

Henry Persson
Per Blomqvist

Släckning av silobränder

SP-Arbeitsrapport 2004:16
Brandteknik
Borås 2004

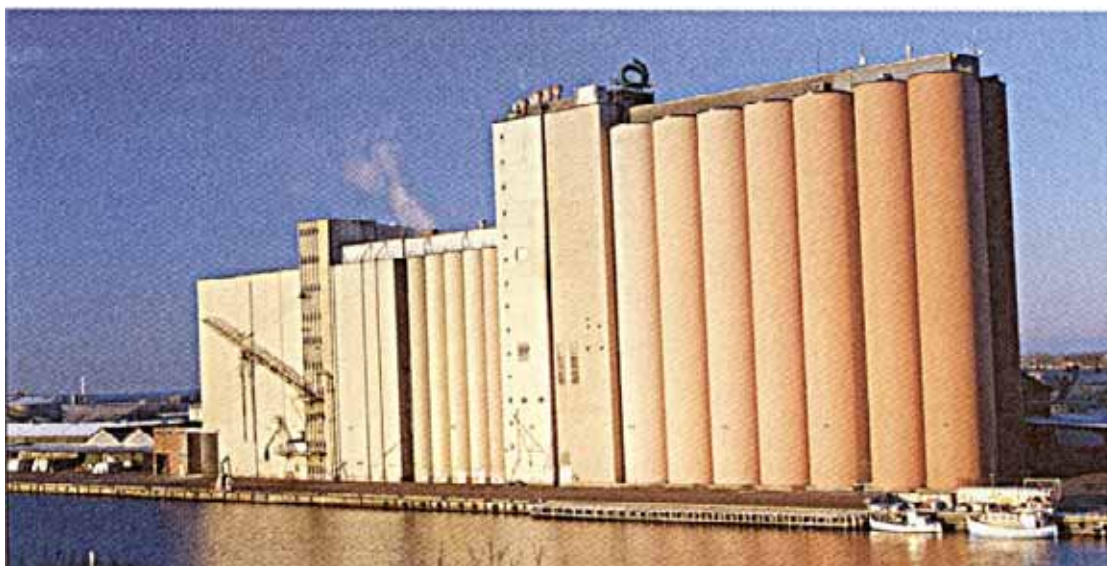


Foto: Lantmännen

Abstract

Suppression of fires in silos

This report gives an overview of experience and knowledge related to fires and explosions in silos. The report focus primarily on detection and suppression technique but is also giving an overview of laws, regulations and recommendations, both in and outside Sweden.

The report further gives an overview of various types of silos, common risks and how these should be eliminated. Based on experience from real fire incidents and some research projects, recommendations are given about extinguishing operations.

This report is intended to form a basis for educational material to be compiled by the Swedish Rescue Services Agency.

Key words: Silos, fire suppression, detection, dust explosions

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Arbetsrapport 2004:16

Borås 2004

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP-AR 2004:16

Postal address:
Box 857,
SE-501 15 BORÅS, Sweden
Telephone: +46 33 16 50 00
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	3
<u>Förord</u>	5
<u>Sammanfattning</u>	6
1 Inledning och bakgrund	8
2 Riktlinjer och rekommendationer	9
2.1 Danmark-Beredskabsstyrelsen	9
2.2 NFPA standarder	10
2.3 NRAES-18 Extinguishing Fires in Silos and Hay Mows	12
2.3.1 Konventionell ensilagesilo	12
2.3.2 Gastät silo	13
2.4 BRANDFORSK-projekt "Detection and Suppression of Smouldering fires in Industrial Plants"	14
2.5 Extinguishing Smouldering Fires in Silos	15
3 Beskrivning av olika silotyper	16
3.1 Lantbruksilor	16
3.2 Silo för förvaring inom industrin	17
3.3 Silo för bränslehantering	18
3.4 Silor i spannmålslager/foderfabriker	19
4 Silobränder	21
4.1 Självuppvärmning	21
4.2 Dammexplosioner	22
4.3 Statistik över silobränder	26
5 Faror med silobränder	28
5.1 Explosionrisk	28
5.2 Toxiska gaser	29
5.3 Rasrisk och kvävning	29
5.4 Brandspridning	29
5.5 Övrigt	30
6 Förebyggande åtgärder för att undvika brand i silos	31
6.1 Ensilagesilo	31
6.2 Industriella silor	31
6.3 Riskanalys som grund för att prioritera åtgärder	32
7 Släckning av silobränder	33
7.1 Större siloanläggningar	33
7.2 Lantbrukssilor/småsilor	34
7.3 Gastäta silor	35
7.4 Tömning av brandutsatt silo	35
8 Slutsatser och rekommendationer	37
9 Referenser	38

Annex A-Exempel på inträffade bränder i industrisilor i Sverige	39
Annex B-Erfarenheter från ensilagebränder	53
Annex C- Olycksrapportering gällande silobränder och dammexplosioner i Industrial Fire World	54

Förord

Föreliggande rapport har utarbetats på uppdrag av Räddningsverket med syftet att utgöra underlag för framtida utbildningsmaterial kring bränder och släckinsatser i siloanläggningar. Under projektets gång har värdefull hjälp erhållits från Lars Larsson och hans kollegor på Lantmännen som också ordnat studiebesök på några olika anläggningar.

Sammanfattning

Rapporten ger en översikt av de erfarenheter och kunskaper som finns angående bränder och explosioner i siloanläggningar. Rapporten är främst inriktad mot detektions- och släckproblematiken men ger även en översikt av vilka lagar, förordningar och rekommendationer som finns, både inom och utom Sverige.

Rapporten ger också en översikt av olika förekommande silotyper, vanligt förekommande risker, och hur dessa skall elimineras. Baserat på praktiska erfarenheter från inträffade bränder och till viss del vissa forskningsinsatser ges råd kring släckinsatsens utförande.

Rapporten är avsedd att bidra till en ökad kunskapsnivå hos den kommunala räddningstjänsten men också som grund för ett utbildningsmaterial att användas i Räddningsverkets kompetensutbildning. Läromedlet skall också kunna användas vid bränder i siloanläggningar som ett beslutsstöd för räddningsledaren.

Denna sida (6) skall vara blank!

1 Inledning och bakgrund

Silolagring av olika produkter förekommer inom en rad olika verksamhetsgrenar. Silos kan variera från endast några 10-tals m³ till stora komplex med totala lagringsvolymerna på 50 000-100 000 m³.

Inom jordbruket används mindre och medelstora silos för bl a konservering av foder, lagring av egen spannmål eller färdigt foder i t ex pelletsform.

I större spannmålslager sker lagringen oftast i mycket stora och höga silobyggnader utförda i betong bestående av flera siloceller. Även på foderfabriker finns denna typ av mycket stora betongsilokomplex för lagring av vissa råvaror i kombination med ett mycket stort antal silos i varierande storlek som mellanlager och slutförvaring av färdig produkt. Dessa anläggningar kompliceras dessutom av ett mycket omfattande transportsystem inom anläggningen bestående av framförallt bandtransportörer och elevatorer för transport av materialet.

Inom träindustrin används silos av varierande storlekar för förvaring av flis, sågspån, slipdamm, etc. Också inom tillverkningsindustrin används silos för förvaring av olika råvaror, t ex inom plastindustrin förvaring av plastgranulat och andra tillsatser.

Inom energiproduktionen ökar användningen av bio- och returbränslen vilket lett till ökad frekvens av silos på dessa anläggningar. Silon är i många fall ett mellanlager, lagringen sker först i planlager varefter det mellanlagras i silos för att sedan automatiskt matas vidare in i pannsystemet.

Vid lagring av många finfördelade fasta organiska material i silo föreligger risk för självantändning. En annan vanlig orsak till antändning är när heta metallföremål kommer in i silon och startar glödbränder. Brand i en silo innebär en överhängande risk för dammexplosion som kan leda både till stora materiella skador och till omfattande personskador eller dödsfall. Risken för dammexplosion måste därför beaktas med största omsorg i samband med räddningstjänstens insats vid en brand.

Betydande insatser för att finna orsakerna och förutsättningarna för självantändning har genomförts och inom ett CECOST-projekt (finansierat bl a av Energimyndigheten och SRV) har en sammanställning gjorts av olika teoretiska modeller och experimentella metoder [1]. Däremot är möjligheterna att detektera och släcka glödbland undersökta i betydligt mindre omfattning. Betydande praktiska erfarenheter finns men en inventering och sammanställning av kunskaper saknas.

Målet med detta projekt är att sammanställa och bearbeta befintlig erfarenhet och kunskap om bränder/explosioner i siloanläggningar. Vidare skall metoder och teknik för att detektera och släcka bränder i silon sammanställas. Denna kunskap skall användas dels för att höja kunskapsnivån hos den kommunala räddningstjänsten men också som grund för ett utbildningsmaterial att använda i Räddningsverkets kompetensutbildning. Läromedlet skall också kunna användas vid bränder i siloanläggningar som beslutsstöd för räddningsledaren.

2 Riktlinjer och rekommendationer

Några specifika regelverk för siloanläggningar finns inte i Sverige. Däremot finns ett antal regler där delar av dessa har direkt koppling till silor och som måste beaktas.

Det kanske viktigaste regelverket är Arbetsmiljöverkets författning 2003:3, "Arbete i explosionsfarlig miljö" [2] vilken trädde ikraft 31 juli 2003. Samtidigt upphävs Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, AFS 1981:5, om dammexplosioner. Tillämpningsområdet beskrivs enligt följande: "Dessa föreskrifter gäller där någon i arbetet kan utsättas för fara orsakad av explosionsfarlig miljö i byggnader, lokaler, utrustningar eller andra tekniska anordningar och på arbetsplatser i övrigt där explosionsfarlig miljö kan förekomma". Vissa specifika områden är dock undantagna där det finns andra specifika föreskrifter. Där explosiv miljö kan förekomma skall åtgärder vidtas vilka skall vara grundade på en riskbedömning av en kompetent person. I detta arbete ingår bl a att klassificera utrymmena i olika zoner beroende på hur ofta explosiv miljö uppstår och hur länge denna varar. Beroende på detta skall sedan den utrustning och skyddssystem som installeras väljas enligt de kategorier som anges i Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, AFS 1995:5, "Urustningar för explosionsfarlig miljö" [3].

AFS 2003:3 innehåller även allmänna råd som är mycket viktiga att ta del av då de ger en bra beskrivning av var och hur olika explosiva miljöer kan uppträda. När det gäller silor så poängteras vikten av att i förväg ha upprättat en insatsplan för släckning av branden då det annars finns stor risk för bl a dammexplosion om glödbranden friläggs. Vidare framgår att olika material/damm kan ha olika beteende och man rekommenderar därför att utföra sk dammexplosionstester där man bl a får fram information om lägsta tändenergi samt maximalt explosionsövertryck. Flera olika europastandarder finns för bestämning av dessa egenskaper och oftast sker provningarna i olika småskaleutrustningar. I AFS 2003:3 hänvisas även till föreskrifter från andra myndigheter samt olika standarder vilka kan vara relevanta i sammanhanget.

Andra regler som inte har direkt anknytning till brandproblematiken men som mycket väl måste beaktas både i det dagliga arbetet men även vid en släckinsats är;

- Arbetarskyddsstyrelsens meddelande MD 74_04 "Lagringsanordningar för massgods" [4]
- Arbetarskyddsstyrelsens författningar AFS 1981:15 "Skydd mot skada genom ras" [5]
- AFS 1993:3 "Arbete i slutet utrymme"[6].

2.1 Danmark-Beredskabsstyrelsen

I Danmark regleras brandfarliga verksamheter i Beredskabsloven (§33) och i tekniska föreskrifter utgivna av Beredskabsstyrelsen [7] finns relativt detaljerade krav för olika typer av verksamheter. Föreskrifterna består av kapitel 1-10 som är generella för alla typer av verksamheter och upplag medan kapitel 11-15 innehåller tilläggskrav för specifika verksamheter. Träbearbetning och träupplag behandlas i kap 11, plastbearbetning och plastupplag i kap 12, korn- och fodervaruverksamheter i kap 13, framställning och lagring av mjöl i kap 14 och vissa brandfarliga verksamheter och upplag i kap 15. I kapitel 11-14 finns specifika avsnitt som berör siloanläggningar för de olika verksamheterna och framför allt i kap 13-14 finns relativt detaljerade krav på utformning, storlek, teknisk utrustning, mm för de större siloanläggningar som är vanliga inom jordbruksindustrin.

För siloceller större än 10 m³ finns krav på en explosionsavlastning i silotoppen motsvarande 15% av silocellens horisontella area, dock minst 0,3 m². Silos med en volym på mer än 500 m³ skall placeras så att minst 25% av cellens utvändiga yta är en del av anläggningens yttervägg, detta är för att ge åtkomlighet för kylning i händelse av brand. I vissa tillämpningar krävs fast installerad temperaturövervakningsutrustning med larm till kontrollrum.

När det gäller brandsläckning så är föreskrifterna uteslutande inriktade mot användning av skum från silotoppen. Vidare är grundkravet att silocellerna skall kunna nödtömmas direkt ut i det fria. I det fall detta inte är möjligt skall utrymmet under silon vara välventilerat, ha en dörr direkt ut i det fria och man skall ha tillgång till ett nödtömningsaggregat som möjliggör tömning ut i det fria.

Vid den mycket omfattande branden i siloanläggningen i Esbjerg 1998 [8] kombinerades skuminsatsen också med fyllning av koldioxid från toppen. Denna brand visade dock på många av de problem som kan uppträda vid en silobrand och som kan leda till en totalskada, t ex hängande material inne i silon som förhindrar utmatning, rökgas- och dammexplosioner, brandspridning inom anläggningen, svårigheter att detektera/lokalisera bränder i enskilda siloceller. Branden gav många erfarenheter och enligt uppgift planeras vissa revideringar av föreskrifterna med anledning av detta. Något förslag på dessa förändringar har dock ej publicerats ännu (jan 2004).

2.2 NFPA standarder

Rekommendationer kring siloanläggningar återfinns i NFPA 61 "Standard for the Prevention of Fires and Dust in Agricultural and Food Products Facilities" [9] respektive NFPA 850 "Recommended Practice for Fire Protection of Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations" [10].

Även om NFPA 61 till titeln verkar mest intressant så innehåller denna endast marginell information om brandsläckningsåtgärder. Tyngdpunkten i rekommendationerna när det gäller silos är inriktade mot åtgärder för att förhindra dammexplosioner. Det föreskrivs att silos skall vara försedda med nödvändiga explosionsavlastningar och att det skall finnas luckor som medger inspektion, service, rengöring och användning av effektiv släckteknik. Vad detta egentligen avser berörs endast flyktigt och det som nämns är kontrollerad tömning till en utomhus belägen plats där släckning kan ske. Man rekommenderar också försiktig användning av vattendimma i silotoppen för att binda partiklar i silon. Vidare skall branden lokaliseras med temperaturprober och öppningar skall stängas/tätas för att minimera syretillförseln till silon. Materialflödet till och från silon skall stoppas. Man varnar också för "vatten-gas-reaktioner", vilket kan uppstå om små mängder vatten tillförs glödande material i ett slutet utrymme. Förutsättningen för denna reaktion är att glödhärden håller 700-800 °C och att den initiala kylningen av vattnet inte sänker temperaturen under 600 °C. Under dessa förutsättningar kan vatten sönderdelas i kolmonoxid och vätgas vilket ger en omedelbar förbränning och därmed en kraftig tryckstegring som kan leda till att silon demoleras.

NFPA 850 innehåller också mycket information och rekommendationer kring att förhindra dammexplosioner, tryckavlastningar, etc. Främst åsyftas hantering av kolpulver och här ges lite mer konkreta släckrekommendationer kring silobränder.

När det gäller drift och skötsel rekommenderas att kontinuerligt mäta metangashalten (kolpulversilos) eller kolmonoxidhalten i toppen av silon för att på ett tidigt stadium detektera begynnande bränder. Om man detekterar metangas eller en kolmonoxidhalt som

är mer än dubbelt så högt mot vad man normalt brukar uppmäta så skall silon tömmas för inspektion.

Om en brand utbryter anges i princip två (tre) alternativ

- Manuell insats genom användning av Klass A-skum eller annat vätmedel
- Användning av inerterande gas
- Tömning av silon

Primärt säger man att alla tecken till brand måste vara eliminerade innan man börjar tömma silon. Släckinsatsen är normalt sett en långdragen process som kräver noggrann planering där explosionsrisken från damm och brännbara gaser måste beaktas.

Användning av Klass A-skum har visat sig kunna vara en effektiv släckmetod, speciellt om man med hjälp av t ex en IR-kamera kan detektera lokala glödhärdar. Silon måste då vara åtkomlig så att man kan injicera vatten med A-skum direkt in i den glödande härden. En mer ”generell” användning av vatten rekommenderas inte då detta under speciella omständigheter kan medföra en ”gas-vatten-reaktion” som omnämns i NFPA 61. Vidare avråds från släckning med vattenånga då siloanläggningar oftast är för otäta och att vattenångans höga temperatur i kombination med ökad fuktighet ökar risken för självantändning.

Det andra alternativet är att använda koldioxid eller kvävgas för att inertera silon. Gasen skall företrädesvis injiceras i silons botten (lägre delar) via en förångare så att den förs in i gasfas. Påföringshastigheten skall vara relativt låg, men måste naturligtvis vara tillräcklig för att kompensera för eventuella läckage (och absorption i kolet).

Innan fyllning påbörjas måste man försäkra sig att ledningar är ordentligt jordade för att undvika statisk elektricitet. Initiellt skall gas föras in i utrymmet i silotoppen för att undvika att man erhåller en explosiv atmosfär, därefter startar injicering via silobotten. Botteninföring är viktig då man lätt får en skorstenseffekt i silon vilket gör att gasen får svårt att tränga ner i materialet och fylla hela silon. För att säkerställa en inert miljö i toppen skall med jämna mellanrum ytterligare toppfyllningar ske. Erfarenhet visar att en koldioxidkoncentration på 65% är tillräcklig för att ge erforderlig inertering. På grund av svårigheter med exakta påföringsmängder och fördelning innebär det dock i praktiken att man i större delen av silon uppnår nästan 100 % i koldioxidkoncentration. Eftersom det är svårt att undvika en viss grad av läckage får man räkna med att stora mängder gas åtgår. Erfarenhetsmässigt (antas att det gäller en kolsilo) visar att man bör beställa en koldioxidmängd som motsvarar 3 gånger silons bruttovolym. Som dimensionerande fyllnadsmängd föreslås 0,52 m³ /kg, dvs 1,93 kg/m³ (8,3 ft³/lb) koldioxid. För en silo med bruttovolymen 850 m³ (30000 ft³) krävs alltså 2550 m³ koldioxid, dvs ca 5 ton. Om tankar/flaskor används med flytande koldioxid måste man lägga på en ytterligare mängd eftersom dessa inte kan tömmas helt. På grund av kvävningensrisken från ev läckande koldioxid måste erforderliga avspärningar göras runt aktuell silo.

Även kvävgas kan användas och påförs då i princip som koldioxiden. En viktig skillnad är dock att kvävgasen i princip har samma densitet som luft vilket gör att den inte lika lätt tränger undan luften som koldioxid. Vid injicering av gas i silobotten måste man därför ha ett större antal injiceringspunkter för att säkerställa en jämn distribution av gasen. Detta innebär att det åtgår mer injiceringsutrustning och mer gas jämfört med koldioxid.

Tömning av silon är en riskfylld och smutsig operation. Risken för dammexplosioner är överhängande, och för att minska denna kan toppen av silon fyllas med lättskum.

2.3 NRAES-18 Extinguishing Fires in Silos and Hay Mows

Rekommendationen NRAES 18 [11] är avsedd som guide till räddningspersonal kring bekämpning av bränder i vertikala ensilagesilos inom jordbruket. Nedan ges en summering av de råd som ges för silobränder.

Det första man måste göra är att bestämma om silon är av konventionell typ eller är en sk gastät silo (oxygen-limiting). Riskerna för insatspersonalen är helt annorlunda och därför måste detta klargöras direkt.

2.3.1 Konventionell ensilagesilo

Silobränder har normalt sett ett långsamt förlopp och branden kan pågå i dagar, veckor eller to m månader. Det finns därför i de allra flesta fall god tid till att beakta säkerhetsaspekterna vid insatsen och att ev söka råd hos expertis.

När det gäller säkerheten bör man beakta att;

- Att instruera lantbrukaren att inte själv gå in i silon för att undersöka brandorsaken
- Alltid använda skyddsdräkt och andningsapparater vid arbete i eller direkt anslutning till silon.
- Att stänga av/koppla ifrån all elektrisk utrustning till silon innan någon går in i silon.
- Att förse personal med livlina och att alltid ha back-up personal utanför silon
- Att alltid ta med någon form av gångplan (stege, brädor, etc) in i silon för att minska risken för att falla ner i dolda glödhårdar

Erfarenhetsmässigt uppstår de flesta bränder i materialet inom 3 m från toppen. Allra vanligast är inom området 1,2-1,8 m ner (4-6 ft). Bränder kan också uppstå i anslutning till utlastningskanalen (silo chute) och utlastningsluckorna.

För att minska intensiteten hos en brand bör man täta eventuella öppningar, utmatningsanordningar och luckor. Risken för spridning av branden till angränsande byggnader, t ex från glöd och gnistor, måste också övervägas. Vid överhängande fara bör angränsande byggnadsdelar vätas och djurstallar utrymmas. Om det brinner öppet på silons yta är den första åtgärden att dämpa ner branden med vattenstålar, antingen från toppen eller via utlastningsluckor. Försök att lokalisera branden genom att se ev färgförändringar på manteln eller genom att använda en IR-kamera. Vissa bränder kan vara lokaliserade längre in i materialet och syns därmed inte på en IR-bild.

Är lokaliseringen inte tydlig från utsidan måste man gå in i silon och köra ner en temperatursond i materialet. Observera att detta kan innebära stora risker om det finns dolda glödhårdar som skapat stora håligheter. Lägg därför alltid ut en stege eller plankor att gå på för att fördela lasten samt använd livlina och räddningsdräkt plus andningsapparat. Temperatursonden kan bestå av ett ½” rör försedd med en spets med 4 hål, 4-5 mm i diameter. Sonden kan tillverkas av flera rörsektioner i lämpliga längder som gängas ihop allt efter behov. Sonden körs ner i materialet i ett rutnäs med ca 0,9 m (3ft) avstånd. För att hålla ordning på positionerna är det lämpligt att dela in silon i form av en klocka där man börjar kl 12:00 och därefter arbetar sig runt ett varv. En termometer eller ett termoelement sänks ner i röret vid varje position och är temperaturen

under 60°C är det inget problem, mellan 60-75 °C bör man kontrollera igen inom två timmar och är det över ca 80 °C är det indikation på brand eller risk för brand.

I detta läge dras termometer/termoelement ur och en vattenslang ansluts till proben och vatten injiceras på det aktuella stället. Att spruta vatten upp på ytan ger dålig effekt vid dolda bränder då vattnet har en tendens att leta sig ner i kanaler längs väggarna etc. Injicera vatten långsamt och vid misstänkta glödbränder flyttas proben endast 30-60 cm varje gång. Applicera vatten ca 30 sekunder i varje position. Om för mycket vatten körs in hastigt i en glödhård kan detta resultera i kraftig ångbildning och under extrema förhållanden orsaka en "vatten-gas-reaktion". Primärt injiceras vatten från toppen av materialet men i vissa fall kan det också vara aktuellt att injicera vatten genom hål i siloväggen.

När branden har släckts tas materialet ut ur silon på lämpligt sätt, åtminstone ner till en nivå under de glödbränder som man funnit. Under släckningsarbetet kan man ha missat någon glödhård och det är därför viktigt att utlastningen sker under kontinuerlig uppsikt och med släckresurser i beredskap. Tänk på att alltid använda andningsapparat. Notera också att motorer etc. till utlastningsanordningen normalt sett inte är gjord för att gå kontinuerligt. Det ökade vatteninnehållet ökar dessutom belastningen ytterligare. Kör därför utlastningsanordningen i sekvenser och låt den svalna däremellan. Så fort någon går in i silon skall arbetsbrytare till utrustningen slås ifrån och låsas.

Det ensilage varit direkt involverat eller upphettat för mycket har det tappat allt näringsvärde och måste slängas. Det injicerade vattnet kan också laka ut ensilage och sänka näringsvärdet, branden kan också ha tillfört lukt/smak som gör att djuren ratar fodret. Ensilage under det brandskadade området är dock oftast opåverkat och därmed användbart. För att verifiera fodrets näringsinnehåll rekommenderas att man genomför en laboratoriekontroll.

2.3.2 Gastät silo

Självantändning i gastäta silos är mycket ovanligt. En brand i en sådan silo kan dock skapa mycket stora risker. Om det finns någon form av tändkälla så är det bara bristen på syre som förhindrar en explosion. I vissa fall har glödbränder självslocknat pga syrebrist. Allvarliga olyckor har dock inträffat i USA där brandmän omkommit eller skadats allvarligt. Det finns alltid en viss syrehalt i silon, ofta omkring utlastningsanordningen, och i silotoppen mellan materialet och silotaket. Det kan också finnas läckor på grund av undermålig skötsel, läckande inspektionsluckor, sprickor i materialet, etc. som medför syresättning av silon. Vanligast är att lantbrukaren glömt/struntat i att stänga toppluckan efter fyllning. Bränder i gastäta silos upptäcks vanligen genom att det kommer ut bränt/glödande material via utlastningsanordningen eller att det kommer rök från silotoppen.

Bränder i gastäta silor är extremt farliga och inga åtgärder får vidtas som medför någon som helst syresättning av silon. Tom luft som dras med i vattendroppar eller som finns bundet i skum kan vara tillräckligt. Använd därför aldrig vatten eller skum vid dessa bränder. Det rekommenderas starkt att ta direkt kontakt med tillverkaren för att få ytterligare information om silokonstruktionen och ev annan hjälp.

Kontrollera alla luckor så att dessa är täta så att inget syre får tillträde. Om det ryker eller kommer vattenånga från silotoppen eller mullrar från silon, lämna en taklucka stängd men **oreglad** så att denna fungerar som tryckavlastning. Att hålla silon helt tät i 1-3 veckor kan vara allt som behövs för att släcka branden. Under denna tid måste silon hållas under uppsikt för att se förändringar i temperatur, rökutveckling etc.

Om branden inte släcks inom 3 veckor genom att hålla silon helt stängd, är injicering av flytande koldioxid eller kvävgas de alternativ som återstår. De flesta silor har en dränering i botten. Här går det oftast att koppla på lämpliga rördelar så att en gasslang kan anslutas. Var mycket noga med att inte släppa in något syre.

Enligt silotillverkaren Harvester [11] sätts gasregulatorn på ca 2,5 bar (ca 40 PSI) och i en tabell anges antalet gasflaskor till olika silostorlekar och rekommendationerna motsvarar ca 0,85 kg/m³ koldioxid. Rekommenderad mängd kvävgas är dubbelt så stor, dvs. ca 1,7 kg/m³. Om gasregulatorn tenderar till att frysa, värm den med en värmepistol eller värmelampa. Efter gasinjicering, vänta åtminstone 48 timmar och notera eventuella tecken på brand. Om sådana fortfarande föreligger, gör en ny fyllning. Beroende på kvalitet och kvantitet kan silon behöva tömmas. Om mindre mängder av dålig kvalitet återstår, finns sannolikheten att branden återantänder igen. Om däremot stora mängder av hög kvalitet kvarstår är sannolikheten för återantändning liten. Observera att gasflaskorna måste vara jordade till silon eller jordspett så att statisk elektricitet ej uppstår. Vanliga startkablar kan användas.

2.4 BRANDFORSK-projekt "Detection and Suppression of Smouldering fires in Industrial Plants"

I början av 90-talet studerade Christian Michelsen Institute (CMI) problematiken med glödbränder inom industrin. I ett första projekt (Part I) [12] gjordes en litteraturgenomgång där man beskrev grunderna till varför självantändning kan uppstå, vilka provningsprinciper som kan användas för att prova självantändningsbenägenheten hos olika material, detektionsprinciper samt självantändningsförsök på några material som tros ha orsakat ett antal större bränder (aluminiumpulver, kol, rapsmjöl samt fiskmjöl).

När det gäller detektion av glödbränder refereras till flera källor som anser att produktion av kolmonoxid (CO) är en av de effekter från en glödbrand som är möjlig att upptäcka tidigast. Det finns dock flera aspekter som man måste beakta, t ex att kol emitterar CO i sig själv vilket gör att man inte kan titta på absolutnivåer utan förändringar över tiden. Man noterar också att CO-produktionen är mycket låg i början av en självoxideringsprocess och att en del av CO-molekylerna kan absorberas av omgivande material. Vidare kan utformning av silon, lufrörelser, etc ytterligare fördröja tiden till man når detekterbara nivåer och då kan oxidationsprocessen redan vara "etablerad". Om man har god kännedom om den produkt som skall övervakas och dess oxidationsprocess finns eventuellt möjlighet att detektera andra specifika gaser eller aerosoler som emitteras eller i vissa fall att övervaka förändringar i luftfuktigheten.

Den andra delen av projektet (Part II) har aldrig slutrapporterats pga att projektledaren lämnade CMI men i ett utkast till rapport [13] ger man en kort beskrivning av några inträffade bränder, vilka lärdomar man kan dra av dessa, bl a ifråga om detektion och släcktaktik, samt förslag till fortsatta forskningsinsatser. Genomgående för nästan alla bränder som refereras (inte bara silobränder) var att branden startade som en självantändning och att man under förloppet gick över till en eller flera dammexplosioner. Ofta var detta betingat av att det fanns tjocka dammlager som virvlades upp på grund av att man t ex öppnade inspektionsluckor eller sprutade in vatten. I flera fall ledde detta först till en mindre explosion som i sin tur virvlade upp ännu mer damm som därefter ledde till en mycket kraftig explosion. I de flesta fall hade man inte något system eller rutin för att detektera begynnande glödbränder, t ex genom gasanalyser.

Baserat på dessa erfarenheter ges följande rekommendationer.

- Utforma anläggningen så att inga tjocka dammlager kan ansamlas och att utrustningen är lätt att rengöra.
- Överväg möjligheten av att använda någon form av detektionssystem för att upptäcka en eventuell glödbrand så tidigt som möjligt.
- Undvik att virvla upp damm och tillse att genomventilationen i utrymmet minimeras, t ex genom ”skorstensverkan” i en silo.
- Vatten har begränsad effektivitet eftersom det ofta har svårt att nå glödhärden. Ofta uppstår kanaler genom materialet vid sidan av glödhärden där vattnet rinner ner utan att göra nytta. Ju större glödhärden är, desto större problem är det att använda vatten.
- Inertering av utrymmet kan nyttjas för att kontrollera och successivt släcka en glödbrand. I större anläggningar bör gasen föras in från botten för att samverka med de termiska krafterna. Utrymmet måste interteras under lång tid, snarare dagar än timmar. För att underlätta en insats borde man redan i konstruktionsskedet förse utrustningen med fasta anslutningar för inertgas.

2.5 Extinguishing Smouldering Fires in Silos

Baserat på de förslag till fortsatta insatser som CMI redovisade i sitt projekt genomförde VTT i Finland under 1997 ett projekt på uppdrag av BRANDFORSK med inriktningen att studera släckning av glödbränder i silos [14]. Projektet var indelat i en teoretisk och en experimentell del. Förhoppningen var att kunna formulera en teoretisk modell för inertering och kylning av glödbränder som underlag för utarbetande av optimal släckningstaktik under olika förhållanden. Under projektets gång insåg man problemets komplexitet och att målsättningen varit för högt satt med hänsyn till projektets ekonomi och den teoretiska insatsen begränsades till att ställa upp ekvationer för värme- och massbalanser för porösa material. Projektet fokuserades istället mot den praktiska delen där man genom försök hade målsättning att undersöka vilka intergaskoncentrationer och inerteringstider som är nödvändiga för att nå släckning. Koldioxid och kvävgas användes men även skum, vatten med tillsats samt rent vatten ingick i provningarna. Totalt genomfördes 44 småskaleförsök (testvolym 1 l) och 9 försök i mellanskala (testvolym 200 l) och baserat på resultaten ges rekommendationer kring släckning av en silobrand vilka kan sammanfattas enligt följande;

1. Innan släckinsats inleds, stäng alla öppningar.
2. Undvik uppvirvling av damm innan släckinsats.
3. Påför ej vatten eller gas i vätskefas.
4. Koldioxid är generellt mer effektiv än kvävgas. (Tungskum kan vara ett alternativ under vissa förutsättningar men kräver ytterligare verifierande försök).
5. Påför gasen från botten/nerifrån.
6. Som ett grovt riktvärde kan man räkna med ett gasbehov av 1,5 kg per m³, beror dock till stor del på utrymmets täthet.
7. Mät temperaturen på flera ställen i centrum av silo. En temperatur under 100°C som dessutom är avtagande är ett tecken på släckning.
8. Syrgaskoncentrationen skall mätas i utrymmet ovanför godset, och en halt runt 10%, max 15% skall upprätthållas under hela släckförloppet.
9. Tömning av silon skall ej påbörjas innan man är helt säker på att alla glödhärdar är släckta.
10. Släckning av silobränder är en långsam process som tar flera timmar, oftast flera dagar i anspråk..

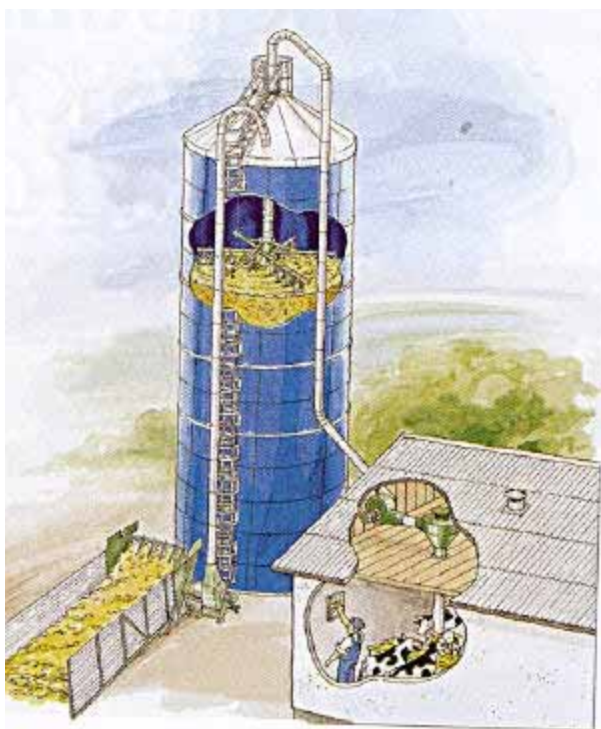
3 Beskrivning av olika silotyper

3.1 Lantbruksilor

Användningen av ensilage som djurfoder har ökat inom lantbruket då det ger förutsättningar för en rationell hantering samtidigt som man uppnår högt näringsvärde hos fodret genom den konserveringsprocess fodret genomgår. Ensilering kan ske i plansilo, i rundbalar eller i tornsilo.

I detta projekt är endast tornsilor av intresse och även om ensilagesilor är vanligast förekommer även andra användningsområden inom lantbruket, t ex förvaring av spannmål eller färdigfoder. Ensilagesilos kan ha en höjd upp till ca 25 m.

Vanligtvis är silon tillverkad i plåt och står uppställd på en gjuten betongplatta. Inläggning sker med hjälp av ett fläktsystem som via rör transporterar upp fodret till silotaket varefter det faller ner i silon. I silon finns en s.k. fylltömmare som vid inläggningen fördelar och packar fodret så att en så kompakt och luftfattig lagring som möjligt erhålls. Vid uttagning av silon arbetar fylltömmaren i omvänd riktning och river av och matar in fodret mot centrum ett insugningsrör av teleskoptyp kopplat till en sugfläkt. Fodret sugs upp i röret och förs till fodervagnen i stallet, se Figur 1. Silotornen har en utvändig stege och är försedda med stora inspektionsluckor på olika höjd för att enkelt medge inspektion/tillträde till silon oavsett fyllnadsnivå. Silon skall normalt sett vara så tät som möjligt så att lufttillträdet till det lagrade fodret minimeras. Direkt efter inläggningen avslutats läggs oftast en s.k. silopressduk med en vattenfylld slang längs siloväggen för att ytterligare minimera lufttillträdet. Både under inläggningen och under konserveringsprocessen bildas mycket stora mängder s.k. silogas bestående av främst koldioxid och kväveoxider vilket också tränger undan syret i silon. Detta gör det mycket farligt att gå in i silon eller t o m farligt att stå med ansiktet i närheten av en silolucka när denna öppnas. Även om urtagningen sker med fläkt och detta innebär en luftomsättning i silon så skall man ändå vara mycket försiktig om man måste gå in i silon. Generellt skall mycket stor försiktighet alltid iaktas så länge det finns foder i silon och Jordbrukstekniska Institutet (JTI) har publicerat en informationsskrift [15] som ger mer detaljerad information kring detta.



Figur 1 Principskiss av tornsilo för ensilage (Svenska Neuro)

Lagring av spannmål kan också ske i en tornsilo. Traditionellt torkas spannmålen direkt efter skörd för att undvika biologiska nedbrytningsprocesser vid den efterföljande lagringen. På senare år finns dock ett ökat intresse för gastät lagring av spannmål vilket innebär flera fördelar, bl a en kostnadsbesparing då spannmålen inte behöver torkas före lagringen. I dessa silor bildas koldioxid av det syre som finns i silon vilket ger en konserverande effekt. Utlastning sker genom botten med en skruv vilket gör att luftomsättningen i silon blir minimal.

3.2 Silo för förvaring inom industrin

Inom många industriverksamheter används fristående siloanläggningar för förvaring av diverse material. Det kan röra sig om sågspån, kutterspån, flis, slipdamm, plastgranulat, kol, kalk, aska, sand, mm, se figur 2. Grundkonstruktionen är oftast den samma som för lantbrukssilor men materialval och godstjocklek kan variera pga storlek och den last som materialet ger. Inmatning sker ofta genom att materialet blåses in t ex från en lastbil, via ett fläktsystem och en cyklon eller elevator/transportband. Utmatning kan ske genom botten via skruv, cellmatare eller en via en ventil t ex ner i en lastbil eller ut på ett band. Generellt sett kan man utgå ifrån att silon är ventilerad och risken för gasbildning beror naturligtvis på typen av lagrat material.



Figur 2 Silor för plastgranulat (Bjurenwall)

3.3 Silo för bränslehantering

Som en följd av ökad användning av bibränslen och returbränslen förekommer numera relativt stora siloanläggningar på vissa kraftverk. Ofta ingår silon som ett steg i bränslehanteringen mellan stora planlager för olika bränsleslag och pannan. Pellets, flis, torv, kol, returbränsle, mm lagras i stora planlager (inomhus, i vissa fall utomhus) och därifrån lastar man, automatiserat eller med hjullastare, bränslet på transportband vilket leds till en siloanläggning. Siloanläggningen utgör här ett mellanlager så att pannan kan gå kontinuerligt medan inlastningen bara behöver ske under normal arbetstid, se figur 3. Det medger också möjlighet att blanda bränsletyperna från de olika planlagren. Materialet matas ut ur silon via en roterande skriv i silon botten och förs sedan via elevatorer/transportband till pannan. Dessa silor har ofta relativt stor diameter men begränsad höjd. För underhåll/rengöring finns oftast en stor port på sidan som medger tillgänglighet för t ex en lastmaskin.

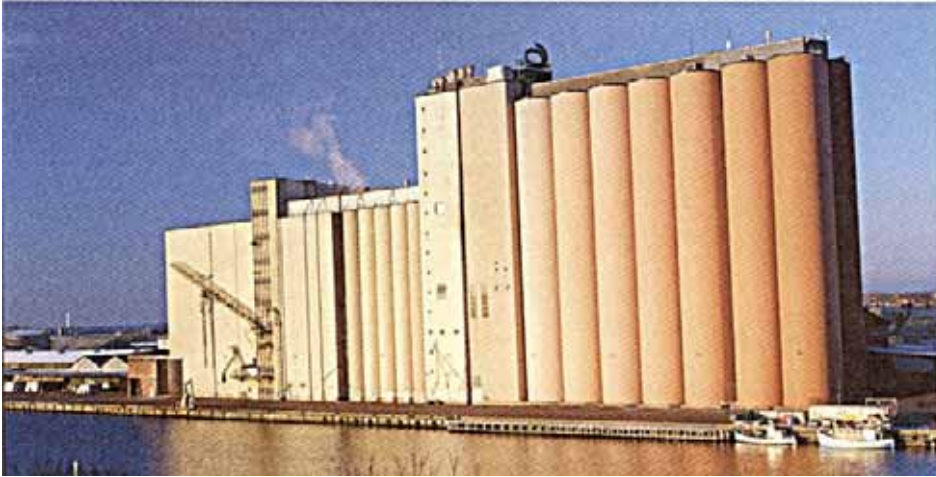


Figur 3 Silor för bränslehantering (Raumaster OY)

3.4 Silor i spannmåslager/foderfabriker

De riktigt stora och mest komplexa siloanläggningarna används oftast för spannmåslagring eller lagring av annan råvara inom foderfabriker. De råvaror som används i störst kvantiteter lagras ofta i höga siloanläggningar utförda i betong. Siloanläggningen kan vara 30-80 m hög och bestå av ett antal siloceller i form av en "bikaka". Inmatning sker via inlastningsfickor där materialet tippas från lastbilar och förs via elevatorer och transportband upp till silotoppen där det matas ner i lämplig cell. Utmatningen sker därefter via en ventil/cellmatare i silobotten ner på ett transportband och via olika elevatorer/transportband till efterföljande processer inom anläggningen. Utöver dessa stora och höga silotorn finns vanligtvis ett mycket stort antal silokomplex inom anläggningen av varierande storlek och utformning. Vissa, relativt stora kan vara utförda i betong på samma sätt som de största silocellerna medan andra med mer begränsad storlek kan vara stålbehållare, avdelade så att de innehåller ett stort antal celler.

Vid tillverkningen matas råvaror från de olika silocellerna, ibland via siktar och kvarnar till en våganläggning där de blandas i rätt kvantiteter enligt fastställd receptur. Därefter går det vidare till omrörare, siktar mm för att sedan ofta mellanlagras i en annan silocell. Därifrån kan det sedan vid lämpligt tillfälle transporteras till en pelleteringsutrustning följt av en värmebehandling (dödar salmonellabakterier) med en efterföljande kylning och vidare till en silocell för färdigprodukt. Därifrån kan det lastas direkt till bil eller gå till en packeteringsanläggning och ett lager.



Figur 4 En foderfabrik innehåller allt ifrån mycket stora silor för lagring av råvaror, till mindre silor inne i anläggningen för mellanlagring och lagring av färdig produkt (Lantmännen)

4 Silobränder

Ett startförlopp till en silobrand kan initieras på flera olika sätt och utgången med en eventuell utveckling till en allvarlig incident är i slutändan en kombination av ett flertal fenomen.

Det initiala förloppet vid en silobrand kan vara en långsam självuppvärmning av det lagrade materialet orsakad av biologisk aktivitet. Vid den högre temperaturen ökar sedan takten på kemiska värmeavgivande reaktioner (oxidation) som höjer materialets temperatur ytterligare. Om förhållandena i silon sedan är sådana att värmen leds bort i långsammare takt än den produceras, kan materialet börja förkolna (pyrolysera). Vid pyrolysen produceras brännbara gaser som vid en tillräcklig koncentration och tillgång på syre kan antändas. Ett exempel är om man öppnar upp en silo innehållande pyrolyserande material, då man i många fall snabbt kan få en ytbrand.

Det finns även andra orsaker till att ett brandförlopp i en silo kan initieras. Möjliga orsaker innefattar externa tändkällor som t ex glödande/varma föremål som tappas ner i silon eller förs in med transportband el dyl. Andra orsaker kan vara varmgång i rörligt maskineri eller eventuellt elektriska fel.

Material som förvaras i silor har ofta en tendens att damma. Dålig städning och underhåll med dammansamlingar i silo och transportenheter ökar risken för brandinitiering från externa värmekällor och varmgång. Dammansamlingar ökar vidare risken för brandspridning. En hög partikelhalt i luften kan också orsaka dammexplosioner. En kombination av pyrolysgaser och hög partikelhalt ger en extra farlig situation.

Processerna självuppvärmning samt dammexplosioner behandlas lite mer detaljerat nedan.

4.1 Självuppvärmning

Självuppvärmning sker i ett material där värme genereras internt. Om sedan temperaturen skenar iväg, eller om temperaturen i materialet endast ökar några få grader, beror på relationen mellan den värmegenererade processen och värmeavledning. Värme kan genereras i organiska material av exoterma (värmeavgivande) kemiska reaktioner, biologisk metabolism, samt genom fysikaliska processer.

Kubler [16] beskriver det sammansatta förloppen för självuppvärmning ledande till självantändning i skogsprodukter:

”Skogsprodukter producerar värme initialt genom fortsatt respiration i levande celler. Vid temperaturer över 40 °C dör träcellerna, men metabolismen hos mikroorganismer fortsätter att producera värme upp till 80 °C. Fortsatt uppvärmning kan ske från vattenadsorption, från hydrolys, men framför allt från långsam termisk nedbrytning (pyrolysis) av trämaterial. Vid temperaturer över 100 °C tar direkt kemisk oxidation gradvis över rollen som den dominerande värmekällan och trämaterial börjar gradvis att förkolna. Oxidationsreaktionen ökar i hastighet med stigande temperatur och kan slutligen leda till förbränning och öppen brand.”

Oxidation är den viktigaste typen av värmeproducerande kemisk reaktion och är normalt en ytreaktion mellan det organiska materialet och luftens syre. Då det handlar om en

ytreaktion är porösa och granulerande material mest känsliga i detta avseende, då de har en stor totalyta eftersom syre kan transporteras in i bulken av dessa material.

Fukthalten på del lagrade materialet är viktigt i flera avseenden. Cellrespiration är en exoterm process som fortsätter även efter skörd av växter eller avverkning av skog. Denna process stoppas emellertid om materialet torkas till under 30 % fukthalt före lagring [17]. Även bakterier och svampar kräver en fuktig miljö för att metabolisera och därmed producera värme. I skogsprodukter med en fukthalt lägre än 20 % sker i regel ingen självuppvärmning [16]. Fukthalten spelar också en viktig roll för materialets värmeledande egenskaper, vilket är viktigt i det fall en självuppvärmning process har kommit i gång. Ett fuktigt material transporterar bort värme bättre än ett torrt material, vidare kan värme transporteras genom att fukt förångas och senare kondenseras.

Överväganden angående en lämplig fukthalt på lagrade material kan exemplifieras av råd som ges i ”NRAES-18 Extinguishing Fires in Silos and Hay Mows” [11] gällande lagring av ensilage och hö vilka återges i tabell 1 nedan. Om fodret lagras med den rekommenderade fukthalten hjälper vattnet i materialet till att absorbera genererad värme. Om fodret är för torrt, kan värmen inte ledas bort tillräckligt snabbt och överhettning med risk för spontan förbränning uppstår.

Tabell 1 Förhållande mellan fukthalt och risk för självantändning för hö och ensilage (NRAES-18)

% fukt i foder	Specifikt för fukthaltsområdet
15-25	Bra område för hö
25-50	Farligt område! Brandrisk i ensilagesilor och hö
50-70	Bra område för ensilage
70-85	Oönskad jäsning

Man kan i vissa sammanhang använda sig av termen vattenaktivitet när man definierar andelen fukt i ett material. Vattenaktiviteten är inte direkt översättbar till vattenhalten i ett material utan kräver tillgång till speciella kurvor och tabeller. Vid en viss fuktighet i luften kan ett material ta upp vatten eller förlora vatten till dess att jämvikt uppstår med en viss vattenhalt i materialet. För varje värde på den relativa fuktigheten i luften har materialet i fråga en viss vattenhalt vid jämvikt. Vattenupptagningen brukar uttryckas i vattenaktivitet (a_w), vilket definieras som [18];

$$a_w = p/p_0$$

där p är materialets vattenångtryck och p_0 är ångtrycket över rent vatten vid en viss temperatur. Sambandet mellan ett materials vatteninnehåll och vattenaktivitet kan uttryckas av sorptionstermer, där mängden adsorberat vatten/torrsvikt material avsätts mot vattenaktiviteten. De olika processer som man här tar hänsyn till är: (1) adsorption och desorption av ett monomolekylärt skikt vatten, (2) bindning av molekylära skikt av vatten till hydrofila grupper, (3) kondensation av vatten i kapillärer och porer.

4.2 Dammexplosioner

Risken för dammexplosion måste alltid beaktas i alla industriella processer där dammbildning förekommer. I boken ”Ignition Handbook” [17] ges en mycket utförlig beskrivning av teorierna kring dammexplosioner. Även i boken ”Dust Explosions” [19]

ges en utförlig beskrivning av de grundläggande förutsättningarna för dammexplosioner, men också många exempel på problem och erfarenheter från olika industriella processer. Nedan följer en mycket översiktlig sammanfattning baserad på dessa två böcker.

Damm kan i princip ge tre typer av antändningsförlopp: lager av damm kan antändas på normalt sätt vid kontakt med en värmekälla, dammoln i luften kan antändas och övertändas, dammoln i luften kan även explodera.

Normalt erhålls en *deflagration* dvs antändningen sker med en flamfront som rör sig med en hastighet som understiger ljudhastigheten. Vid en *detonation* är det istället en tryckvåg som initierar förbränningen, vilket sker med en hastighet som överstiger ljudets.

Mycket av antändnings- och förbränningsbeteendet för dammoln påminner om det som gäller bränsle-/luft blandningar. Precis som för gasblandningar finns en undre och en övre brännbarhetsgräns för partiklar i luft. Att ange specifika gränser är svårt då dessa beror flera faktorer såsom typ av material, partikelstorlek, antändningskällans storlek, etc. Ett annat problem är att olika provningsmetoder kan ge mycket olika resultat. Kemin vad gäller förbränningen av dammoln kan delas upp i tre kategorier:

- Typ 1: Förbränningsreaktionen sker på ytan (heterogen reaktion) och producerar gasformiga förbränningsprodukter. Ett exempel på detta är grafit.
- Typ 2: Förbränningsreaktionen sker på ytan och producerar fasta eller vätskeformiga produkter. Metaller är ett exempel på detta.
- Typ 3: Materialet pyrolyserar först och förbränningen av pyrolyserade produkter sker i gasfas. Detta gäller de flesta organiska substanser.

Huvudprocesserna för att en antändning av Typ 3 skall kunna ske är i princip de samma som för ett fast material:

- materialet (partiklarna) måste upphettas
- värmen orsakar pyrolys
- pyrolysen producerar brännbara gaser
- gaserna blandas med syre i ett brännbart förhållande

Grovt sett spänner sig det brännbara området från 50-100 mg/m³ (undre brännbarhetsgränsen) till ca 2-3 kg/m³ (övre brännbarhetsgränsen) [19]. I figur 5 visas som exempel brännbarhetsområdet för majsstärkelse vid normal tryck och temperatur. Som framgår av figuren ligger brännbarhetsområdet 3-4 tiopotenser över de koncentrationer som normalt gäller hygieniska gränsvärden inom industrin. Detta innebär alltså att en besvärande hög dammkoncentration fortfarande är långt under en nivå som kan leda till en dammexplosion.

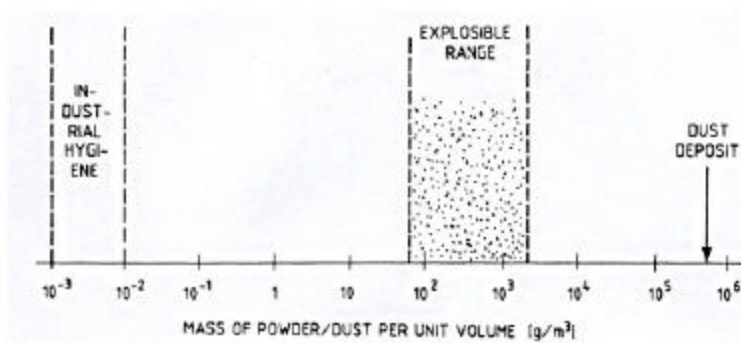


Figure 1.3 Range of explosible dust concentrations in air at normal temperature and atmospheric pressure for a typical natural, organic dust (maize starch), compared with typical range of maximum permissible dust concentrations in the context of industrial hygiene, and a typical density of deposits of natural organic dusts

Figur 5 Exempel på brännbarhetsområde i förhållande till hygiengränsvärden och avlagrat stoft (Eckhoff)

Dammoln som ligger inom brännbart område kännetecknas också av att de har en mycket hög optisk densitet, dvs dom dämpar ut ljus mycket snabbt. Som en grov tumregel säger man att dammkoncentrationen måste vara så hög att man inte kan se sin utsträckta hand framför sig [17]. En annan tumregel säger att ett dammoln av kolpartiklar har koncentrationen ca 40 g/m^3 (dvs under eller i nedre delen av brännbarhetsområdet) när en 25W glödlampa knappt kan skönjas på 2 m avstånd, se figur 6 [19].

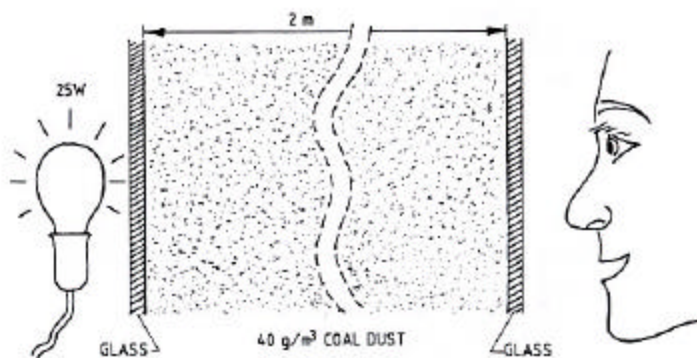
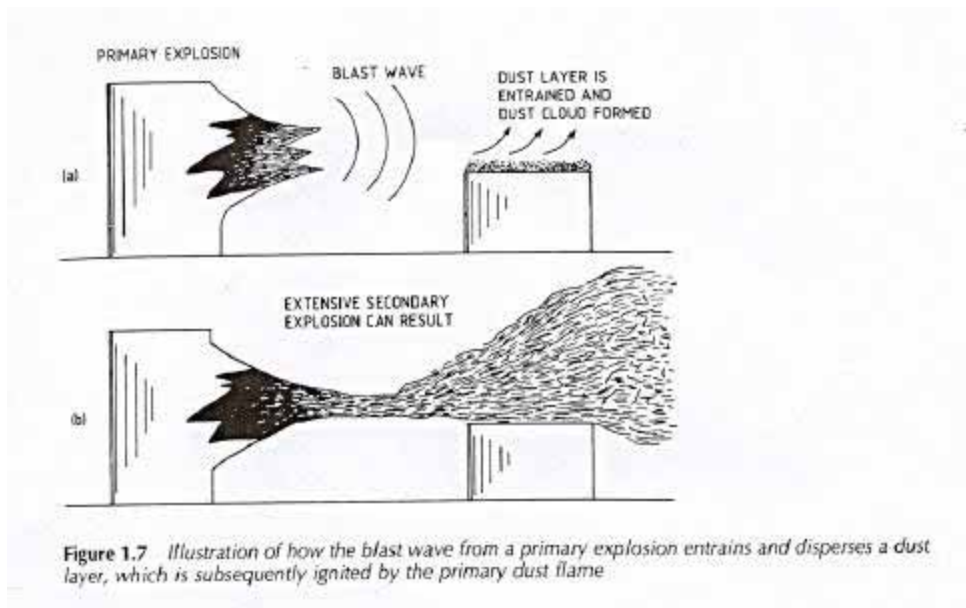


Figure 1.5 A cloud of 40 g/m^3 of coal dust in air is so dense that a glowing 25 W light bulb can hardly be seen through a dust cloud of 2 m thickness

Figur 6 Tumregel för att avgöra stoftkoncentration (Eckhoff)

I en industriell anläggning finner man dessa höga dammkoncentrationer inne i olika processutrustning såsom kvarnar, blandningsutrustningar, transportörer, elevatorer, cykloner, etc. Erhålls en antändning i ett sådant dammoln kallas detta en primär explosion. I många fall leder dock detta till en betydligt kraftigare sekundär explosion då tryckvågen från primärexplosionen river upp avlagrat damm som skapar ett nytt dammoln som antänds av flaman från primärexplosionen, se figur 7. Inom denna typ av industri är det därför av största vikt att försöka förhindra att en sekundärexplosion uppstår. Detta kan åstadkommas genom att förse anläggningen med tryckavlastningsöppningar som avleder tryckvågen och flaman från primärexplosionen ut i det fria.



Figur 7 Exempel på hur en primärexplosion kan skapa en betydligt kraftigare sekundär explosion (Eckhoff)

På samma sätt kan avlagrat damm skapa en farlig situation inne i t ex en silo. Om man oförsiktigt öppnar luckor eller sprutar in i en silo med ett strålrör kan man virvla upp en massa damm som kan leda till brännbar koncentration i hela eller delar av utrymmet, se figur 8. Finns då någon antändningskälla, t ex en glödbrand i materialet kan en dammexplosion bli resultatet. Ett annat förekommande scenario är att man har fått en glödbrand i ett sk ”häng”, dvs material som fastnat på siloväggen. Om detta spettas loss från väggen i försök att bekämpa branden kan ett stort dammoln bildas när det rasar ner med en dammexplosion som följd.

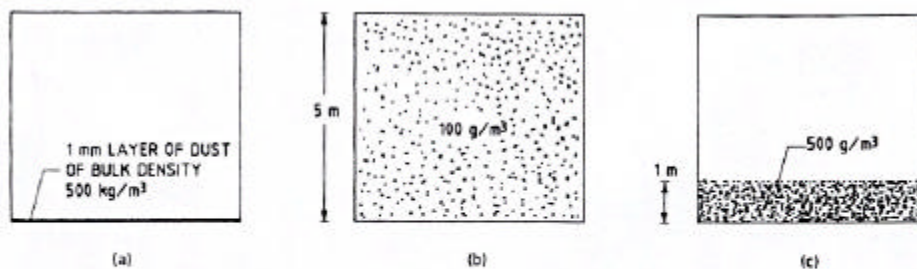


Figure 1.6 Illustration of the potential hazard of even thin dust layers. A 1 mm layer of a dust of bulk density 500 kg/m³ will generate a cloud of average concentration 100 g/m³ if dispersed in a room of 5 m height. Partial dispersion up to only 1 m gives 500 g/m³

Figur 8 Avlagrat damm kan om det virvlas upp leda till brännbar stofikoncentration med en explosion som följd (Eckhoff)

Utöver en ”ren” dammexplosion kan explosionen vara en kombination av varma pyrolysgaser som blandas med plötsligt uppvirvlande partiklar. Såsom tidigare nämnts förekommer också risk för en ”ren” gasexplosion om man öppnar upp en gastät silo med en pågående pyrolys. Atmosfären består då till stor del av bl a kolmonoxid som vid blandning med luft bildar en brännbar gasblandning i silon som kan antändas av den pågående glödbranden.

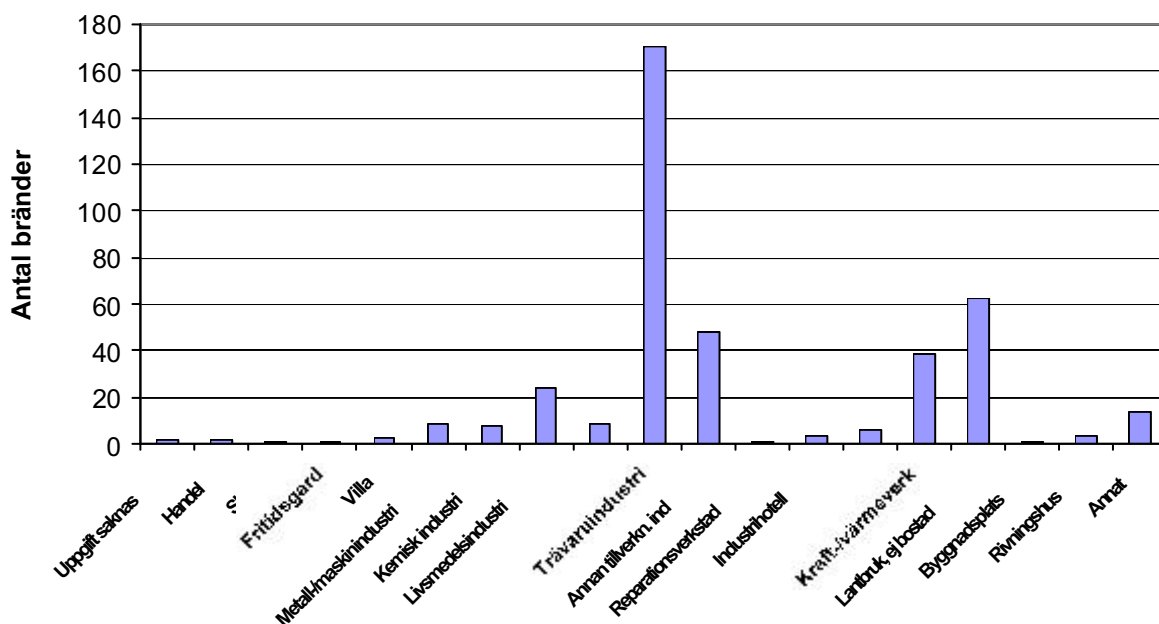
4.3 Statistik över silobränder

Genom den insatsrapportering som görs av räddningstjänsterna till Räddningsverket finns också en viss statistik kring silobränder i Sverige. Även om underlaget är förhållandevis grovt går det att dra vissa slutsatser.

I tabell 2 visas antalet bränder i byggnader per objektstyp för perioden 1996-2001 och där startutrymmet för branden har uppgetts till silo. Av de 395 redovisade bränderna är 270 att hänföra till industriverksamhet varav 156 till träindustrin. Inom lantbruket rapporteras dessutom 63 bränder.

Tabell 2 Antalet silobränder inom olika verksamheter (Räddningsverket)

Fördelning av antal bränder (tot 409) i silor under åren 1996-2002



Ser man till brandorsak (t o m 2003) så är gnistor, värmeöverföring och självantändning de tre dominerande orsakerna, se tabell 3. Explosion anges som orsak i 8 fall och i 79 bränder finns ingen orsak angiven. I 20 fall handlade det om en återantändning vilket möjligtvis indikerar svårigheten att avgöra när det är helt släckt i en silo.

Tabell 3 Brandorsaker till silobränder (Räddningsverket)



Av insatsrapporteringen framgår vidare i grova mått i vilken omfattning brandspridning skett. I de allra flesta fall, 228 av 395 skedde släckning i startföremålet vilken antyder en relativt begränsad skada. I 98 fall släcktes branden i startrummet, i 17 fall i startbrandcellen, i 36 fall i startbyggnaden och i 9 fall har branden även spridit sig till en angränsande byggnad. I 7 bränder saknas uppgift om brandspridning eller släckplats.

5 Faror med silobränder

5.1 Explosionsrisk

Vid alla silobränder måste man primärt beakta explosionsrisken. En explosion inne i en silo är extremt farlig och kan leda till mycket stor materiell förödelse och risken för personskador/dödsfall är mycket stor. Tyvärr finns flera exempel på denna typ av olyckor, både i små och stora siloanläggningar.



Figur 9 Följderna av en dammexplosion i en silo hos Lantmännen i Västerås. 90 m² av yttertakets ovanför silorna revs upp och stora betongblock landade på gården, lyckligtvis utan att någon kom till skada (Lars Höglund/VLT-bild)

Som tidigare nämnts i kap. 4.2 finns flera riskkällor till att en explosion kan uppstå. De två största riskerna utgörs av en dammexplosion till följd av damm som virvlas upp och antänds eller av en gasexplosion i pyrolysgaser från en pågående glödbrand.

Risken för dammexplosion är överhängande vid allt arbete i siloutrymmet då damm som samlats på olika ytor kan virvlas upp och antändas. Pågår en pyrolysglödbrand inne i silon finns stora chanser att denna kan tända ett eventuellt dammoln. Även gnistor alstrade av statisk elektricitet, t ex vid koldioxidfyllning kan orsaka en antändning.

Risken för en pyrolysgasexplosion är speciellt stor i s.k. gastäta silos där gasen kan ansamlas i mycket hög koncentration vid en glödbland. Bland annat bildas kolmonoxid vars brännbarhetsgränser ligger inom intervallet 12,5 till 74 %. Om silon efter en viss tid fyllts med i stort sett 100% kolmonoxid, är sannolikheten mycket stor att man hamnar inom brännbart område om man på något sätt får in syre i silon. Det kan t o m vara tillräckligt att kyla silon utvändigt, vilket leder till ett undertryck som i sin tur gör att erforderlig luft sugas in för att hamna i brännbart område. Finns en glödbland så existerar en tändkälla och en explosion kan vara ett faktum.

Primärt gäller det följaktligen att vid alla insatser säkra miljön inne i silon så att det inte finns förutsättning för en explosion.

5.2 Toxiska gaser

Vid arbete i alla typer av silor måste man beakta risken för att det kan ha bildats toxiska gaser som ansamlats i silon. I en ensilagesilo så ingår denna gasbildning som en del i jäsningsprocessen och här är riskerna väl kända men har trots detta skördat många liv. I ensilagesilos bildas framför allt koldioxid och nitrosera gaser som både kan vara kvävande och ge andra typer av förgiftningssymptom. Speciellt under inläggningen och fram till konserveringsprocessen är avslutad är gasproduktionen mycket kraftig och gaskoncentrationerna kan vara mycket höga och leda till medvetslöshet efter mycket kort exponering. Ur räddningssynpunkt är det inte endast brand som kan leda till en insats i en silo utan även räddningsinsatser av personer som hamnat i medvetslöst tillstånd inne i silon.

5.3 Rasrisk och kvävning

Rent generellt finns alltid risk att sk häng uppstår i en silo. Detta kan bestå av mindre eller större kakor på siloväggen, eller uppstå genom att hela siloinnehållet fastnar så det uppstår ett hålrum i silobotten vid utlastningen. På liknande sätt kan stora hålrum uppstå om det pågått en glödbland i materialet under en längre tid. Risk för att få rasmaterial över sig eller att falla ner i ett hålrum och bli helt eller delvis begravd i material med kvävning som följd måste alltså beaktas noga. Detta är en risk som måste beaktas även om man bär en rökdykarutrustning.

5.4 Brandspridning

En brand i en silo är normalt sett ett långsamt förlopp och det innebär att det finns tid att planera och genomföra släckinsatsen. Även släckförloppet är långsamt och rent generellt handlar det mer om dagar till veckor än minuter och timmar. En initiell brand av mycket begränsad omfattning kan dock få avsevärda konsekvenser om man inte vidtar rätt åtgärder. Oförsiktiga åtgärder kan leda till gas- eller dammexplosion och förutom skadorna från själva explosionen kan det också leda till en betydligt mer omfattande brand i silon. Detta kan i sin tur leda till risk för brandspridning till angränsande celler, lokaler eller byggnader. Tömning av en silo som kan innehålla glödhärdar är också mycket vanskligt, speciellt i större anläggningar såsom foderfabriker och liknande där det kan vara svårt att tömma materialet direkt ut i det fria. Nyttjas befintligt transportsystem finns risk att glöden transporteras ut i anläggningen via bandtransportörer och elevatorer.

5.5 Övrigt

En silo är alltid kopplad till ett in- och utmatningssystem av något slag. Många gånger sker detta via bandtransportörer, fläktar, cellmatare, hydrauliska ventiler, speciella in- och utlastningsutrustningar, etc. Vid en insats är det viktigt att säkra dessa utrustningar och bryta matningen (el, hydraulik, tryckluft, etc) så att de inte kan komma i rörelse av misstag.

Silor är ofta höga konstruktioner där insatsen kräver att man arbetar via lejdare, trappor, hävare, etc. Risken för fallolyckor måste naturligtvis därför alltid beaktas.

6 Förebyggande åtgärder för att undvika brand i silos

Såsom beskrivits i kap 4.1 så kan risk för självantändning uppstå i de flesta lagrade material om förutsättningarna är dom ”rätta”. Därför kan man rent generellt rekommendera att luftväxling genom det lagrade materialet i silor bör minimeras.

6.1 Ensilagesilo

I en ensilagesilo leder lufttillträde till värmeutveckling som under ogynnsamma förhållanden också kan leda till självantändning [15]. Generellt sett bör man därför eftersträva så lite lufttillförsel som möjligt. Därför bör man alltid ha alla luckor och andra öppningar stängda så att möjligheten till genomventilation minimeras. I annat fall kan begynnande värmeutveckling leda skorstensverkan som i sin tur ökar syresättningen och så är man inne i en farlig händelsekedja. Leder syresättningen till en pyrolys bildas i sin tur brännbara gaser som kan ansamlas och vid en antändning leda till en förödande gasexplosion. En vanlig orsak till genomventilation är att vattenlåset till dränageledningen från en ensilagesilo kan torka ut under sommaren. För att undvika detta bör avloppsledningen tätas, t ex med en bit mineralull, så snart pressvattnet dränerat färdigt. Ojämn fördelning av materialet i silon kan också leda till att det uppstår ”luftkanaler” genom materialet som underlättar genomventilation. Vidare bör man se till att tätningarna runt alla öppningar är hela, annars kan det uppstå ett tjuvdrag vid en lucka med en pyrolys som följd.

6.2 Industriella silor

Förutom risken för självantändning, finns inom de flesta verksamheter en risk för att heta föremål följer med transporterat material ner i silon, eller att varmgång i transportsystemet skapar små glödhärdar som följer med materialet. Även gnistbildning i t ex ett fläktsystem pga metallföremål eller stenar kan ge upphov till brand. Heta arbeten i form av svetsning och slipning utgör naturligtvis en mycket stor riskfaktor. Det mest primära för att eliminera dessa risker är naturligtvis att ha bra rutiner för drift och kontroll av anläggningen så att all personal görs medvetna om riskerna.

I vissa fall kan det vara befogat med övervakningssystem som detekterar och ev släcker uppkomna gnistor/glödpartiklar. Olika typer av mycket känsliga och snabba värmedetektorer finns som kan monteras t ex i elevatorer och transportband och som reagerar direkt om någon het partikel passerar. Detta kan i sin tur generera larm, stoppa transporten eller i vissa fall aktivera ett släcksystem i den aktuella utrustningen. I själva silon kan man i vissa fall montera temperaturgivare av olika slag för att eventuellt detektera en uppkommen brand. En begränsning är naturligtvis att man får ett begränsat antal mätpunter i en silo och under olyckliga förhållanden kan det ta lång tid innan en glödhärd upptäcks trots allt. Ett annat problem är att givarna utsätts för slitage av det lagrade materialet med följd att dessa inte fungerar respektive ger höga underhållskostnader.

En annan möjlighet att övervaka silor och som visat sig effektivt är att använda ett gasdetektionssystem [10, 12, 20]. Vid en pyrolys bildas kolmonoxid och genom att regelbundet mäta kolmonoxidhalten inne i silon kan man mycket tidigt se om något misstänkt är på gång. Enligt NFPA 850 [10] rekommenderas att om gaskoncentrationer uppgår till dubbla värdet av den normala bakgrundskoncentrationen så bör åtgärder

vidtas. I vissa fall kan det vara relevant att mäta andra gaser, t ex metangas i kolpulversilos. I många fall kan upptäckten ske så tidigt att ingen riktig förbränning startat och det kan räcka med att köra över innehållet till en annan silocell alternativt använda materialet för att eliminera problemet. Här är det naturligtvis extremt viktigt att hela tiden övervaka tömningen av silon så att inga glödhärdar kommer ut i anläggningen och förvärrar situationen. Är man osäker bör släckåtgärder vidtas först innan silon töms.

Som tidigare nämnts måste risken för dammexplosioner beaktas och det mest effektiva sättet att undvika att dessa uppstår är att ha bra rutiner för städning så dammansamlingar undviks. På t ex foderfabriker lägger man ner ett antal årsarbeten per anläggning i enbart städning/rengöring [21].

6.3 Riskanalys som grund för att prioritera åtgärder

Många siloanläggningar, t ex foderfabriker är mycket komplexa vilket gör det svårt att identifiera de olika risker som verksamheten medför. För att på ett strukturerat identifiera olika förekommande risker krävs att någon form av riskanalys genomförs. Den enklaste varianten är att göra en s.k. grovanalys där man i grova drag försöker identifiera vilka system och moment som innebär allvarliga risker. Därefter värderas sannolikhet och konsekvenser av de olika riskerna för att sedan kunna prioritera åtgärder. I detta arbete är det viktigt att personal, både från produktion och ledning, med stor erfarenhet och kunskap om anläggningen deltar.

I vissa fall kan det vara befogat att göra en mer fördjupad riskinventering där man genom händelseträdsanalys beskriver ett scenarie och där sannolikhet och konsekvens undersöks mer i detalj.

Som ett exempel kan nämnas den riskanalys som genomförts av Jonathan Sjöberg vid Lantmännens anläggning i Helsingborg [22]. Denna riskanalys genomfördes som en del i brandingenjörsutbildningen i kursen ”problembaserad brandteknisk riskvärdering” och innehåller både en grovanalys av hela anläggningen samt en fördjupad riskanalys avseende brand- och explosionsrisker där konsekvenserna beskrivs i ekonomiska termer. Mer generell information kring olika riskanalysteknik, mm finns beskrivet i Räddningsverkets skrift ”Handbok för riskanalys” [23].

7 Släckning av silobränder

Om en brand har etablerats gäller det att vidta så effektiva och säkra åtgärder som möjligt. Såsom bl a nämns i AFS 2003:3 [2] är det mycket viktigt att följa en i förväg upprättad insatsplan så att inga misstag begås som kan leda till dammexplosion eller andra skador. En sådan insatsplan måste naturligtvis anpassas till rådande förhållanden på den aktuella anläggningen. I följande kapitel ges ytterligare rekommendationer, baserade på det underlag som framkommit i projektet, och som kan utgöra en bas för insatsplanen.

7.1 Större siloanläggningar

Om brand misstänks eller har detekterats i en silo, stoppa all in- och utmatning i silon. Denna får ej återupptas innan man är säker på att branden är släckt. Under hela insatsen måste stor uppmärksamhet riktas mot risken för damm/rökgasexplosion.

Tillslut alla inspektionsluckor i silon och täta utmatningsöppningar så effektivt som möjligt. Stäng även till toppen av silon för att minimera genomventilation, regla däremot ingen lucka utan denna skall ligga lös så att eventuellt övertryck/dammexplosion kan tryckavlastas.

Mät halten av syrgas, kolmonoxid och koldioxid (ev brännbara gaser) samt temperatur i silotoppen. Om möjligt ställ upp instrument som kan fjärravläsas och som helst också loggar mätvärdena.

Säkra topputrymmet av silon med koldioxid, mellan/eller lättskum för att förhindra risken för dammexplosion. Påföring måste ske försiktigt så att inget damm virvlas upp och den gas som strömmar ut ur silon pga släckmedelspåfyllningen måste ledas ut i det fria på ett effektivt sätt. Jorda all utrustning för att undvika statisk elektricitet.

Så snart som möjligt, starta fyllning av koldioxid så nära silobotten som möjligt. Helst bör det redan finnas färdiga anslutningar för gasinmatning. Koldioxiden måste tillföras via en förångare så att gasen leds in i gasfas. Påföringen skall ske mycket lugnt med ett lågt matningstryck. På detta sätt undviks turbulens i silon med risk för dammexplosion och dessutom ges gasen möjlighet att penetrera genom det lagrade materialet utan att ”kanaler” uppstår. Observera personriskerna under hela insatsen, all personal i närområdet måste bära skyddsklädsel och andningsapparat. Kvävgas kan också användas men är inte så effektiv som koldioxid och kräver därför mer gas och fler injiceringspunkter [10, 14].

Inerteringen kan anses tillfredsställande när en koldioxidhalt på minst 65% mäts i silotoppen. I praktiken erhålls dock ofta i princip 100% CO₂ i silotoppen men fortfarande kan det finnas områden inne materialet som har lägre koncentrationer. När inerterande nivå uppnåtts i silon behöver släckmedel endast påföras för att kompensera för förekommande läckage så att koldioxid/syrgaskoncentrationen upprätthålls i silotoppen. Detta kan innebära såväl kontinuerligt som intermitterent påföring. I möjligaste mån skall naturligtvis tätningåtgärder vidtas så läckaget minimeras.

Följ utvecklingen av kolmonoxidkoncentration och temperatur i silotoppen. Släckning indikeras av en sjunkande trend och dessa skall ej stiga även när koldioxidpåföringen avbryts. Räkna med att släckinsatsen tar timmar eller dagar för att nå släckning beroende på silovolym och brandens omfattning innan släckinsatsen påbörjades.

När man med säkerhet bedömer branden som släckt, påbörja kontrollerad tömning av siloinnehållet. Tömningen bör normalt sett ej ske med det ordinarie transportsystemet. Risk finns att det fortfarande kan finnas små glödhärdar i materialet och tömningen måste därför övervakas noga av brandpersonal och eventuella glödhärdar släckas med dimstålrör. Av samma orsak skall också koldioxidkoncentrationen upprätthållas i silon för att undvika risken för dammexplosion.

Under helt ideala förhållanden kan man räkna med en åtgång av 1,5-2 kg- koldioxid per m³-bruttovolym [10, 14]. Erfarenhetsmässigt har det dock visat sig att förbrukningen kan bli avsevärt högre vid verkliga insatser på grund av läckage om brandens omfattning är stor, etc. I några av de exempel på inträffade bränder som redovisas i Annex A har koldioxidförbrukningen uppgått till i storleksordningen 7-14 kg/m³. I branden i Arosbygdens anläggning 1982, uppgick dock förbrukningen till 82 kg/m³ och utöver detta användes skum och vatten för att nå fullständig släckning.

7.2 Lantbrukssilor/småsilor

I mindre, fristående silor, t ex inom lantbruket och träindustrin kan även andra släckmetoder vara användbara. Dessa silor står ofta uppställda utomhus, har en begränsad diameter och medger ofta en relativt bra tillgänglighet runt hela mantelytan.

Fortfarande måste man beakta risken för dammexplosion, i vissa fall även rökgasexplosion, varför största försiktighet även krävs vid en sådan insats. Precis som för större silor är den första åtgärden att minimera ventilationen genom silon för att dämpa syretillförseln till branden. I många fall kan det förekomma genomventilation, t ex genom uttorkade vattenlås i avlopp, otäta luckor i botten eller längs manteln eller dålig täthet i utmatningsanordningen. I fall där inte branden utvecklats så långt kan tätningsåtgärder ge avsevärd effekt. Observera att toppluckan bör stängas men dock inte reglas för tryckavlastning.

För att bedöma miljön inne i silon bör halten av syrgas, kolmonoxid och koldioxid (ev brännbara gaser) samt temperatur mätas i silotoppen. Finns uppenbar risk för damm- eller gasexplosion bör utrymnet i silotoppen säkras med mellanskum genom försiktig påföring.

Inspektera också silon från utsidan för att se tecken efter eventuella glödhärdar inne i silon som kan ge missfärgningar av manteln. Finns tillgång till värmekamera kan sökandet av glödhärdar underlättas högst betydligt.

Om heta punkter detekteras kan bör om möjligt en liten håltagning göras så att en temperatursond kan stickas in för att ännu säkrare bestämma utbredningen av glödbranden. Därefter kan dimspik eller motsvarande tryckas in i materialet och vatten injiceras där värmeutveckling detekteras (här bör skärsläckaren kunna vara ett alternativ). Håltagning kan behöva ske på ett flertal ställen och vatten injiceras intermittent tills man noterar en dämpning av brandaktiviteten. Om det även detekteras glöd/brand ovanpå materialet i silotoppen begjuts denna med mellanskum. Yttre kylning av manteln är tämligen verkningslös ur släcksynpunkt men kan i vissa fall vara befogad för att bibehålla hållfastheten i konstruktionen. Observera dock risken för rökgasexplosion om kylningen innebär syresättning av en silo fylld av pyrolysgaser.

När branden bedöms vara släckt kan det föreligga behov av att öppna inspektionsluckor för att gå in i silon. Man måste då beakta risken för hålrum i materialet skapade av glödhårdar och man skall därför alltid lägga ut någon form av gångplattform (brädor, stege, etc) för att fördela vikten. All personal skall naturligtvis bära andningsapparat och vara försedd med livlina och all maskinell utrustning (el, hydraulik, etc) måste vara bortkopplad. Ytterligare förekomst av glödhårdar bör undersökas genom användning av en temperatursond som stick ner i materialet i ett rutnät med ca 0,5 m avstånd. Detekteras kvarvarande värme injiceras ytterligare vatten. Tömning/lämpning av materialet får ej påbörjas innan man är övertygad att branden är släckt.

I många fall kan det vara fördel att använda en tillsats av vätmedel, t ex detergentskum eller Klass A-skum, för att öka penetrationen. (När det gäller lantbrukssilos finns ofta möjlighet att använda mer eller mindre av innehållet som ej varit involverat i branden och därför bör inte skum/vätmedel användas i dessa situationer.)

När det gäller ensilagesilos så är oftast en glödbrand belägen inom 1-1,5 m från toppen av materialet och om branden ej hunnit utvecklas kan man ofta bekämpa branden direkt från ytan. När glödhårdar är släckta, lämpas skadat material ut och därefter behandlas det översta materialet med en 50% propionsyra-lösning vilket förhindrar eventuell fortsatt jäsning. Ytan täcks med en siloduk och får sedan stå orört.

7.3 Gastäta silor

I gastäta silor finns stor risk att mycket höga halter av kolmonoxid ansamlas i silotoppen vid en glödbrand. Detta innebär en mycket stor explosionsrisk om luft ges tillträde. När alla tänkbara öppningar tätats lämnas i första hand silon orörd under 2-3 veckor. När man inte släckning av branden under denna tid, är inertering med koldioxid via botten enda släckalternativet. Detta utförts då i princip på samma sätt som tidigare beskrivits.

7.4 Tömning av brandutsatt silo

Som tidigare nämnts skall man om möjligt undvika att tömma en silo innan branden är helt släckt vilket kan ta flera dagar i anspråk. Även när man tror att branden är släckt kan det fortfarande finnas små glödhårdar kvar i materialet vilka sysresätts när de matas ut. Detta innebär att man alltid måste övervaka en tömning mycket noga och beakta risken för dammexplosion, se figur 10.

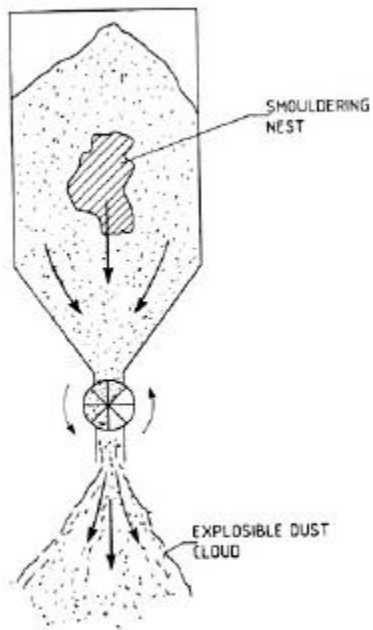


Figure 1.8 A smouldering nest in a dust/powder deposit in a silo can initiate a dust explosion if the nest is discharged into an explosible dust cloud

Figur 10 Tömning av en silo innehållande en brandhärd innebär stor risk för dammexplosion och/eller spridning av branden i transportsystemet (Eckhoff)

För att undvika risk för brandspridning inom en anläggning med ett gemensamt transportsystem skall tömningen göras med ett separat system. Tömning bör ske ut i det fria så att materialet kan kontrolleras med avseende på kvarvarande glöd etc. Eftersom detta kan vara en mycket omfattande operation i en större siloanläggning bör krävas att detta beaktas redan vid insatsplaneringen för varje specifik siloanläggning.

8 Slutsatser och rekommendationer

Primärt gäller naturligtvis att minimera risken för att en brand skall uppstå i en silo. Detta innebär att det material som skall lagras måste kontrolleras noggrant avseende fukthalt/vattenaktivitet för att undvika risk för självuppvärmning som kan övergå i pyrolys och brand.

Generellt gäller att minimera genomventilation i silor. När det gäller ensilagesilos är det extra viktigt att stänga alla luckor och kontrollera deras tätningar samt kontrollera och eventuellt täta vattenlås.

I större anläggningar bör kolmonoxidhalten kontrolleras regelbundet inne i silon.

I händelse att brand misstänks eller har detekterats, stoppa allt materialflöde in och ut ur silon och stäng/täta alla luckor, utmatningsöppningen, mm. Beroende på typ av silo, dess storlek, belägenhet, lagrat material, etc, kan en släckinsats bli nödvändig genom användning av koldioxid, mellan- eller lättskum eller i vissa fall vatten. Oavsett släckmetodik, beakta alltid risken för damm- eller rökgasexplosion!

Räkna med att släckinsatsen i många fall kan ta flera dagar i anspråk. Påbörja inte tömning av silon innan man är säker på att branden är släckt.

9 Referenser

1. Per Blomqvist, B. P., "Spontaneous Ignition of Biofuels-A Literature Survey of Theoretical and Experimental Methods", SP Swedish National Testing and Reserach Institute, SP AR 2003:18, Borås, 2003.
2. AFS 2003:3, "Arbete i explosionsfarlig miljö - Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbete i explosionsfarlig miljö samt allmänna råd om tillämpningen av föreskriften", 2003-05-22, Arbetsmiljöverket, 2003.
3. AFS 1995:5, "Utrustningar för explosionsfarlig miljö, Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse med föreskrifter om utrustningar för explosionsfarlig miljö samt styrelsens allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna", Arbetsmiljöverket, 1995.
4. MD 74:4, "Lagring av massgods - Lagringsanordningar för massgods", 1974-01-21, Arbetarskyddsstyrelsen, 1974.
5. AFS 1981:15, "Skydd mot skada genom ras-Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse om skyddsåtgärder mot skada genom ras med kommentarer", 1981-08-20, Arbetarskyddsstyrelsen, 1981.
6. AFS 1993:3, "Arbete i slutet utrymme - Arbetarskyddsstyrelsens allmänna råd om arbete i slutet utrymme", 1993-04-19, Arbetarskyddsstyrelsen, 1993.
7. "Tekniske forskrifter for traebearbejdning og traeoplæg, plastforarbejdning og plastoplæg, korn-og foderstofvirksomheder, fremstilling og oplagring af mel Visse brandfarlige virksomheder og oplæg", 2003 ed., Beredskabsstyrelsen, 1990.
8. "Silobranden i Esbjerg Havn den 5 november 1998", Beredskabsstyrelsen, 2110.
9. NFPA 61, "Prevention of fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities", 2002 ed., National Fire Protection Association, 2002.
10. NFPA 850, "Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations", 2000 ed., National Fire Protection Association, 2000.
11. NRAES-18, "Extinguishing Fires in Silos and Hay Mows", 2000 ed., Natural Resource, Agriculture, and Engineering Servicers (NRAES), 2000.
12. Alfert, F., "Detection and Suppression of Smouldering Fires in Industrial Plants", Chr. Michelsen Institute (CMI), Draft report, Bergen, 1991.
13. Wingerden, K. v., "Detection and Suppression of Smouldering Fires in Industrial Plants-Part II", Chr Michelsen Institute (CMI), Draft report, Bergen, 1991.
14. Maarit Tuomisaari, D. B., Risto Latva, "Extinguishing Smouldering Fires in Silos - BRANDFORSK Project 745-961", VTT Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 339, Espoo, 1998.
15. Nilsson, E., "Gaser i ensilagesilor", Jordbrukstekniska institutet (JTI), Teknik för lantbruket nr 10, Uppsala, 1987.
16. Kubler, H., "Heat Generating Processes as Cause of Spontaneous Ignition in Forest Products". *Forest Products Abstracts* **10**, 299-327, 1987.
17. Babrauskas, V. "Ignition Handbook," Fire Science Publishers, 2003.
18. Larsson, K., "Livsmedelsteknologi", Lunds Universitet, 1995.
19. Eckhoff, R. K. "Dust Explosions in the process industries," 1994 ed., Butterworth-Heinemann Ltd, 1991.
20. Cricenti, N. J., 2003.
21. Larsson, L., Risk Management, Lantmännen.
22. Sjöberg, J., "Riskanalys på Svenska lantmännens anläggning i Helsingborg", Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Report 5104, Lund, 2002.
23. "Handbok för riskanalys", Räddningsverket.

Annex A-Exempel på inträffade bränder i industrisilor i Sverige

I följande avsnitt ges en kort summering av några inträffade silobränder och hur dessa hanterades. Bränderna härrör primärt från Sverige under de senaste 25 åren men gör inte anspråk på att vara fullständig.

Basdata

Datum	1990-01-25
Plats	Gotland
Typ av silo	Uppgift saknas
Storlek	300 m ³ (ca 150 ton)
Fyllnadsnivå vid brand	Helt full (ca 155 ton)
Typ av bränsle	Kolpulver (0,09 mm kornstorlek, <2% fukt)
Orsak till brand	Ingen uppgift

Släckning

Släckmedel	Koldioxid
Metodik	Fast system, införing via topp och botten
Insatsens varaktighet	8-10 tim
Resultat av insats	branden släckt, utmatning påbörjad
Förbrukad mängd släckmedel	4100 kg koldioxid (ca 13,7 kg/m ³)

Kort summering av brand och insatser

1990-01-25, kl 22:10 erhöles larm om hög temperatur vid bottenkonan på kolsilon. 22:20 konstaterades att det fasta koldioxidsystemet löst ut automatiskt (utlösningstemperatur 80C). 23:30 konstaterades glödbrand i silokonan. 02:00 startades införing i botten via en provtagningsstuds under glödhärden. Ca 3000 kg kördes in under 3,5 tim. Därefter kopplades koldioxidsystemet om till fluidiseringen samt silotoppen. Totalt användes 4100 kg koldioxid. När temperaturen legat under larmvärdena i 1,5 tim startades utmatningen men problem erhöles på grund av koks bildning och anläggningen gick problemfritt först efter ca 2 dygn.

Förutom temperaturövervakning i botten och toppen av silon mäts också kontinuerligt CO-halten i silotoppen och vid förhöjda värden kan detta också aktivera koldioxidsystemet. Tanken till det fasta koldioxidsystemet rymmer 7 ton och leds via en förångare, dels till toppen av silon och dels till fluidiseringsanordningen i bottenkonan.

Referenser: Incidentrapport från Åke Flood, Kalkproduktion Storugns AB

Basdata

Datum	1989-10-02
Plats	Scania, Södertälje
Typ av silo	Ingen uppgift
Storlek	45 m ³ , ca 15 m hög
Fyllnadsnivå vid brand	30-40 m ³ (12-13 m)
Typ av bränsle	Kolpulver
Orsak till brand	Självantändning

Släckning

Släckmedel	Kvävgas, koldioxid
Metodik	Införing via botten och toppen
Insatsens varaktighet	Ca 13 tim
Resultat av insats	Branden släckt, silon tömd
Förbrukad mängd släckmedel	Ingen uppgift (300 kg motsvarar 6,7 kg/m ³)

Kort summering av brand och insatser

08:06 erhålls larm om värmeutveckling i silo. Ca 08:30 utlöstes ett fast koldioxidsystem men på grund av brott i en rörskarv hamnade allt släckmedel utanför silon. Beslöts att fylla silon från botten med kvävgas via den ordinarie tryckluftsmatningen, ingen toppfyllnings tills vidare, för stor risk för personalen. 09:50 startar inmatning av kvävgas och 10:20 startar inmatning av koldioxid i gasfas i silotoppen. 11:06 påbörjas utmatning av kolpulver (flera tillfälliga stopp erhålls). 13:30 anländer 26 ton koldioxid, först fylls tank som matar koldioxid till silotopp. 14:30 matas koldioxid i vätskefas in i botten där man tidigare matat in kvävgas. Problem med isproppar i slangar. Efter att infört ca 300 kg i flytande form fortsätter inpumpningen i gasfas. 16:20 avbryts koldioxidinmatningen. 16:30 tros silon vara tom. Visar sig dock finnas kakor kvar på siloväggarna vilka spolans ner med vatten och högt tryck. 21:00 är silon helt tömd och insatsen avslutas.

Referenser: Insatsrapport, Tommy Jansson, räddningsledare

Basdata

Datum	1989-01-28
Plats	AB Nord Mills, Malmö
Typ av silo	Betongsilo, 14 celler-varierande storlek, höjd 36 m
Storlek	Cell 67, ca 300 m ³
Fyllnadsnivå vid brand	Ca 100 m ³ (60-70 ton)
Typ av bränsle	Kli-pellets
Orsak till brand	Explosion (orsak okänd)

Släckning

Släckmedel	Koldioxid, kvävgas
Metodik	Koldioxid via toppen, kvävgas via botten
Insatsens varaktighet	Ca 20 dygn
Resultat av insats	Branden släckt
Förbrukad mängd släckmedel	Ingen uppgift över total mängd

Kort summering av brand och insatser

Branden startade med en explosion någon gång på kvällen 1989-01-28. 09:30 den 29/1 upptäcks att hela bjälklaget ovanför cell 67 sprängts bort och rökutveckling konstaterades i cellen. Inledningsvis påbörjades släckning med koldioxid via silotoppen under 1 dygn (2 ton) varvid rökutvecklingen upphörde. Den 30/1 påbörjades tömning och man lyckades få ut 20-30 m³. Under tiden påfylldes koldioxid i ett antal omgångar (3,2+1,2+0,8 ton) men problem pga koldioxid läckte ut i utlastningsluckan i silobotten. 31/1 tog branden ny fart och mer kolsyra fylls på, beslut att upphöra med utlastning under några dygn. Under denna tid fylldes silon med koldioxid med jämna mellanrum. Efter 4 dygn ansågs läget stabilt och räddningstjänstinsatsen avbröts och Malmö Skeppshjälp tog över arbetet med tömning och sanering. Snart visade det sig att branden inte var släckt och ytterligare kolsyra fick påföras. Efter 5 dygn återtog räddningstjänsten insatsen. Via kontakter med div forskningsinstitut hade Nord Mills rekommenderats att införa kvävgas via silobotten. Enligt beräkning krävs 3 ton som skall påföras med lågt tryck och målet var att sänka syrgashalten med 16% ovanför materialet. Den 9/2 påbörjades kvävgasfyllning (3 ton) sakta via en lans i botten med samtidig koldioxidpåföring från toppen. Efter 4 dygn trodde man sig ha nått stabila förhållanden men det konstaterades ånyo förhöjda CO-halter ovanför materialet. Den 13/2 beslöts att göra en kraftsamling och under två dagar tillfördes 5 ton kvävgas via två lansar i silobotten. 3 dygn senare konstaterades att branden var släckt. Vid inspektion nere i silon den 21/2 noterades att pelletsdjupet var ca 4-5 m, och ett hårt isskikt (1 m som tjockast) täckte ca ¼ av tvärsnittsytan.

Referenser: Anteckningar från ledningsgruppens möten, Bengt Persson, AB Nord Mills

Basdata

Datum	1989-09-16
Plats	Bankeryd
Typ av silo	Plåtsilo
Storlek	Ingen uppgift (enl foto ca 8-10 m hög, Ø 4-5 m)
Fyllnadsnivå vid brand	80%
Typ av bränsle	Träspån
Orsak till brand	Gnistregn från spåneldad panna

Släckning

Släckmedel	Mellanskum
Metodik	Fyllning från topp, lämpning via lucka
Insatsens varaktighet	Ingen uppgift
Resultat av insats	Övertändning under tömning, silon därefter släckt och tömd
Förbrukad mängd släckmedel	Ingen uppgift

Kort summering av brand och insatser

Silon antändes troligen av gnistregn från spåneldad panna. Primärt kylde mantels som börjat bukta något. Släckinsats över topp med mellanskum dämpade branden men skummet rann ut när lucka på halva mantelhöjden senare öppnades för lämpning. Värmekamera rekvirerades för att hitta värmehärdar och styra släckinsats med strålar via takluckan. Lämpning påbörjades manuellt genom mantelluckan. Via värmekameran noterades efter en stund stigande temperaturer och kort därefter erhöles en övertändning ut genom luckan. En brandman omslöt helt av lågor men klarade sig utan skador pga av rökdykarutrustningen. De erfarenheter som noterades var:

- Rökdykare bör alltid förses med egen trycksatt slang
- Värmekameran till stor hjälp för att överblicka läget
- En slamsugare tömde silon enkelt från spån utan att personal behövde skyffla

Referenser: Insatsrapport, Göran Melin

(Notering: 1999-11-26 inträffade en ny brand i samma silo. Detaljuppgifter saknas)

Basdata

Datum	1988-08-11
Plats	Arvika, Volvokomponenter
Typ av silo	Ingen uppgift
Storlek	Ingen uppgift
Fyllnadsnivå vid brand	30 ton
Typ av bränsle	Stenkolspulver
Orsak till brand	Ingen uppgift

Släckning

Släckmedel	Koldioxid
Metodik	Koldioxid i gasfas över topp, tömning
Insatsens varaktighet	14-2 tim
Resultat av insats	Branden släckt, silon tömd
Förbrukad mängd släckmedel	Ingen uppgift

Kort summering av brand och insatser

11:15 upptäcktes glödande partiklar vid tappning av silon. 11:25 rekviderades en koldioxidbil. 11:30 uppmättes 135 °C i avtappat kol. Första åtgärden var att försöka tätta all lufttillförsel till silon. Gick dock ej att tätta på toppen vid befintlig fläktanslutning. Fläkten startades därför för att sätta silon under undertryck. Expertis från CMI varnar för tömning av silon då detta innebär stor explosionsrisk. Koldioxid måste fyllas i toppen samtidigt som man också för in gas via en lans i botten. Bedöms dock för komplicerat. Beslutad taktik blir att fylla silon över topp med koldioxid i gasform för att utgöra ett lock samtidigt som försiktig tömning inleds. Leverantören av stenkolspulvret rekommenderar fyllning av flytande koldioxid men detta väljs bort då det kan leda till kraftig tryckstegring i silon. 16:00 koldioxidbilen på plats och kopplas till silons ordinarie fyllnadsrör på silotoppen. 17:00 påbörjas fyllning och 18:00 inleds tömning av silon med dammsugare. 19:00-endast 1 ton av ca 15 ton har tömts, temperaturen på pulvret har sjunkit från 60 °C till 40 °C under senaste timmen. Med stöd av detta beslutas om tömning ner i skopa på hjullastare. Sista pulvret töms ut 21:00, endast vissa avlagringar och klumpar på siloväggarna kvarstår. Explosionsrisken bedöms som obefintlig och vatten sprutas in för att sanera och fylla nedre delen av silon. Manluckan till silon öppnas 22:15 för tömning av vatten och en slutlig rensning av kvarvarande klumpar med spett och stålrör. 23:50 börjar man blottlägga glödhårdar och snart uppstår öppen låga. Tankbilen med koldioxid kallas tillbaks och 00:15 fylls hela silon med koldioxid igen vilken lämnas kvar under natten.

Erfarenheter som noteras:

- Användning av koldioxid som lock ovanför pulvret och tömning fungerade bra.
- Viktigt att stoppa oxidationsprocessen snarast möjligt (tätning av silon).
- Viktigt att planera insatsen noga.
- Stor nytta av upplysningar från SRV.
- När silon tömts, låt stå fylld med koldioxid för total kylning, hetsa ej med sanering.
- All personal skall bara andningskydd med övertryck under hela insatsen.

Referenser: Rapport från RIB, nr 244

Basdata

Datum	1985-04-20
Plats	Köping, Cementa
Typ av silo	Ingen uppgift
Storlek	Ca 45 ton
Fyllnadsnivå vid brand	Ca 1/3 (15 ton)
Typ av bränsle	Kolpulver
Orsak till brand	Ingen uppgift

Släckning

Släckmedel	Koldioxid
Metodik	Koldioxidfyllning via topp
Insatsens varaktighet	Ca 5 tim
Resultat av insats	Ingen specifik uppgift
Förbrukad mängd släckmedel	2300 kg (snitt 85 l/min)

Kort summering av brand och insatser

Ca 15:00 upptäcks en ”blästerlåga” vid botten på kolfickans avsmalning där kolpulvret via diverse utrustning blåses in i förbränningsugnen. Lågan släcks med vatten och inblåsningensfläkten stängdes av. Misstänktes att det kunde finnas glödbrand inne i silon. Kontroll med CO-instrument på silotoppen gav fullt utslag. På grund av explosionsrisker vid tömning rekviderades koldioxidbil 16:15. Mellan 17:30-17:36 fylldes toppen av silon med koldioxid genom användning av två smalslangar, längd ca 40 m, nivåskillnad 10-15 m. Därefter tätades silon i botten ytterligare. Mellan 19:40-20:01 fylldes ytterligare koldioxid varefter toppluckan lades på löst för att medge expansionsmöjlighet. Totalt förbrukades 2300 kg koldioxid, dvs 85 l/min. Noterades att vid andra fyllningen fungerade ej de först använda slangarna. I efterhand konstaterades att slangarna förstörts av den starka kylan.

Referenser: Insatsrapport, Leif Sandahl

Basdata

Datum	1982-11-29
Plats	Västerås, Arosbygden
Typ av silo	Betong?-silo
Storlek	250 m ³
Fyllnadsnivå vid brand	Ca 70 m ³
Typ av bränsle	Foderpellets
Orsak till brand	Självantändning? Brandstart vid rensning av fastkilad pellets

Släckning

Släckmedel	Koldioxid, mellanskum, lättskum
Metodik	Påföring från toppen och inspektionslucka på sidan
Insatsens varaktighet	Ca 7 dygn
Resultat av insats	Släckt (rökgasexpl under insatsen, spridning till angränsande silocell)
Förbrukad mängd släckmedel	20,4 ton koldioxid (motsvarar ca 82 kg/m ³) samt skum och vatten

Kort summering av brand och insatser

Branden startade vid 15-tiden den 29 nov då peronal manuellt rensade ner material som fastnat på siloväggen. När en större kaka lossnade började det brinna. En tankbil med koldioxid rekvirerades och vid 18-tiden påbörjades fyllning via silotoppen och en inspektionslucka på ca 2/3 höjd på silon (strax ovanför yttertaket). Hål borrades också för att sticka in temperatursonder i det fastkilade materialet. Från 22:45 kördes koldioxid in i ca 5-10 minuter med ca 4-5 timmars intervall från ett tankbilssläp. Temperaturen bevakades och denna sjönk sakta men steg något varje gång kolsyra påfördes. Den 1 dec kl 10, tog koldioxiden slut i släpet men via inspektionsluckan kunde fortfarande en öppen låga konstateras. Eftersom besked erhållits att pelletsen inte var speciellt vattenabsorberande fylldes silon med lättskum samtidigt som toppen ventilerades. Den 3 dec konstaterades åter öppen låga och då påfördes mellanskum. Strax efter avslutad insats erhöles en rökgasexplosion och en 15 meter lång eldkvast slog ut genom inspektionsluckan, dock utan att skada någon. På kvällen blossade branden upp igen och denna gång användes vatten för släckning. Konstaterades att den stora kilen lossnat, troligen vid rökgasexplosionen. Innehållet begjuts med vatten i 4-timmars intervaller men den 5 dec har branden blossat upp ordentligt igen. Använder 2 m långa rör för att vattenbejuta och rensa ner material. På kvällen den 5 dec noteras rök från angränsande silocell. Denna visar sig innehålla pellets också men töms snabbt så att denna begynnande brand kan släckas. Totalt användes 238 mantimmar och 20440 kg koldioxid. De slutsatser som drogs efter branden var att koldioxiden ej fungerade så bra. Hade man fått tidigare besked om att vatten kunde användas hade formodligen detta tillgripits i ett tidigare skede av branden.

Referenser: Artikel Brandförsvaret 19/83, "Silobrand pågick i sju dygn i Västerås", Håkan Fehne

Basdata

Datum	1980-04-10
Plats	Lidköping, Västsvenska Lantmän
Typ av silo	Betongsilo
Storlek	50 m hög
Fyllnadsnivå vid brand	Ca 60% (Propp av fastnat material)
Typ av bränsle	Stärea (djurfoder)
Orsak till brand	

Släckning

Släckmedel	Koldioxid
Metodik	Införing via silotoppen
Insatsens varaktighet	10 dagar
Resultat av insats	Släckt
Förbrukad mängd släckmedel	35 ton koldioxid

Kort summering av brand och insatser

I silon förvarades djurfodret Stärea (extruderad blandning av kornmjöl och urea). På grund av för hög fuktighet hade detta omvandlats till en ”gummiartad betong” och satt som en 30 m hög propp i silon, med övre ytan 10 m från toppen och undre ytan 10 m från botten. I febr hade man börjat borra ur materialet med en speciell ”rivarutrustning” för att minimera värmeutvecklingen. Borring skedde i steg från ett litet pilothål som sedan förstörades i omgångar upp till en diameter på ca 1 m. Vid arbetet med det 3:e hålet fredagen den 18 april noterades svag rökutveckling och en svag lukt av ammoniak. Silon bevakades över helgen, luftgenomströmningen fortsatte och tidvis noterades svag rökutveckling. Beslöts att inleda en insats mån 21 april. Under måndagen noterades kraftig ökning i intensitet och ammoniakhalten i rökgaserna steg till över 2000 ppm. Även explosimetrar användes för att kontrollera explosionsfara. Vatten uteslöts som släckmedel då man var rädd för ångexplosion och att materialet skulle absorbera vatten. Beslöts använda koldioxid och på kvällen den 21 april inleddes påföring via silotoppen via den konventionella stigarledningen i kombination med smalslang. Gas- och temperaturmätningar visade sjunkande värden men natten till den 23 april tog branden ny fart och koldioxidhalten sjönk. Ytterligare koldioxid rekviderades samtidigt som anläggningen utrymdes på personal då mätningar visade att explosionsrisk förelåg. Koldioxidfyllning påbörjades igen och arbete fortsatte att täta silobotten. För att undvika återantändningar fortsatte koldioxidinföringen var 4:e timma med ca 1 ton vid varje tillfälle. Lördagen den 27 april bröts koldioxidpåföringen utan att någon återantändning inträffade. Totalt användes ca 35 ton koldioxid. Den 28 april plockades borrutrustningen bort och det konstaterades att temperaturen varit hög och att genombränning skett mellan olika borrhål. Orsaken tros vara självantändning och att borringen medfört ökat lufttillträde vilket ökat brandens intensitet.

Referenser: Artikel Brandförsvaret 10/80, ”Svårsläckt brand i silo med stärea krävde 35 ton kolsyra”, Torbjörn Götenstedt

Basdata

Datum	2000-08-15
Plats	Kristianstad, Karpalund
Typ av silo	Betongsilo, 21 celler (brand i 4 celler)
Storlek	50 m hög
Fyllnadsnivå vid brand	50 ton
Typ av bränsle	Spannmål
Orsak till brand	Ingen uppgift

Släckning

Släckmedel	Koldioxid
Metodik	Ingen uppgift
Insatsens varaktighet	3 dygn
Resultat av insats	Släckt
Förbrukad mängd släckmedel	60 ton koldioxid

Kort summering av brand och insatser

Branden utbröt natten till tisdagen den 15 aug i två silotorn men spreds senare till ytterligare två torn. Koldioxid användes för att täcka spannmålen. Släckningsarbetet var komplicerat då det fanns risk för dammexplosioner. En större explosion inträffade, dock utan att någon skadades. Totalt var 200 man engagerade i insatsen.

Referenser: Artikel Sirenen 5/00, "60 ton kolsyra för att släcka silobrand"

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 att 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

Basdata

Datum	2001-12-03
Plats	Falkenberg, HBK Lantmän
Typ av silo	Betongsilo
Storlek	Höjd 35 m, varje cell ca 5x5 m (875 m ³)
Fyllnadsnivå vid brand	Ca 70% (160 ton)
Typ av bränsle	Gräspellet
Orsak till brand	Självantänding i silons botten

Släckning

Släckmedel	Koldioxid, mellanskum
Metodik	Fyllning från topp, tömning
Insatsens varaktighet	3 dygn
Resultat av insats	Släckt, tömd
Förbrukad mängd släckmedel	7 ton koldioxid (ca 8 kg/m ³), 100 l skumvätska

Kort summering av brand och insatser

Onormal röklukt hade detekterats av personalen redan på fredagen den 30/11 men man ansåg inte detta var någon fara. På måndagen 3/12 kl 8:50 larmas RTJ som noterar stickande rök och värmestegring från cellen (går bara att komma åt cellen i botten och toppen). Utlöser ett antal koldioxidsläckare (totalt 56 kg) från toppen, beslutar följa utvecklingen och förbereda för ytterligare koldioxidpåföring. Vid kontroll 15:30 har färgen på bottenkonan börjat flaga, ytterligare 56 kg koldioxid fylls från toppen. Efter diverse samråd rekvireras koldioxidbil samt en värmekamera kl 17:00. Klockan 22:30 inleds första fyllning via silotoppen. Problem med isproppar i ledningarna, fyllning sker med 30-40 minuters mellanrum och efter sista fyllning 00:45 har ca 1900 kg påförts. Vid planeringsmöte den 4/12 övervägs också fyllning med kvävgas från botten men efter avrådan från SRV beslutas om fortsatt koldioxidfyllning från toppen samt förberedelser för tömning. 12:30 fortsätter koldioxidfyllning i sekvenser, dock fortsatta problem med isbildning. Den 5/12 kl 01:35 flyttas tankbilen till annan stigarledning pga frysproblemen vilket underlättar arbetet och under natten fylls ca 2 ton. Vid planeringsmöte på morgonen beslutas om att inleda tömning med samtidig koldioxidfyllning samt ytterligare säkring med ett mellanskumtäck. Kl 14:00 inleds tömning utan problem. Tankbilen kvar under pågående tömning för att kunna efterfylla med koldioxid. Förväntad tömningshastighet är 10 ton/tim. Den 6/12 kl 05:30 kommer den sista pelletsen ut åtföljt av mellanskum. Totalt har ca 7 ton koldioxid och 100 l skumvätska förbrukats.

Erfarenheterna från insatsen var i stort sett positiva, noterades att med bättre övervakningssystem kanske branden hade upptäckts tidigare. Problem med isproppar i ledningarna vid koldioxidfyllning borde ses över, t ex utreda om isolering eller andra material kan vara en lösning.

Referenser: Insatsrapport, Bengt-Ove Ohlsson

Basdata

Datum	1984-04-25 (Rökgasexplosion)
Plats	Västerås, Lantmännens foderfabrik
Typ av silo	Betongsilo
Storlek	Höjd 43 m, (varje cell Ø 6m, höjd 37 m, ca 1100 m ³)
Fyllnadsnivå vid brand	150-200 ton
Typ av bränsle	Returfoder
Orsak till brand	Självantändning, medförde dammexplosion

Släckning

Släckmedel	Ingen egentlig släckinsats, se nedan
Metodik	
Insatsens varaktighet	
Resultat av insats	
Förbrukad mängd släckmedel	

Kort summering av brand och insatser

Den 25/4 erhöles en kraftig dammexplosion i cell 3 vilken sprängde bort hela toppen av betongtaket till cellen, ca 20 cm tjock, armerad betong samt åstadkom ett hål i yttertaket på ca 90 m². Skadorna blev mycket stora men lyckligtvis skadades ingen person.

Händelseförloppet startade egentligen långt tidigare i cell 3 som användes för förvaring av returfoder och man hade under hela vintern haft problem med häng i silocellen. Den 3 april noterade man svag rök i manluckan från cell 3 som då innehöll 150-200 ton. Man startade omedelbart tömning och ca 8 ton transporterades ut. Den 4 april ökade rökutvecklingen och räddningstjänsten medverkade vid tömningen och vattenbegjöt den glöd som kom fram. Den 5 april beslöts att inte använda ordinarie transportsystemet för tömning utan man hyrde in en sugbil från en entreprenör som fick låna materiel från räddningstjänsten för att fortsatt kunna vattenbegjuta vid behov. Tömningsarbetet försatte i två veckor framöver mellan 07:00-23:00 varje dag och under den senare perioden kom det vid flera tillfällen fram pyrande bränder som fick släckas. Beslut togs att avbryta tömningsarbetet under påskhelgen då läget verkade lugnt. Den 24 april (tis efter påsk) återupptogs arbetet och nya klumpar med glöd kom fram under tömningen. Man fick nu hål i silon så man kunde se upp till toppen vilket också ökade luftgenomströmningen vilket gjorde att branden tog ny fart. Luckan på toppen stängdes och vattenbejutning av glödande klumpar fick ske ofta. Arbetet den 25 april förlöpte på samma sätt och silon var nu nära tom. Det förekom ras då och då av foder som hängt högre upp och 13:30 inträffade dammexplosionen. Troligen uppstod denna av damm som rörts upp av rasen och som antändes av frilagd glöd.

Referenser: Redogörelse över händelseförlopp, Lantmännen, polisrapport, artikel VLT 26/4-1984

Basdata

Datum	2003-02-28
Plats	Södertälje, Igelstaverken
Typ av silo	Stålsilo
Storlek	Ø 27 m, Höjd 23 m, volym 7500-8000 m ³
Fyllnadsnivå vid brand	1200 ton (ca 5000-6000 m ³)
Typ av bränsle	Returbränsle (riven plast, papper, kartong, träflis)
Orsak till brand	Ingen uppgift

Släckning

Släckmedel	Vatten, skum
Metodik	Påföring från topp, lämpning
Insatsens varaktighet	Ca 3 veckor
Resultat av insats	Släckt, silon tömd
Förbrukad mängd släckmedel	Ingen uppgift

Kort summering av brand och insatser

Rökutveckling från toppen en returbränslesilo noteras den 28/2 vid lunchtid. Räddningstjänsten försöker begjuta innehållet med vatten men när detta inte tycks ge effekt övergick man till skumbegjutning, även detta utan synbart resultat. Beslutas att lyfta bort en stor port på sidan av silon för att kunna vattenbegjuta bränslet med vattenkanon. Detta misslyckas dock då bränslenivån är för hög, istället tilltar branden och personal på silotoppen får retirera. Brandgaserna antänder en bandtransportör ovanför silon och senare erhålls brandspridning till en lång bandtransportör om leder till pannhuset. Resurserna får nu inriktas mot att förhindra vidare brandspridning inne i pannhuset och ta hand om takbränder. Samtidigt kyls silon och övriga konstruktioner för att förhindra kollaps. Den 1/3 var branden under kontroll och var åter begränsad till silon vars mantelyta stog under vattenbegjutning med vattenkanoner. Under de närmsta dagarna är branden fortsatt kontrollerad och utredning pågår kring tänkbara åtgärder. Den 5/3 ersätts kylningen via vattenkanoner med dysor vilket reducerar vattenförbrukningen avsevärt. Den 7/3 erhålls utrustning för temperaturmätningar (termoelement och IR-kamera). Tidvis förekommer besvärande röklukt i omgivningen. Mån 10/3 diskuteras olika åtgärdsalternativ, beslut att tätta silon och försöka släcka med vattendysor i silotaket. Under arbetet med installationen av dysorna erhålls en kraftig uppflamning av branden pga håltagning i taket men branden dämpas när vattnet sätts på. Den 11/3 är 19 dysor monterade som totalt ger ca 400-450 l/min. Temperaturen är stadigt sjunkande. Fyra hål görs i mantelplåten på 3 m höjd för att sticka in lansar för temperaturmätning och eventuell släckning. Myckets svårt att få in lansarna i materialet. I tre av hållen uppmättes över 600 °C på vissa ställen varvid vatten injekterades. Den 12/3 ”borras” ytterligare två lansar in med hjälp av en högtrycksspolningsbil med max tryck 1050 bar. 0,1 % detergentskum tillsattes som vätningsmedel, totalt användes 50 l skumvätska. Lämpning påbörjas den 17/3 under bevakning av en täckningsstyrka som sörjer för vattenförsörjning, samt kyla/skydda maskinerna samt att eftersläcka lämpat material. Problem att använda lastmaskin pga hårt packat material varför en grävmaskin rekviderades för att gräva loss detta vilket sedan fraktades ut av lastmaskiner. Problem för maskinförarna att orientera sig inne i silon. Den 21/3 var lämpningen slutförd och ingen glödbrand kvar.

Basdata

Datum	2002-02-02
Plats	Västerås, kraftvärmeverket
Typ av silo	Stålsilo
Storlek	Ca 5000 m ³ , 300 m ² yta
Fyllnadsnivå vid brand	Max 4 m
Typ av bränsle	Torv
Orsak till brand	Mekaniska problem vid utmatningsskrub

Släckning

Släckmedel	Vatten, skum (fast släckanordning)
Metodik	Fast släckanordning i utmatningsskruben, vatten och skumbegjutning via silotoppen.
Insatsens varaktighet	Ca 7 tim (specifik uppgift saknas)
Resultat av insats	Branden släckt, innehållet lämpat
Förbrukad mängd släckmedel	Ingen uppgift

Kort summering av brand och insatser

Branden startade på morgonen den 2/2 på grund av mekaniska problem i utmatningsskruben. Hade upptäckts pga att en släckanordning i skruven löste ut gång på gång. Värmeamera användes för att kontrollera omfattning av branden. Under dagen pågick förberedelser för lämpning genom att bygga en ramp till en höjd av 6 m där det fanns en 5x5 meter lucka i manteln. Räddningstjänsten kallades till platsen vid 16-tiden och hjälpte till att vattenbegjuta materialet samt dra fram skum. Olika insatsalternativ diskuterades och metodiken som beslöts var att öppna luckan, lämpa med maskiner och samtidigt dränka materialet med vatten. Vid 20-tiden påbörjades lämpningen av ägaren (avvaktade inte räddningstjänsten som var på annat larm) och denna var klar vid 23-tiden. En glödhård på ca 300 mm i diameter hittades vid utmatningsskruben

Referenser: Ulrika Roseen, Mälardalens Brand- och Räddningsförbund.

Annex B-Erfarenheter från ensilagebränder

Följande redovisning är utarbetad av Ulf Erlandsson på Räddningsverket till följd av bränder i tre ensilagesilos under hösten 2003. Sammanställningen är baserad på rapporter från Bengt Andersson, Räddningstjänsten Öland, Roger Landelius, Räddningstjänsten Västervik samt Roger Banck, Räddningstjänsten Varberg

TRE BRANDTILLBUD I SILOS FÖR ENSILAGE

Räddningsverkets brandutredningsprogram har under hösten fått in tre olika rapporter om bränder i silos för ensilage. Med stor sannolikhet är orsaken självantändning.

Ett av fallen inträffade på en gård på Öland. Där fanns en 18 meter hög silo. Diametern uppgick till cirka sex meter. När branden inträffade var den nästan full av så kallat torr-ensilage. Det packade fodret hyvlas från toppen av en roterande kniv som lösgör det för vidare transport via en fläkt och ett rör ner till en behållare i ladugården.

En dag i oktober upptäckte lantbrukaren att det kom ner glödande strån bland ensilaget. När han undersökte saken såg han att det fanns brända partier på toppen av innehållet i silon. Räddningstjänsten larmades. Med hjälp av en dimspik fuktades de glödande partierna med vatten.

De följande dagarna tog lantbrukaren ut ett 30-tal kubikmeter ensilage under noggrann kontroll. Materialet var ljummet, men inte så varmt att det kunde ta eld. Genom att borra sig ner ett par meter i ensilaget med en torvborr kunde lantbrukaren tillsammans med räddningstjänstens utredare konstatera att det fanns ”grytor” av svart, förkolnad, ensilage längre ner i silon. Temperaturmätningar visade på från cirka 30 grader vid manteln och upp till över 80 grader på vissa platser i silon.

Vid kontakt med experter vid Lantbruksuniversitetet i Uppsala fick lantbrukaren rådet att behandla ensilagebädden med en 50-procentig lösning av propionsyra och vatten och att därefter täcka ensilagebädden med en presenning och avvakta några dagar. Förslaget lyckades och värmeutvecklingen upphörde.

En annan liknande brand inträffade ungefär samtidigt på en gård i östra Småland. En 23 meter hög ensilagesilo var fylld till ungefär tre fjärdedelar. Enligt lantbrukaren var fodret ovanligt torrt då det lades in några månader tidigare. På silons 13-metersnivå fanns en inspektionslucka. Den var otät och det kunde läcka in luft bland ensilaget.

När brandtillbudet först upptäcktes var värmen koncentrerad till en punkt ungefär en meter ovanför inspektionsluckan. Räddningstjänsten bekämpade den genom att ta upp mindre hål på manteln och kyla med vatten från dimspikar. Efteråt tätade de öppningarna nogga för att förhindra ytterligare syretillförseln.

En tredje liknande händelse inträffade i början av augusti i Halland. Gårdens folk höll på att fylla en 24 meter hög silo med nyskördat gräs. Det blåstes upp till toppen med hjälp av en kraftig fläkt. Inne i silon fanns en el-driven maskin för att packa ensilaget. Arbetet pågick i flera dagar. När behållaren var nästa halvfull upptäcktes en glödbland i gräset. Lyckligtvis var fukthalten hög och branden spred sig bara långsamt.

Räddningstjänsten angrep med rökdykare som via hävare tog sig in genom en inspektions-lucka på 15-metersnivån. Den synliga brandhärden var snabbt släckt. Undersökning med termometer och värmekamera gav förvirrande resultat på grund av solbestrålning utifrån. För säkerhets skull förberedde räddningstjänsten fyllning av cisternen med koldioxid alternativt med kvävgas. Men dessa åtgärder behövde inte tillgripas.

Observera att orsaken till denna brand inte är helt klarlagd. Den kan ha startat i en elektrisk motor till den maskin som packade ensilaget inne i silon.

Annex C- Olycksrapportering gällande silobränder och dammexplosioner i Industrial Fire World

Industrial Fire World (IFW) publicerar löpande korta notiser om större olyckor i ett internationellt perspektiv. Nedan följer ett utdrag från denna redovisningen, från juli 1998 t o m april 2004 (dock saknas 2001), där bränder/dammexplosioner i siloanläggningar eller tillhörande processutrustning redovisas. Understrukna notiser indikerar dödsfall.

1998

Sept. 9 — Woolstock, IA: Two workers were injured in a dust explosion in a grain elevator

1999

July 4 — Putten, The Netherlands: An explosion in 2 grain silos killed 2 workers.

July 19 — Rock Hill, S.C.: A conveyor belt fire spread into 2 silos at a chemical plant.

June 6 — Kennewick, WA: Smoke and flames spread through a massive grain silo. Welding was being done at the time of the fire.

May 17 — Hedrick, IA: A grain plant was immediately evacuated when fire broke out in a corn cob discard bin.

March 9 — Lincoln, NE: Workers were evacuated from a flour mill after an explosion in a metal bin where duct was collected started a fire.

Feb. 12—Lafayette, PA: An explosion in a sawdust silo started a fire that spread throughout a wood products plant. Three workers died and two others suffered burns. Firefighters fought the blaze for 36 hours.

2000

Jan. 22 — Clovis, N.M.: An explosion at a grain storage plant sent three workers to the hospital. The workers were using cutting torches at the time of the blast.

Sept. 3 — Tracy, MN: A grain dust explosion in a storage elevator caused minor damage and no fire.

August 2 — Saluda County, S.C.: Ten workers were injured, one critically, in an explosion that blew the top and bottom out of a 116-foot tall corn silo. Corn from the silo was spewed over a quarter-mile area.

2002

01-23-02 – Nebraska City, OH – An explosion during a fire at a tire recycling plant injured 13. (Article in IFW Fire Magazine, March/April 2002)

11-18-02 - Stanly county, NC - Three men were burned in an explosion during a welding job in a silo. The silo had contained wood and polyethylene chips and a dust explosion is suspected.

11-26-02 - Athens Township, PA - Employees were evacuated from a woodworking plant after a spark caused an explosion at the base of a dust-collecting and wood-shavings silo. Officials reported no injuries.

11-27-02 - Chavannes-sur-L'etang, France - A trainee was suffocated in a silo of maize grains. The victim fell into the grain while trying to help two colleagues who had been trapped by the emptying grains. According to a fire service spokesman, rescue was hampered by suction at the bottom of the silo that had compacted the mass of grain.

12-29-02 - Dipperz, Germany - A fire in a wood working company destroyed a building and heavily damaged a silo.

2003

02-25-03 - Johnson City, TN - An explosion in a sawdust bin at a flooring plant caused a lot of flame and smoke but no injuries or serious damage. The bin was collecting dust from the plant when the sawdust was ignited by a spark.

July 2-Blissfield, MI: A grain dust explosion at a storage company damaged a silo and left one worker severely injured.

July 21-Cantley, UK: 1 worker received a serious head injury in an dust explosion at a sugar beet factory.

August 7-Halifax, Nova Scotia: A dust explosion blew out the side of a grain elevator. The blast forced hundreds from their homes.

August 12-Columbus, OH: 1 worker was killed and 2 others were critically burned in a grain elevator explosion.

August 18-Ocala, FL: An explosion in a wood dryer at a wood fiber plant killed 1 worker and severely injured another.

August 19-Tadocho, Japan: Two firefighters were killed in an explosion that blew a 10-ton metal roof off a refuse silo at a power plant.

August 26-Four Oaks, N.C.: An explosion knocked down a wall at a corn meal mill. Fire was contained to one section of the mill.

Oct. 1 – New Knoxville, OH: Two firefighters were killed when an explosion blew the top off of a burning silo at a lumber company.

Nov. 7 – Decatur, IL – One worker was seriously injured after an influx of oxygen sparked an explosion in one of the plant's grain dryers. The worker suffered second- and third-degree burns over 40 percent of his body.

2004

Jan. 8 – Milford, DE: Fire in part of a grain elevator complex destroyed a building and tons of stored sunflower seeds. No injuries reported.

Jan. 12 – Clinton, IA: 1 person received minor injuries when an explosion damaged a grain elevator

Jan. 25 – Jaffrey, N.H.: Fire broke out in a hopper filled with sawdust at a wood pallet factory.

Jan. 26 – Des Moines, IA: Firefighters were called to a fire at a soybean processing plant where beans were smoldering in a hopper.

Feb. 9 – Houston, TX: 2 firefighters were injured while battling flames at a grain elevator

Feb. 20 – Archbold, OH: 1 firefighter was severely burned and two others also injured fighting a fire in the sawdust collection system at a furniture factory.

Febr 20-Vancouver, B.C. 40000 pounds of carbon dioxide was used to smother a pellet bin fire at a malt.roasting plant (IFW Fire Magazine)

April 7 - Coefield, N.C.: A worker at a seed plant was listed in critical condition after a dust explosion and fire.

April 24 - Sydney, Australia: 12 workers and several members of the public were evacuated from a sugar refinery following an explosion and fire in a silo.