå.

Under lördagen när de resterande silorna hade börjat sönderdela förändrades sektoriseringen. Ny ledningsplats och ny plats för depån samt den rörliga gruppen organiserades. Uppgifterna för enheterna var dock desamma.



Bildtext: Organisation vid bränderna och tömningen av Silo 1-3 och Silo 5, 10/9 – 11/9

7. Information, internt och externt

Då rökutvecklingen och lukten påverkade tätbebyggda områden i Härnösand kunde vi direkt se ett stort informationsbehov till allmänheten. Vid samlingen på stationen i Härnösand fick räddningstjänstens informationsansvariga uppgift att i samråd med kommunens informatör bygga upp informationssystemet. Direkt lades aktuell information om branden ut på både kommunens och räddningstjänstens hemsida. Informationen uppdaterades kontinuerligt.

Ett pressmeddelande togs fram och information till allmänheten genomfördes via regionalradion. Kommunens växel var bemannad fram till kl 22.00.

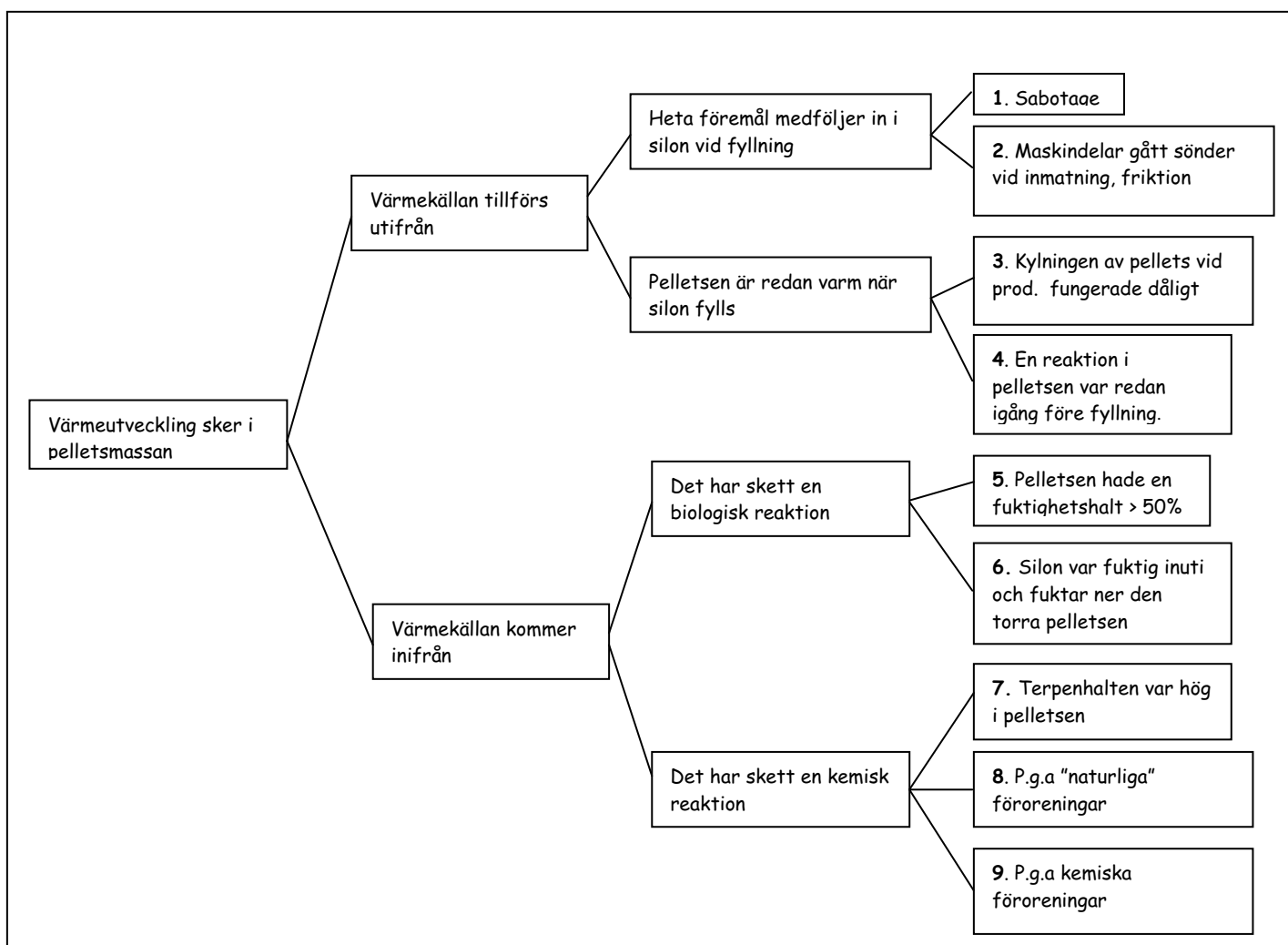
Presskonferenser anordnades av vårt informationsbefäl. Första presskonferensen gick av stapeln när vi beslutat om inriktningen av arbetet. Detta skedde på eftermiddagen under insatsens första dag, onsdagen den 7 september. Fortsättningsvis hade vi minst ett informationstillfälle till massmedia per dag.

8. Olycksorsak

Som en grund för räddningstjänstens utredning av olycksorsak har vi i det första steget bedrivit en faktainsamling. Den bygger på intervjuer av personal, vår egen och samverkande, samt på studier av forsknings- och observatörsrapporter. Även den dokumentation och det bildmaterial som har vi själva har tagit fram har sammanställts och använts i efterarbetet.

Som steg två i utredningen skapades ett händelsetråd med möjliga förlopp. Utgångspunkt i trädanalysen har varit att silorna precis har fyllts med pellets och att olycksutvecklingen startar där.

Steg tre har varit att bedöma sannolikheten för de olika förloppen utifrån fakta. Genom uteslutningsmetoden kan man urskilja de mest sannolika olycksorsakerna. Vi har i utredningen stannat på en nivå där vi fortfarande kan bygga antaganden på kända fakta. Nedan följer de slutsatser som dragits utifrån möjliga händelseförlopp.



1. Sabotage. Siloanläggningen har utsatts för sabotage i ett okänt syfte. Någon hotbild föreligger inte samtidigt som det är mindre sannolikt att en gärningsman kan följa fyllningen av fem silos under flertalet veckor utan att

upptäckas. Brandförloppet skulle inte heller ha det förlopp som uppvisades senare.

2. Maskindelar kan vid varmgång bli mycket heta p.g.a friktion. De heta maskindelarna som utsätts för mekanisk åverkan kan även sönderdelas och följa med pelletsmatningen. Friktion av den magnituden åstadkommer även ett stort oljud. Att detta kraftiga oljud skulle höras under minst 3 veckor utan att personalen skulle uppmärksamma detta och åtgärda problemet är mindre sannolikt.
3. I en av de sista delarna av produktionen kyls pelleten för att kunna lagras. Om kylningen inte genomförs är det troligt att den kan starta en accelererande autooxidation, d.v.s. terpenener som finns naturligt i trä börjar reagera med syret i luften under värmeutveckling. Ju mer värme som finns desto högre blir hastigheten i denna reaktion. Detta förlopp är inte troligt då all pellets har mellanlagrats i BioNorr's ordinarie lagringsutrymme. Vidare hade produktionspersonalen med största sannolikhet observerat sådan förändring i processen och maskinförarna likaså.
4. Detta scenario liknar det föregående med skillnaden att en reaktion påbörjats av en okänd anledning. Det är inte heller troligt då denna sönderdelning sker under värmeutveckling och utsöndrar en skarp lukt av aldehyder, pentanal och hexanal. Inga sådana observationer hade gjorts.
5. Om pellets har en högre fuktighetshalt än 50 % kan det möjliggöra att en biologisk reaktion (fungus) startas. Det sker under en viss värmeutveckling och ju högre värme desto snabbare biologisk nedbrytning. Det sker till en viss temperatur då den övergår till en kemisk reaktion med förlopp som liknar föregående. Detta scenario är inte troligt då pelletsen dokumenterat hade runt 6 % fuktighetshalt.
6. Om botten av en silo är kraftigt fuktig kan pellets komma att absorbera fukten och eventuellt uppnå 50 % i fuktighetshalt. Personal, från både hamnen och BioNorr, kontrollerade siloparken innan fyllningen påbörjades. Ingen påträffade någon fukt. Vädret innan och under fyllningen var relativt torrt. Det är också mindre sannolikt att regn kan komma in i silon med tanke på dess konstruktion. Detta är ett mindre troligt scenario.
7. Terpenhalten har en relativt stor betydelse för pelletens benägenhet att autooxidera (se punkt 3). Olika träslag har olika halter av terpenener t.ex. har fura högre innehåll av terpenener än gran.

Enligt studier av SLU, Statens Lantbruks Universitet är även halten av fettsyror en viktig påverkansfaktor. Vilken nivå av fettsyror som pelleten hade finns inte dokumenterad och forskningen om fettsyror är i skrivandets stund inte klar.

I BioNorr's ordinarie lager sker en viss naturlig autooxidation i de fritt liggande stackarna. Temperaturen kan komma upp kring 70 grader i toppen av stackarna. Temperaturen längre in i stackarna är dock lägre och det är ett

tecken på att terpenerna reagerar i kontakt med syret. Någon mätning av halten av terpen i pelleten hade inte genomförts och detta är inte heller en normal rutin. I silon kan det ha skett en till början mycket långsam reaktion. Pelleten runt det reaktiva området fungerar då som isolering d.v.s. ser till att den värme som alstrats stannar i reaktionsområdet. Förloppet får en ökad intensitet på grund av värmeförhöjningen. Denna värmeförhöjning kommer även att skapa ett visst luftdrag i massan, om än relativt liten. Detta förlopp kan vara en bidragande orsak.

8. Vid hanteringen av pellets gnids pelletskornen mot varandra och pulver bildas samt mindre spån frigörs. Dessa mindre fraktioner följer med pelletskornen vid fyllningen av silon. Fallhöjden och den kraft som utvecklas när pelleten landar i silon medför att mindre korn och bildat pulver stannar i mitten av silon. Man kan då ha anrikat mitten av silon och de nedre regionerna med fraktioner av pelleten som är mer benägna att starta en reaktion. Ju mer finfördelat ett ämne är desto större är dess totala omgivningsyta och därmed högre reaktionsförmåga. Det som talar mot detta är att ju högre förekomst av blandning av oskadad pellets med finfördelat pulver och spån, desto mindre utrymme för syret. Men om det sker en reaktion i dess "marginal" kan det vara en trolig bidragande orsak.

Om pelleten innehåller bark ökar benägenheten till autooxidation mycket. Enligt uppgift från BioNorr innehåller inte pelleten bark utan enbart spån från avbarkade träd. (Bild på anrikningen i en tvärsnittbild)

9. Forskningsresultat visat att om man dopar, d.v.s. förorenar en pellets med vissa metaller ökar dess benägenhet att oxidera. Mängderna av denna förorening för att ge en förändring är försvinnande små. T ex har man uppmätt förändringar i reaktionshastigheten vid inblandningar av 900 ppm koppar. Dessa studier är i nuläget enbart grundforskning. Resultat av blandningar av metaller och andra föreningar har inte publicerats. Någon kontroll av eventuell kemisk förorening finns inte eftersom råvaran enbart består av "rent" träspån och brist på kunskap om vad man skall mäta. Om den lilla mängden grafit (kolpulver) som fanns kvar i silorna före fyllning bidrog till en autooxidation är omöjligt att bedöma. Det finns varken forskningsresultat eller annan erfarenhet som utesluter eller belägger detta.

Vid jämförelse av kända fakta och ovanstående resonemang kan vi utesluta de sex första orsakerna. Det finns ingenting som tyder på att de orsakerna kan vara möjliga. Däremot är de tre sistnämnda svårare att bedöma utifrån kända fakta. Det kan även vara en blandning av dem. Om halten av terpen var hög, för hög för att lagras i silo, samtidigt som det ansamlats pulver i mitten av silon, kan det ha åstadkommit en accelererande reaktion. Om man även lägger till vissa kemiska orenheter som vi dagsläget saknar kunskap om, blir det hela än mer komplicerat. Vilken av dessa tre orsaker som är den mest bidragande eller den enda bidragande olycksorsaken är omöjlig att framhäva utifrån kända fakta. Vi får då gå tillbaka ett steg i händelseträdet och konstatera att det varit fråga om en kemisk reaktion, en autooxidation av okänd natur.

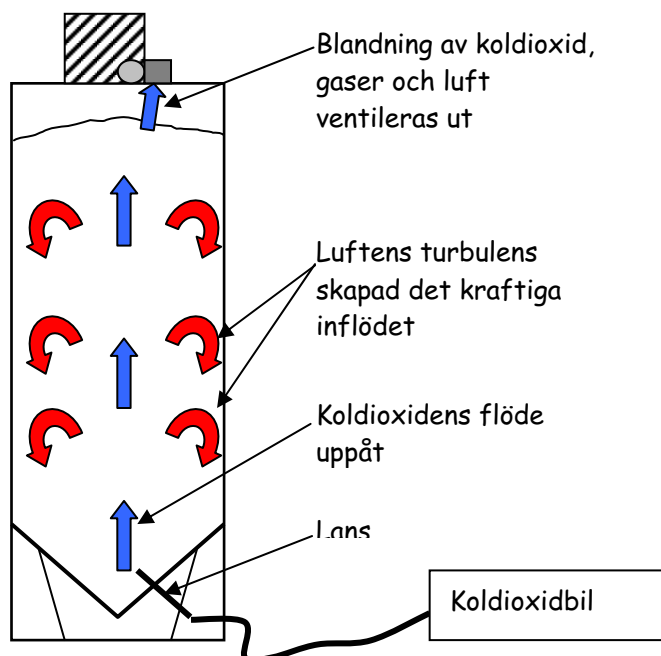
9. Slutsatser, erfarenheter och rekommendationer

Silobränderna i Härnösand var en olycka som innehöll många olika problemställningar. Dels var det skadan i sig som var ovanlig, släckmetoden okonventionell och framför allt det förlopp som koldioxidfyllningen skapade. Även faktumet att silorna i grunden inte var avsedda för ändamålet skapade vissa problem. Vi skall kortfattat delge några av de erfarenheter som dragits samt lämna några enkla rekommendationer för silolagring av brännbara material.

Erfarenheter från insatsen

- Informationssökning. Vid denna typ av olycka där erfarenheterna är få, tidsfaktorn inledningsvis inte avgörande och olyckans omfattning stor, är det av yttersta vikt att inrikta större delen av stabens resurser på att söka information. Det fanns inte speciellt mycket skrivet om olyckstypen. Via Statens Räddningsverks informationssystem RIB fann vi personer med erfarenhet av silobränder, vilka vi naturligtvis kontaktade. För vår del visade det sig att den information som var tillgänglig inte var samstämmig. Vi fick bilda oss en egen uppfattning om troligt olycksförlopp och metodval.
- Snabb uppbyggnad av stab. Att en stab skall sättas igång så fort som möjligt är kanske självklart. Man skall tidigt bjuda in så många av de samverkande personer och organisationer som möjligt för att skapa nätverk, fånga deras kunskap och få en så samstämmig bild av läget som möjligt. Dessa möten bör ske med en viss kontinuitet.
- SMC. Om man väljer att genomföra en håltagning och släcka siloinnehållet på utsidan måste man ha en väl dimensionerad vattenkapacitet. SMC-enheterna visade sig vara mycket lämpade för uppgiften och de kan säkert komma till användning även vid andra typer av bränder där kastlängd och stora vattenmängder är avgörande. Begränsningen ligger i att enheterna kräver öppet vattentag i närområdet samt att slangdimensionerna är mycket grova vilket gör att omflyttningar blir arbetskrävande och tidsödande.
- Säkerhetsorganisationen. När komplexa insatser skall genomföras är det, om möjligheterna finns, lämpligt att samla all personal som skall vistas på olycksplatsen och gå igenom olycksförlopp, angreppssätt, sektorindelning, medverkandes uppgifter, risker och säkerhetsorganisationen i sin helhet. Om riskerna besannas eller oförutsedda händelser inträffar kan personalen agera snabbt på egen hand. Räddningsledningen har vid sådana tillfällen små möjligheter att agera tillräckligt snabbt.
- Informationstrycket. Var beredd att möta pressen innan deras behov har uppstått. Utse en grupp med räddningstjänstpersonal, kommunens informatörer och andra som kan jobba nära staben och följa händelserna på olycksplats och stabens planering. Låt dem ha en fri roll med stabschefen eller annan ansvarig som granskar utflödet av information. Finns en fungerande hemsida, sprid adressen och använd den för löpande information. Journalister som närvarar vid presskonferenser eller kontaktar pressbefälet är uppdaterade och har då mer relevanta frågor att ställa. Använd kommunens växelkapacitet och ge växeloperatörerna information som kan täcka de mest troliga frågorna.

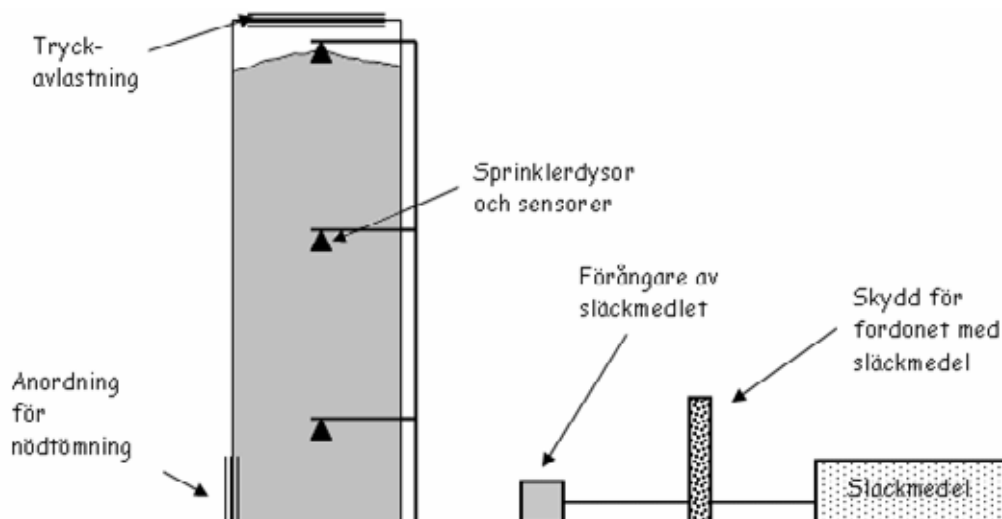
- Befäl vid olycksplats. Vid insatser utsträckta över tiden där erfarenhetsbasen initialt är låg, utnyttja den erfarenhet som erhålls under insatsen. Undvik att få in ny personal om det finns utvilad personal som varit delaktiga tidigare. Gör rullande tjänstgöringsschema.



- Koldioxidfyllningen. För att vara på den säkra sidan fylldes under fredagen samtliga resterande silos med återstoden av det som fanns på gasbilen. Det fick som konsekvens ett accelererande förlopp i de silorna som tidigare inte uppvisat tecken på sönderdelning. Den troliga orsaken till förloppet är att påföringen skapade ett drag i silon där "omrörningseffekten" var betydande. Koldioxiden tränger undan syret och tvingar därmed ovanliggande syre att dras mot en hård. Det skapar bättre förutsättningar för en glödbrand att fortleva med "nytt" syre i dess omgivning. Gasen skall påföras på mjukaste sätt för att undvika omrörningseffekten. Att gasen är tyngre än luft spelar mindre roll i och med att innehållets temperatur är mycket skiftande. Skall man använda gasformigt släckmedel bör konstruktionen vara relativt tät. Branden i silon bör inte vara för långt gången. Det kan dock fungera om man har stora mängder gas i förhållande till silons volym och framför allt har gott om tid för släckningen.
- Värmekameror är ett alldeles utmärkt hjälpmedel för att följa temperaturutvecklingen i silon. Man kan direkt se var nivån på siloinnehållet ligger med en viss fördröjning. Fördröjningen beror på vilken typ av material som silon är byggd av och dess tjocklek. Har man möjlighet att mäta den absoluta temperaturen på mantelytan är det en stor fördel.

Rekommendationer för siloanläggningar.

- Om möjligt skall silon vara förberedd för nödtömning. Om en sönderdelning av innehållet observerats är det absolut bäst att tömma innehållet snarast möjligt innan sönderdelningen övergår i en förbränning. Området utanför skall även medge en snabbtömning d.v.s. bestå av hårdgjord mark och erbjuda möjlighet till deponi.
- Detektorer. För att över huvud taget kunna fatta väl avvägda beslut krävs beslutsunderlag. Om detektorer, relevanta för innehållets sönderdelningskaraktär, är en del övervakningssystemet kan fel åtgärdas tidigare och med i förväg förberedda metoder. Exempel på detektorer kan vara sensorer för kolmonoxid- och mätning av temperatur.
- Tryckavlastningar. Enligt AFS 2003:3 "Arbete i explosionsfarlig miljö" skall det finnas tryckavlastningar i miljöer där risken för explosioner finns. En risk vid silobrand är dammexplosioner och explosioner orsakade av kolmonoxid. Eftersom silobränder är förknippade med risk för explosion och konstruktionerna i många fall är höga så finns även en risk för fallande delar och stabilitetsproblem.
- Användning av gasformiga släckmedel. Det bör finnas förberett ett sprinklersystem inne i silon som medger en mjuk påföring av släckmedlet. De skall finnas på olika nivåer för att minska risken för omrörning av gaserna i silon. För att undvika påföring i vätskefas bör det finnas en förångare tillgänglig. Då undviker man de flesta problemen med frysning. En skyddad uppställningsplats för gasbilen bör iordningställas. Det är alltid förenat med risker att vistas nära en silo med glödbland. Normalt har gasbilarna en påfyllningsslang som är 8 – 10 meter vilket gör att föraren måste befinna sig i direkt anknypning till silon. Det bör undvikas.



10. Referenser

- Katarina Rutar-Gadd. *A Parameter Study of Drying and Storage of Biomass*. Växjö Universitet, 2003
- Jonathan Sjöberg. *Risikanalyt på Svenska Lantmännens anläggning i Helsingborg*. Lunds Tekniska Högskola, 2002
- Per Blomqvist, Bror Persson. *Spontaneous Ignition of Biofuels – A Literature Survey of Theoretical and Experimental Methods*. SP Fire Technology, 2003
- Kathrine Eriksson, *Självantändning av biobränsle och biogent avfall*. Växjö Universitet, 2002.
- Beaver, P.F, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, sidor 2:180-189, Self-heating and Spontaneous Combustion*. 1995.
- Henry Person, Per Blomqvist. *Släckning av silobränder*. SP Brandteknik, 2004

Bilagor

- Bilaga 1. *Information om SMC-enheterna*
- Bilaga 2. *Sammanfattning av silobrand i Esbjerg, Danmark*
- Bilaga 3. *Ritning av hamnområdet*
- Bilaga 4. *Information om pelletsproduktion, BioNorr*

**SMC:s aktieägare:**

Svenska Statoil AB, AB Svenska Shell, OK-Q8 AB, Preem Petroleum AB, Norsk Hydro Olje AB, ConocoPhillips Nordic AB och Skandinaviska Bensin AB din-X.



SMC genomför regelbundet övningar i de svenska oljehamarna.

Kontaktpersoner



Släckmedelscentralen – SMC AB
c/o Svenska Petroleum Institutet
Leif Ljung, tel +46 8 667 09 25
www.spi.se



Stockholms Brandförsvär
Tomas Ojala, tel +46 8 454 87 45



Räddningstjänsten i Göteborg
Erik Isaksson, tel +46 31 335 26 72



Malmö Brandkår
Patric Nilsson, tel +46 40 34 28 38



Räddningstjänsten Sundsvall – Timrå
Börje Stenvist, tel +46 60 12 32 00

Bakgrund

Skydds- och säkerhetsarbetet är en viktig del av arbetet inom en oljedepå. Det förebyggande arbetet har bedrivits framgångsrikt och olyckor och bränder är sällsynta. Kvalitetscertifiering och internkontroll är ytterligare sätt att förbättra och utveckla skyddsarbetet för att minska riskerna för olyckor och bränder. I Sverige har endast en större cisternbrand inträffat (1956) under hela den tid vi använt olja och bensin.

Enligt gällande lagstiftning är det anläggningsägarens ansvar att hålla med utrustning och ordna beredskap i skäligen omfattning på sådana verksamheter där en olycka kan orsaka allvarliga konsekvenser för människor eller miljö.

I Räddningsverkets skrift »Brandskydd i oljedepå, rekommendation« ges vägledning för utformandet av brandskyddet på oljedepåer. Rekommendationen är framtagen i samråd med Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Svenska brandförsvärsföreningen, Räddningsverkets avdelning för brandfarliga och explosiva varor, Svenska Petroleum Institutet och berörda räddningstjänster.



Två av SMCs moduler

Cisternbränder är sällsynta men för att ändå ha resurser att kunna släcka en sådan brand, om den trots allt skulle inträffa, bildade oljebolagen i Sverige 1994 företaget Släckmedelscentralen – SMC AB. Grundläggande uppgifter rörande strategi och utrustning är hämtade från SP:s rapport 1992:02 »Dimensionering, utrustning och val av taktik är avgörande vid släckning av cistern- och invallningsbränder«.

Taktik

Slutsatsen i SP:s utredning var att det säkraste sättet att lyckas med att släcka en cisternbrand är med mobil släckutrustning. Utrustningen är dimensionerad för att kunna påföra 10 lit filmbildande alkoholbeständig skum per m² och minut i 90 minuter på en brandyta.

Vid en eventuell cisternbrand är det SMC:s uppgift att släcka branden. Det lokala brandförsvaret uppgift är att förhindra brandspridning genom att kyla hotade objekt till dess SMC är på plats och kan släcka branden.

Släckmedelscentralen-SMC AB

Sju oljebolag har bildat SMC, investerat i utrustning samt träffat avtal med räddningstjänsterna i Stockholm,

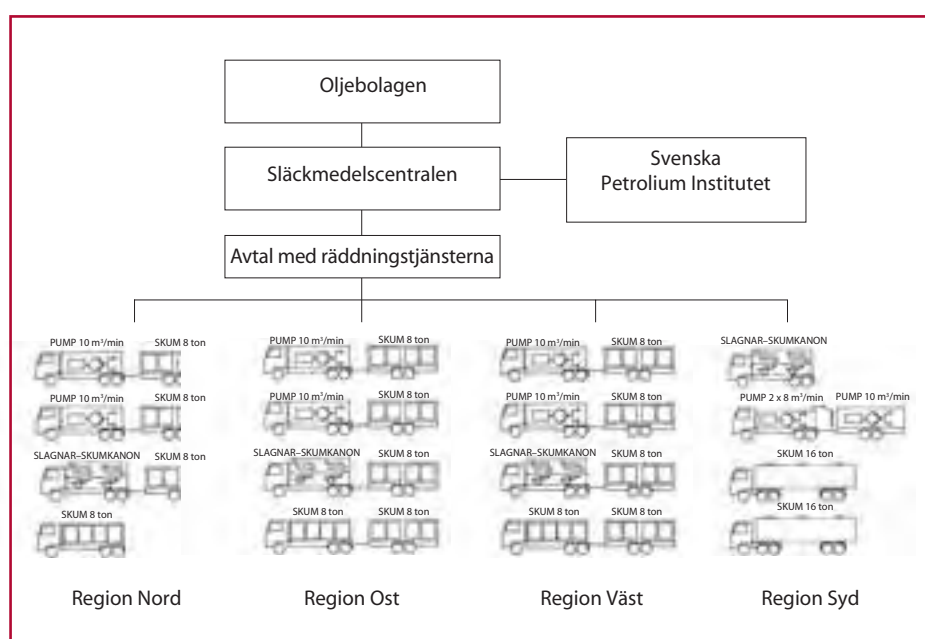
Göteborg, Malmö och Sundsvall om beredskap och drift av SMC:s operativa verksamhet.

Depånätet i Sverige är därför indelat i fyra regioner och i varje region finns en resursdepå som ansvarar för alla depåer i regionen.

Utöver ägarna har även andra företag som lagrar och hanterar petroleumprodukter tecknat samarbetsavtal med SMC.

Organisation

SMC administreras genom SPI och operativt sköts verksamheten genom avtal med räddningstjänsterna.



På varje resursdepåort finns dessutom en koordinator som ansvarar för övningsverksamhet, utbildning och andra SMC-frågor inom respektive region. All personal som arbetar med SMC på respektive ort är utbildad i handhavande av specialutrustningen och i cisternbrandsläckning. På varje plats finns också ett antal teamchefer som är utbildade i taktik och strategi för cisternbrandsläckning. Totalt i landet finns cirka 200 specialutbildade brandmän och cirka 30 teamchefer.

Vid utryckning består varje SMC-team av en teamchef och fem brandmän. Beredskapen upprätthålls 24 timmar per dygn 365 dagar per år.

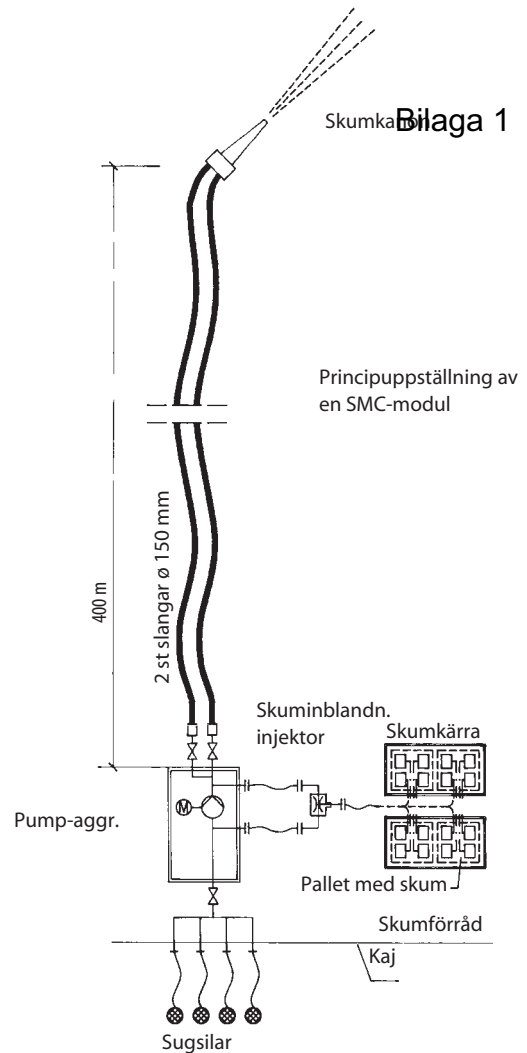
Utrustning

Utrustningen är modulbaserad där varje modul består av

- En dieseldriven pump med en kapacitet på 10 000 liter/minut.
- 2 x 800 meter brandslang, diameter 150 mm.
- 16 ton filmbildande alkoholbeständig skumvätska.
- Inblandningsutrustning för 3 % och 6 % skum.
- En skumkanon med en kapacitet på 8 000 liter/minut.

Modulerna kan antingen köras parallellt eller i serie. Utrustningen kan transporteras med lastbil eller med flygvapnets Herculesplan.

Totalt i landet har SMC 8 st pumpar, 8 st kanoner, 144 ton skumvätska, 4 000 m brandslang, fyra slangutläggningsenheter, samt 8 skuminblandningsenheter.



En storskalig övning innefattar flera olika arbetsmoment, t ex transport till brandplatsen, uppställning av pumpar, utläggning av slang samt uppställning och användning av skumkanoner.

SMCs regionindelning.
Landet delas in i fyra regioner
och respektive resursdepå
svarar för depåerna inom
regionen. Gotland ingår i
Region Väst.

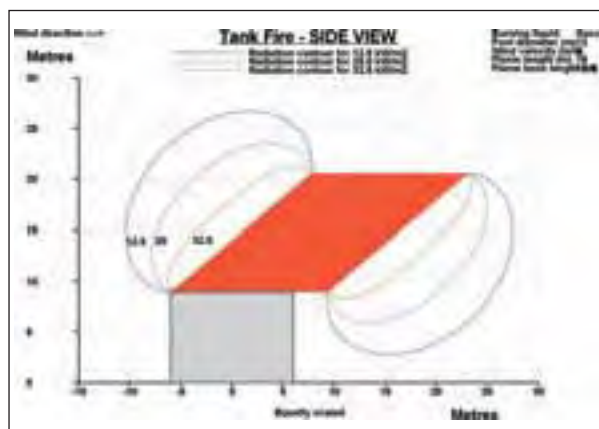
Illustration Viera Larsson



Övningar

En viktig uppgift för SMC är att förbereda och utveckla brandskyddsarbetet genom att genomföra övningar på depåerna. SMC genomför varje år fem till åtta stora övningar. Övningarna genomförs i samarbete med den lokala räddningstjänsten, oljehamnen och depåansvariga. Förberedande diskussioner hålls regelbundet innan en praktisk övning genomförs. Baserat på erfarenheterna från övningarna och de diskussioner som förs med lokal räddningstjänst och ansvariga för anläggningarna utarbetas insatsplaner både för SMC och för den lokala räddningstjänsten för hur en insats ska göras för olika brandscenarios. SMC:s koordinatörer har tillgång till datorbaserade hjälpmedel för att simulera olika brandsituationer.

Övningar har genomförts en eller flera gånger på samtliga depåorter i landet. Övningsfrekvensen varierar mellan ett och sex år beroende på depåernas storlek och omfattningen av verksamheten på orten.



Beräkning av brandsenario med hjälp av PIPA (Pre Incident Planning Assessment).

SMCs utrustning kan transporteras med flyg. Bilden visar räckvidden för 2 respektive 4 timmars flygtid.



Insatser

SMC:s uppgift är att släcka eventuella cisternbränder på oljedepåer. Utrustningen är också användbar i andra sammanhang och har utnyttjats vid flera tillfällen vid stora bränder eller olyckor t ex skogsbranden i Tyresö 1999, urspårning av gasoltåg i Borlänge 2000, kemikalieolycka i Venezuela 2000, brand i däcklager i Malmö 2001 och brand i batterilager i Landskrona 2001.

Larmrutiner

SMC larmas via SOS alarm av ansvarig räddningsledare på brandplatsen. Efter larm ska SMC vara på väg mot brandplatsen inom 30 minuter.

Sammanfattning

Med SMC och den utrustning som man förfogar över och med professionell specialutbildad personal från räddningstjänsterna har Sverige idag kapacitet att släcka allvarliga bränder i oljedepåer. Tack vare flexibiliteten att transportera och använda utrustningen är det också möjligt att utnyttja denna resurs även utanför Sveriges gränser.

Basdata

Datum	1998-11-05
Plats	Esbjerg, DLG högsilolanläggning
Typ av silo	Betongsilo (23 celler)
Storlek	85 m hög, 46000 m ³ (23x2000 m ³)
Fyllnadsnivå vid brand	17 av 23 celler fyllda, brandstart i cell 6
Typ av bränsle	Träpellets (cell 6)
Orsak till brand	Självantändning, orsak ej fastställd

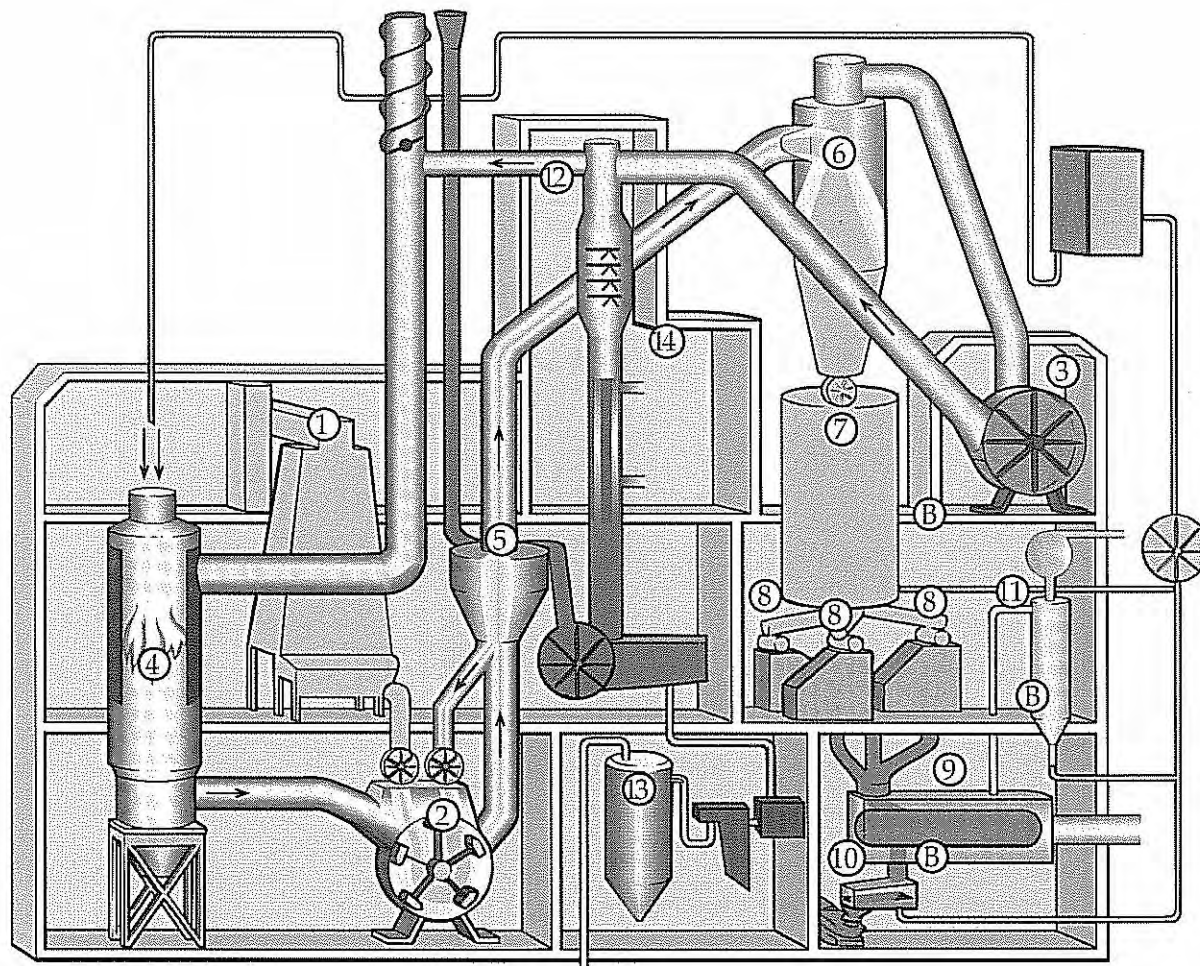
Släckning

Släckmedel	Skum, koldioxid, vatten
Metodik	Släckning från topp, tömning (se nedan)
Insatsens varaktighet	10 månader
Resultat av insats	Silon totalförstörd, revs april 2000
Förbrukad mängd släckmedel	45000 l skum, 19 ton koldioxid, 1 milj m ³ vatten

Kort summering av brand och insatser

Den 5 nov noterades obehaglig lukt och som en följd av arbetet att försöka detektera vad lukten berodde på fick flera ur personalen föras till sjukhus pga symtom av koloxidförgiftning. Brand misstänks ha uppstått i cell 6 som innehöll 1600 ton träpellets och man förbereder tömning av denna. Tömning inleds 7 nov med en slamsugare men en rökgasexplosion inträffar vid slamsugaren och tömningen avbryts. Istället planeras en håltagning av väggen till cell 6 på ca 15 m höjd. Sprängningen genomförs den 8 nov. Med jämna mellanrum fylls mellanscum från toppen av cell 6. Den 9 nov rasar en massa sot, aska och träpiller ut genom hålet och skapar en våldsam rökgasexplosion i hålet och flammor med en höjd av 150 m uppstår och en stegbil samt taket på fabriken mitt emot silon antänds. Under de närmaste dagarna övervakas angränsande celler och flera töms efterhand. Olika släcktaktiker diskuteras och den 14 nov har hålen i väggen på cell 6 tätats provisoriskt och koldioxidfyllning påbörjas från toppen. Påfyllning sker i omgångar de närmsta dagarna, i något fall sker fyllning även i botten. Ett nytt försök att tömma cell 6 den inleds den 19 nov genom att spöka ut materialet genom hålet med vattenkanon. På eftermiddagen sker en antändning av utströmmande material och 10-20 m höga lågor uppstår. Därefter inträffar flera explosioner och brand uppstår uppe på siloanläggningens överbyggnad. Under loppet av 3 timmar brann silons 900 m² takkonstruktion upp vilket medförde antändning av flera celler genom nedfallande glöd. Detta är inledningen till en mycket långdragen insats med ått försöka övervaka situationen och styra åtgärderna med kontinuerligt mätning av rökgaser och temperatur, försöka tömma ut material från de olika cellerna, samt försöka dämpa/släcka erhållna bränder med mellanscum, koldioxid. Den 26 augusti 1999 förklaras branden släckt och den 16 april 2000 välter man silon med hjälp av dynamit. Totalt var 695 personer involverade i insatsen och över 16000 mantimmar åtgick. Det totala skadebeloppet uppgick till DK 56,2 milj. Undersökningar gjorda av Beredskabsstyrelsen i Danmark indikerar att risken för självantändning troligen är underskattad vid höglagring av träpellets

Referenser: Rapport "Silobranden på Esbjerg Havn den 5. november 1998", Beredskabsstyrelsen 2001



Processen – från råvara till träpellets

Råvaran matas in via en inlastnings- och en buffertficka (1) till kvarnen (2), där den mals ned till fint pulver. Här tillförs också heta rökgaser från en hetgasgenerator (4) för att torka materialet.

Efter maltorkningen transporteras pulvret genom torksystemet av en fläkt (3), vidare via en sikt (5) där överstort pulver återförs till kvarnen. I cyclonen (6) avskiljs det färdigtorkade pulvret från rökgaser och vattenånga.

Därefter mellanlagras pulvret i en buffertsilo (7) som sedan matar pelletsmaskinerna (8). I dessa pressas pulvret genom hålmatriser till pellets som är ca 100°C varma.

I luftkylaren (9) kyls den varma pelletsen till lämplig lagringstemperatur. Före lagringen av slutprodukten frångöras en finfraktion i en vibrationsikt (10).

Som bränsle (B) till hetgasgeneratorn återvinns både damm som medföljer

kylluften(11) och den finfraktion som avskiljs vid siktningen (10).

Huvuddelen av rökgaserna och vattenången som bildas vid torkningen återförs till hetgasgeneratorn för att återupphetas. En mindre andel leds via en rökgasrening(12,13) ut till fria luften. I denna reningsprocess kondenseras vattenången i en värmeväxlare (14) som överför värmen till det kommunala fjärrvärmenätet.