Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Henry Persson

Brand i silo

Brandsläckning samt förebyggande och förberedande åtgärder

Henry Persson arbetar på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Enheten för Brandteknik. Henry har under drygt 30 år arbetat med provning och forskning med huvudinriktning mot brand- och brandskyddsproblematik inom industrin och räddningstjänsten och då med släckning av bränder som specialområde. I många fall har forskningsprojekten varit av problemlösande karaktär vilket lett till konkreta resultat och tillämpningar, t ex uppbyggnaden av den storskaliga släckutrustning för cisternbränder (SMC) som nu finns på fyra orter i Sverige. Sedan ca 10 år tillbaks har det varit stort fokus på biobränsle och här har han tillsammans med kollegor arbetat med projekt relaterade till brandrisker, emissioner vid brand och brandsläckning, både i fasta biobränslen och avfall. Flera projekt har fokuserat specifikt på riskerna vid hantering av träpellets i siloanläggningar, risken för självantändning samt släckproblematiken.

Henry Persson

Brand i silo

Brandsläckning samt förebyggande och förberedande åtgärder

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Brand i silo
Brandsläckning samt förebyggande och förberedande åtgärder

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Författare: Henry Persson
Projektledare: Ingvar Hansson, MSB

Layout: Advant Produktionsbyrå AB
Tryck: DanagårdLiTHO

Publikationsnummer: MSB386 - september 2012
ISBN: 978-91-7383-220-5

Innehållsförteckning

Inledning **5**

Kapitel 1 – Summering av åtgärder vid en silobrand **11**

Kapitel 2 – Släcktaktik vid silobränder **21**

Arbetsgång vid inertering av en silo 23

Kapitel 3 – Personsäkerhet **43**

Bildning av kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO_2) 43

Risker med kvävgas och koldioxid som släckmedel 44

Damm- och gasexplosioner 48

Kapitel 4 – Alternativ släcktaktik **55**

Släckinsats med skum 57

Injicering av vatten 58

Risker med att öppna silon 61

Miljöaspekter att tänka på 63

Kapitel 5 – Tänkbara brand-scenarier för en silobrand **65**

Självantändning 65

Yttre tändkälla 73

Kapitel 6 – Allmänt om silotyper och silolagring **77**

Silotyper 77

Siloinnehåll och fyllnadsgrad 82

Kapitel 7 – Förebyggande och förberedande åtgärder **89**

Riskbedömning enligt AFS 2003:3 90

Förberedelser för brandsläckning och tömning av silor 94

Förberedelser vid silotoppen 105

Funktionsprovning av gasinmatningssystemet 109

Förberedelser vid alternativ släcktaktik 109

Kapitel 8– Mobil gasutrustning **113**

Fördjupad information och kunskap **115**

Referenser 115

Illustrationer och foton 120

Inledning

Inledning

En brand i en siloanläggning är en ovanlig händelse för de flesta räddningstjänster och skiljer sig på många sätt från konventionella bränder. I många fall uppstår bränderna som en följd av en självuppvärmning av det lagrade materialet på grund av olika oxidationsprocesser och biologisk aktivitet som under olyckliga omständigheter kan leda till en pyrolysbrand, det vill säga en glödbrand i en starkt syrebegränsad miljö. Branden uppstår oftast djupt inne i materialet och är därför mycket svår att upptäcka och i dessa sammanhang är mätning av vissa gaskoncentrationer (bl.a. CO och CO_2) i kombination med temperaturmätningar inne i det lagrade materialet oftast den enda möjligheten att avgöra om något allvarligt är på gång. Att på detta sätt tidigt kunna detektera en eventuell brand är en mycket väsentlig del av det förebyggande arbetet som åligger siloägaren och genom att studera trenden i mätningarna kan man ofta få en tidig indikation om onormala förhållanden.

En konsekvens av den förhållandevis låga brandfrekvensen är att det saknas erfarenhet av denna typ av insats hos räddningstjänsterna och att det dessutom saknas lämplig släckutrustning. Brandförlopp och insatsens varaktighet skiljer sig markant från konventionell brandsläckning. För att insatsen ska bli så säker och effektiv som möjligt är det viktigt att beakta de specifika förutsättningar som gäller för en silobrand.

Genom målinriktade insatser under senare år har ett omfattande kunskapsbygge gjorts inom området genom

ett antal forskningsprojekt utförda vid SP Brandteknik och finansierade av Brandforsk, CECOST (The Centre for Combustion Science and Technology), MSB (fd Räddningsverket) samt flera industriintressenter. Med ledning av dessa kunskaper har det också varit möjligt att bistå de räddningstjänster som berörts vid ett antal verkliga silobränder vilket både gett ytterligare värdefulla erfarenheter samtidigt som forskningsresultaten till viss del kunnat verifieras. Dessa samlade kunskaper utgör grunden till de rekommendationer vi ger här.

> Den rekommenderade grundmetoden för släckning av en silobrand är en kombination av inertering av silon med kvävgas från botten och efterföljande tömning av silon.

Den rekommenderade grundmetoden för släckning av en silobrand är en kombination av inertering av silon med kvävgas från botten och efterföljande tömning av silon med övervakning och eftersläckning av varmt material.

Det bör dock redan här noteras att erfarenheterna från försök och verkliga bränder är begränsade till silor med en diameter upp till ca 10 m och bulkmaterial med relativt hög porositet (främst träpellets). Vid brand i silor med betydligt större diameter kan det uppträda skaleffekter, både avseende antändnings- och brandförlopp och själva släckinsatsen, som i detta läge inte kan förutses. Andra bulkmaterial kan också ha egenskaper som avviker från den kunskap vi har nu (porositet, permeabilitet etc.) vilket kan leda till större svårigheter att nå en jämn gasfördelning.

Till skillnad från en brand i en byggnad innebär en silobrand mycket begränsade insatsmöjligheter då det vanligen endast finns en mycket begränsad åtkomst från silobotten respektive silotoppen. Vid brand i större fristående silor, t.ex. för lagring av fasta biobränslen, är silodiametern ofta 20–30 m, vilket innebär stora praktiska problem för räddningstjänsten om inte förberedande åtgärder för släckinsatser vidtagits. Branden är oftast en pyrolysbrand djupt inne i det lagrade materialet i silon vilket gör det mycket svårt att lokalisera brandhärden och göra en riktad släckinsats. En pyrolysbrand genererar också mycket höga koncentrationer av giftiga och brännbara gaser som kan medföra stora risker för både anläggningens personal och räddningstjänsten. Att öppna upp silon för bättre åtkomst leder till ett förvärrat förlopp med stora risker för rökgasexplosioner, öppen

brand och brandspridning inom anläggningen vilket skulle få stora skador som följd.

Även ägare av silor har ofta en mycket begränsad kunskap om brandriskerna förknippade med silolagring. Riskerna är till stor del beroende av vilken typ av material som lagras och om verksamheten förändras kan också nya risker uppstå. Tidigare erfarenheter och rutiner är då inte alltid tillämpbara utan måste ses över. Den utökade hanteringen och lagringen av olika typer av biobränslen, både i befintliga och nya siloanläggningar, är ett exempel på förändringar där nya risker behöver uppmärksammas.

> En pyrolysbrand genererar mycket höga koncentrationer av giftiga och brännbara gaser som kan medföra stora risker för både anläggningens personal och räddningstjänsten.

Detta kunskapsmaterial är tänkt att användas både vid operativa insatser i direkt samband med en brand och i det förebyggande arbetet. Målgruppen är således både räddningstjänsten och siloägare samt brandskyddskonsulter. Syftet är att ge en generell förståelse av de brandförlopp som kan förväntas i en silo, vilka säkerhetsrisker som måste beaktas, att ge information om lämplig släcktaktik beroende på typ av brandscenario samt visa på förebyggande åtgärder för att undvika eller minimera konsekvenserna av en brand.

Detta dokument innehåller den mest grundläggande informationen. Kompletterande information, bl.a. artiklar och rapporter från olika forskningsprojekt kring brandrisker och brandsläckning, erfarenheter från inträffade olyckor och bränder etc. kommer att publiceras på MSB:s webbplats.

Det förebyggande arbetet är naturligtvis mycket viktigt för att så långt som möjligt undvika att explosion eller brand uppstår respektive att reducera konsekvenserna så långt som möjligt om en incident skulle inträffa. Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter, ”Arbete i explosionsfarlig miljö” åligger det anläggningsägaren att genomföra en riskbedömning som grund för olika typer av förebyggande skyddsåtgärder (AFS 2003:3, § 7). Anläggningsägaren ska utarbeta en dokumenterad riskbedömning som bland annat ska omfatta ”lämpligt släckmedel och släckförfarande vid brand för att förebygga explosion”.

Varje anläggning har sina förutsättningar och varje brand är unik och därför krävs specifika bedömningar kring hur en släckinsats ska genomföras i detalj. En insatsplanering

bör därför alltid genomföras i samråd mellan siloägaren och den berörda räddningstjänsten. Detta kan i sin tur resultera i att man vidtar vissa förberedelser så att en insats vid behov kan genomföras på ett snabbt, säkert och effektivt sätt. Det kan exempelvis vara förberedelser för inmatning av inertgas. En viktig förutsättning i detta sammanhang är att gasen ska matas in i gasform i silon och för detta krävs en förångarutrustning samt en lagringstank för gasen, utrustning för tryck- och flödesreglering, slangar etc. För att uppnå en rimlig balans mellan kostnad och nytta är förhoppningen att berörda intressenter (silooperatörer, pelletstillverkare, värmeverk) gemensamt investerar i en eller flera mobila enheter innehållande denna specialutrustning som vid brand kan rekvireras med kort varsel till den aktuella siloanläggningen (se vidare kapitel 8).

”
En insatsplanering bör alltid genomföras i samråd mellan siloägaren och den berörda räddningstjänsten.

Det är viktigt att poängtera att i dagsläget (2012) finns det inga garantier för att alla räddningstjänster kan få tillgång till en mobil förångarutrustning med tillhörande tank i en akut brandsituation.

Summering av åtgärder vid en silobrand

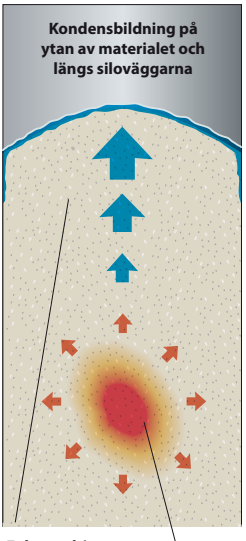
Kapitel 1

Summering av åtgärder vid en silobrand

För att underlätta en släckinsats vid en akut brandsituation presenteras nedan en övergripande summering av de beslut och åtgärder som behöver tas i samband med en misstänkt eller bekräftad silobrand. Om det finns en insatsplan ska man utgå från denna.

Identifiera typ av silo och brandscenario

Är det en glödbrand eller en utvecklad ytbrand med öppna lågor? Är glödbranden verifierad t.ex. genom kraftig rökutveckling, att glödande material upptäckts vid utmatning etc? Är det en misstänkt glödbrand som noterats genom skarp lukt, förhöjda temperaturer inne i silon, förhöjda halter av kolmonoxid, kraftig kondensbildning i silotoppen etc? En glödbrand uppstår ofta djupt inne i materialet och sprider sig långsamt nedåt medan pyrolys/rökgaser och fukt sakta sprids uppåt och det kan ta flera dagar innan mycket tydliga tecken till brand kan noteras. Vad är det för material i silon och vad är fyllnadshöjden? Se vidare i kapitel 5 och 6.



Gör en första riskbedömning och upprätta tillträdesregler

Tänk på att det kan förekomma mycket höga halter kolmonoxid i anläggningen både vid en misstänkt eller verifierad

glödbrand. Farliga halter kan även förekomma i personalutrymmen, kontrollrum etc. Mätinstrument som visar både kolmonoxid (CO) och syrgashalt (O_2) ska användas för att kontinuerligt bedöma riskområdet. Mätinstrumentet ska kalibreras regelbundet. Vid tveksamhet, använd komplett skyddsutrustning. Se vidare kapitel 3.

Tänk på risken för rökgas- och dammexplosioner

Om möjligt mät halten CO respektive O_2 för att bedöma riskerna inne i silotoppen. Noteras kraftigt förhöjda halter av CO, i storleksordningen > 2–5 %, och en syrgashalt överstigande 5 %, finns risk att rökgaserna kan vara brännbara och därmed en risk för gasexplosion och man bör då inte vistas på silotoppen mer än absolut nödvändigt. Utöka riskområdet även på marknivå i händelse av en explosion. Se vidare kapitel 3.

Stäng till så att lufttillförseln minimeras

Stäng luckor, täta öppningar på silon och stäng av ventilation, stäng spjäll, täta kanaler och anslutningar. På silotoppen måste det dock finnas en mindre öppning som kan släppa ut rökgaser men förhindra att luft sugs in. En gummiduk över en öppnad topplucka kan fungera som ”backventil”. Se vidare kapitel 2.

Rekvirera kvävgasutrustning

Rekvirera så tidigt som möjligt en förångarutrustning, kvävgastank samt en tankbil med flytande kväve (N_2). Förångarutrustningen

är nödvändig då kvävet måste matas in i gasfas. Uppgifter om bland annat journummer för att rekvirera utrustning och gas finns i RIB Resurs. Observera att utrustningen kräver en relativt stor uppställningsplats och placeringen bör väljas så att den placeras utanför ”säkerhetszonen” och att slangdragningen inte blockerar nödvändig trafik inom området. Eventuellt kan det finnas möjlighet att ta ut gas med begränsat flöde direkt från tankbilen i inledningsskedet. Se vidare kapitel 2.

Mata in kvävgas nära silons botten

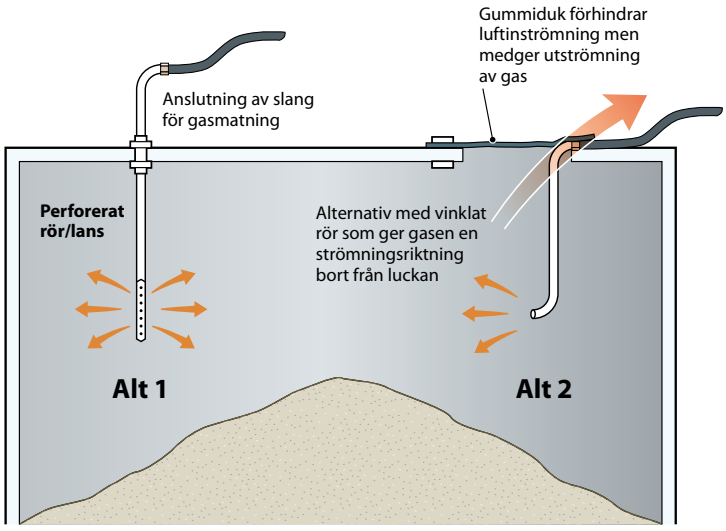
Att mata in kvävgas (N_2) nära silons botten är i de allra flesta fall den säkraste och effektivaste släckmetoden. Inmatningshastigheten av kvävgas baseras på silons tvärsnittsarea och bör uppgå till lägst 5 kg/m^2 tim vilket ger en genomsnittlig vertikal gasfyllnadshastighet av ca 8 m/tim (antaget ca 50 % porositet i bulkmaterialet). Det totala gasbehovet ska uppskattas baserat på silons bruttovolym (tom silo) och man bör räkna med ett totalt gasbehov på 5–15 kg/m^3 . Vid behov, förbered håltagningar vid silons botten och tillverka lansar för inmatning av gasen. Se vidare kapitel 2.

Rekvirera utrustningar för gasmätningar

Om möjligt rekvirera mätutrustning för att kunna mäta CO- och O_2-koncentrationen uppe i silotoppen under inerterings- och tömningsförloppet. Observera att mätinstrumentet för CO måste kunna mäta mycket höga halter, gärna minst 10 % CO för att kunna ge relevant information. Uppgifter om bland annat journummer för att rekvirera utrustning finns i RIB Resurs. Av säkerhetsskäl ska instrumenten placeras på tryggt avstånd från silon vilket kräver en kraftig gaspump. Gasledningen måste också förses med kondensfällor, partikelfilter och torkmedel för att skydda gasinstrumenten. Se vidare kapitel 2.

Skumbegjut om det behövs

Om leverans av gasutrustningen dröjer länge eller risken för en öppen brand är uppenbar kan man, om säkerheten tillåter, eventuellt begjuta materialet i silotoppen med brandsläckningsskum i form av mellanskum alternativt lättskum. Skummet ska också vara av god kvalitet så att dräneringen minimeras och en CAFS-utrustning kan med fördel användas om man har tillgång till sådan. Iaktta stor försiktighet så att man inte öppnar upp silon mer än nödvändigt och därmed syresätter pyrolysgaserna i silotoppen. Vidare måste man försöka minimera risken för att damm ska virvla upp vid påföringen. Insatspersonalen måste bära full skyddsutrustning. Se vidare kapitel 4.

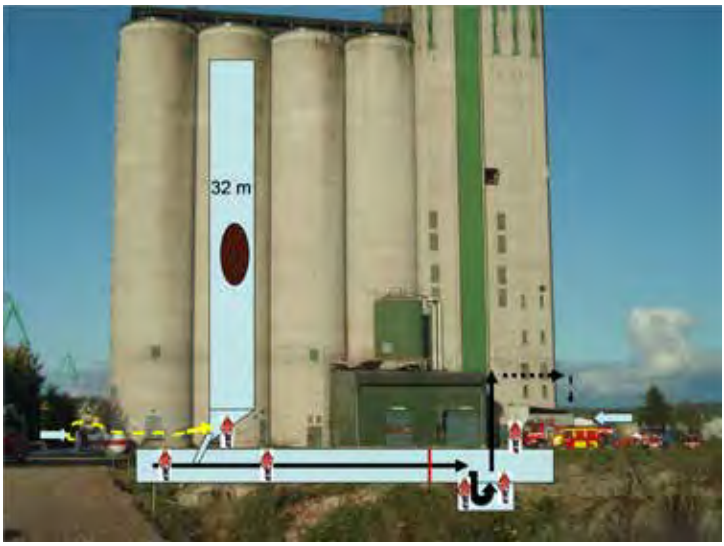


Inled inerteringen av silon

Inled inerteringen av silon snarast möjligt när gasutrustningen kommit på plats. Om explosionsrisken i silotoppen är stor (CO > 2–5 %, O_2 > 5 %) starta släckinsatsen med att mata in kvävgas i silotoppen. Detta måste göras med stor försiktighet så att inte damm virvlas upp och skapar risk för en dammexplosion. Så snart kvävgasfyllningen av silotoppen kommit igång, inled även inerteringen via silobotten, eventuellt med begränsad kapacitet. När syrgashalten i silotoppen understiger 5 % avbryts gasinmatningen via toppen och all gas matas in via botten med rekommenderad påföringshastighet. Se vidare kapitel 2.

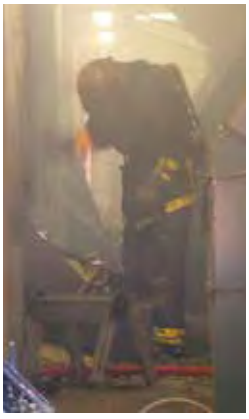
Påbörja tömning av silon när branden är under kontroll

Påbörja tömning av silon först när silon är helt inerterad och branden bedöms vara under kontroll, dvs när syrgashalten är mindre än 5 % och CO-koncentrationen är kraftigt reducerad. Brandpersonal med komplett skyddsbeklädnad måste finnas närvarande vid utmatningsöppningen för att kunna släcka eventuellt glödande material och vid behov rensa utloppsöppningen från klumpar av ”koksat” material. Bedöm kontinuerligt situationen inne i silon med hjälp av gasmätningarna i silotoppen. En ökande halt av kolmonoxid



tyder på en tilltagande aktivitet inne i silon medan en ökad syrgashalt kan bero på inläckage av luft. Om syrgashalten i silotoppen överstiger 5 % bör utmatningen avbrytas och inmatningshastigheten av kvävgas ökas till dess att halterna sjunker och syrgashalten understiger 5 % igen. Om det är möjligt kan gasinmatning även ske i silotoppen vid förhöjd syrgashalt. Var observant på eventuella valvbildningar eller häng inne i silon som kan skapa problem med tömning och försvåra släckinsatsen. Se vidare kapitel 2 och 6.

Räkna med att tömningen kan ta lång tid



Räkna med att tömningen kan ta åtskilliga timmar, ibland flera dygn. Utgå ifrån maximal utlastningskapacitet och räkna med att tömningen kommer att ta minst 2–4 gånger längre tid. Eftersom brandpersonal måste vara närvarande vid tömningsöppningen (och eventuellt på andra platser längs utmatningssystemet) kommer det att krävas mycket personal som kan byta av med korta mellanrum. Det kommer också att gå åt ett mycket stort antal luftpaket till personalens andningsapparater.

Sortera utlastat material

Sortera utlastat material så att oskadad pellets läggs upp separat från pellets som är missfärgad eller innehåller pyro-

lyserade pellets, ofta i form av stora koksliknande klumpar. Bevaka pelletshögen och genomför kompletterande släckning vid behov. Oskadat material kan vid behov skyddas mot nederbörd med pressningar. Den här hanteringen kan kräva stora upplagsytor.

Fortsätt mata in gas under tömningen

Fortsätt gasinmatningen via silobotten under hela tömningsförloppet. Inmatningsmängden regleras med ledning av syrgasmätningarna i silotoppen och syrgashalten bör inte överstiga 5 %.

Varning!

Gå inte in i en byggnad utan personburen gasmätutrustning eller andningsapparat! Höga halter av kolmonoxid (CO), koldioxid (CO_2) och oförbrända pyrolysprodukter, ibland i kombination med mycket låg syrehalt, medför stor risk för förgiftning och i värsta fall medvetslöshet och dödsfall.
Se vidare kapitel 3.

Använd inte vatten inne i en silo, framförallt inte om silon innehåller pellets! Detta medför stor risk för att pelletsen sväller vilket kan skapa häng och valvbildningar i silon. I värsta fall kan detta leda till en kollaps av silokonstruktionen. Att använda vatten kan också leda till bildning av kolmonoxid (CO) och vätgas (H_2). Det finns dock vissa situationer där vatten eller skum kan vara brukbara. Se vidare kapitel 4 och 6.

Öppna inte silon! Lufttillträde kommer att syresätta branden vilket leder till ökad intensitet som i sin tur kan bidra till en snabb brandspridning i bl.a. transportsystem före och efter silon samt leda till allvarliga gas- o dammexplosioner. Se vidare kapitel 2.

Kväve i flytande form (-196°C) eller mycket kall gas kan ge skador! Kontrollera därför temperaturen på gasen efter förångaren så att inte slangar och annan utrustning skadas genom att flytande kväve kommer ut i ledningssystemet. Flytande kväve på kroppsdelar orsakar omedelbart mycket svåra frostskador och heltäckande skyddsklädsel ska därför användas i närheten av vätskefyllda ledningar. Höga halter av kvävgas i slutna utrymmen kan dessutom snabbt leda till kvävning.

Släcktaktik vid silobränder

Kapitel 2

Släcktaktik vid silobränder

Det svåraste scenariot för räddningstjänsten är att hantera en djup glödbrand eftersom den är mycket svår att komma åt. Eftersom branden dessutom är svår att detektera i ett tidigt skede finns en risk att branden är omfattande när den upptäcks. Om man inte lyckas med att kontrollera en djup glödbrand kommer den att utvecklas vidare och kan även övergå till en öppen brand i silotoppen på grund av den stora mängd brännbara pyrolysgaser som genereras inne i silon. Detta innebär ett hot mot både silokonstruktionen och angränsade transportsystem.

I följande rekommendationer är den primära släcktaktiken att inertera silon med inertgas (kvävgas) för att på så sätt tränga undan syret och successivt dämpa pågående pyrolys. Detta ger den bästa möjligheten till en säker och väl kontrollerad insats. När det gäller bränder i siloanläggningar måste man också räkna med att släckningen kommer att ta lång tid, både för att kontrollera branden och att därefter kunna tömma silon på ett säkert sätt. Släckmetoden i sig påverkar inte det lagrade materialet vilket gör att insatsen kan startas i ett mycket tidigt skede, t.o.m. innan en brand med säkerhet har bekräftats.

Användning av kvävgas istället för koldioxid rekommenderas av tre skäl.

- Koldioxid kan under de förhållanden som råder vid en silobrand (brännbart material, syreunderskott, vatten-

Brandscenarier som inte ska behöva inträffa om rätt åtgärder vidtas, både i det förebyggande arbetet och vid den operativa släckinsatsen.Bränderna på silotopparna är sannolikt orsakade av brännbara pyrolysgaser som bildats inne i silorna och som sedan antänt siloöverbyggnaderna.

ånga och höga temperaturer) ge upphov till kemiska reaktioner som leder till bildning av stora mängder kolmonoxid samt vätgas, vilket kan leda till en allvarligt förvärrad situation.

- Flytande kväve är betydligt enklare att förånga än flytande koldioxid, mer lättillgänglig och är dessutom billigare.
- Det medför inte risk för statisk elektricitet vid gasinmatningen. Se vidare kapitel 3.

I de fall användningen av kvävgas av någon anledning inte bedöms som genomförbar, till exempel vid en omfattande ytbrand i silon, finns vissa *alternativa metoder* (skumbegjutning, vattenpåföring, vatteninjicering) som kan vara tillämpliga. Användning av vattenbaserad släckning i silor är som nämnts ovan förenad med många problem och risker och måste övervägas mycket noga. Se vidare kapitel 4.

Arbetsgång vid inertering av en silo

I det här avsnittet redovisar vi arbetsgången vid inertering av en silo där en brand bekräftats eller misstanken är så stark att man tar beslutet att inertera silon för säkerhets skull. En beskrivning av olika tecken på brand ges i kapitel 5. Oavsett om det handlar om en misstänkt brand eller en verifierad brand så måste man löpande utvärdera riskerna för personalen, både risken för förgiftning och för gas- och dammexplosioner. Detta poängteras nedan i olika arbetsmoment men beskrivs också utförligare senare i kunskapsmaterialet.

Minska tillgången till syre

För att reducera intensiteten av en pågående glödbrand inne i bulkmaterialet bör man täta silon så fort som möjligt, både i silotoppen och i silobotten. Stoppa ventilationssystemet om det finns ett sådant. Alla öppningar och otätheter eller ventilation kommer att medföra inläckage av luft vilket i sin tur bidrar till att underhålla eller intensifiera en brand. Vid detta tätningsarbete är det mycket viktigt att ta hänsyn till faran för gas- och dammexplosioner samt riskerna med giftiga rökgaser.

Vid silobotten bör man kontrollera och vid behov täta utmatningsöppningar, inspektionsluckor och andra öppningar. Kontrollera även om det finns springor mellan silovägg och silobotten eller silokon. Täta de springor som upptäcks.

På silotoppen ska luckor eller öppningar och alla ”öppna” anslutningar mot transportsystem, stoftutsugningssystem och liknande blockeras. Dessa förbindelser kan dels innebära tillträde för friskluft in till silon, dels kan rökgaser och brand också spridas in till närliggande silor och till övriga delar av anläggningen. Vissa tätningsåtgärder, t.ex. att täta öppningar mellan siloceller, är svåra att göra i ett akutskede och bör därför göras i det förebyggande arbetet.

För att möjliggöra tryckavlastning måste det finnas en öppning i silotoppen. Under släckningsarbetet kan man behöva tryckavlasta på grund av värme och gasinmatning. I ett akut läge bör man öppna en lucka till aktuella silon som istället täcks med någon form av gummiduk eller

Exempel på öppningar, transportsystem, ventilationsrör, etc. som kan behöva tätas, både i silotoppen resp i silobotten. I äldre betongsilor finns dessutom ofta öppningar mellan silocellerna under silotaket vilket innebär att angränsade siloceller också kan behöva tätas.

motsvarande så att gas kan strömma ut samtidigt som luft förhindras att strömma in. Möjligheter finns också att vidta andra enkla, förberedande åtgärder som innebär att rökgaserna också kan ledas ut i fria luften, se vidare kapitel 7. Detta kan reducera saneringskostnaderna då rökgaserna innehåller stora mängder tjära och andra ämnen som annars kan kontaminera överbyggnaden och den tillhörande utrustningen.

Är silon utrustad med explosionsluckor, t.ex. en fristående biobränslesilo, kan någon eller några av dessa frigöras så att luckan kan läcka ut gas vid tryckökning. Luckans egentyngd ska då förhindra att luft kan sugas in. Luckan måste dock naturligtvis säkras så att den inte kan falla ner.

Öppna absolut inte silon

Silon får under inga omständigheter öppnas upp så att en genomventilation kan uppkomma. Lufttillförseln kan leda till en häftig brandutveckling och explosion. Det finns många exempel på

Exempel på brandscenarier som kan inträffa om en håltagning görs i en silo med en pågående glödbrand.

bränder där detta medfört både omfattande brandspridning och uppenbara risker för involverad personal.

Gasutrustning

Kvävgas och gasutrustning ska rekvireras snarast möjligt. Uppgifter om bland annat journummer för att rekvirera utrustning och gas finns i RIB Resurs. Kvävgasen levereras med tankbil där kvävet förvaras i flytande form genom att den är kyld till -196 ˚C. Eftersom kvävet måste vara i gasfas när den matas in i silon krävs en förångarutrustning. (*OBS! Det finns bara begränsad tillgång till förångarutrustning i dagsläget, se vidare information nedan och i kapitel 8*). Förångarutrustningen fungerar som en stor värmeväxlare där energin i den omgivande luften används för att förånga kvävet. Om möjligt bör man även rekvirera en mobil kvävgastank som man ställer upp i direkt anslutning till förångaren. Detta innebär att lastbilen med kväve bara behöver fylla den mobila tanken

Kvävgas

Smältpunkt: -210 ˚C
Kokpunkt: -196 ˚C
Gasdensitet vid 1,013 bar och 15 ˚C: 1,185 kg/m^3
Specifik volym vid 1,013 bar och 21 ˚C: 0,862 m^3/kg
Relativ densitet (luft = 1,0) vid 1,013 bar och 21 ˚C: 0,967
(referens: www.encyclopedia.airliquide.com)
Se även vidare kapitel 3 avseende personrisker.

och behöver således inte vara kvar på platsen under hela insatsen. Om gasmängden i den mobila tanken inte visar sig räcka till kan man senare rekvirera påfyllning och den kan göras utan att inerteringen behöver avbrytas.

Från kvävgastanken matas förångaren med flytande kväve (-196 °C) via en specialutformad metallslang som är konstruerad för att klara dessa låga temperaturer. Efter förångaren bör det också finnas en reglerutrustning där utgående gastryck och gasflöde kan mätas och regleras men är inte absolut nödvändigt. Det bör även finnas möjlighet att mäta utgående gastemperatur för att kontrollera att förångaren inte överbelastas så att mycket kall gas eller flytande kväve går ut i ledningarna och in i silon.

Efter förångaren är gastemperaturen normalt ca 10°C lägre än omgivningstemperaturen vid förångarens nominella kapacitet men den påverkas av lufttemperaturen och det uttagna gasflödet. Det innebär att gasen i de flesta situationer kan ledas fram till silon med hjälp av någon typ av slang. Om matningstrycket är lågt och om gastemperaturen inte är alltför låg kan vanlig hydraulslang (små flöden), flatrullad ”snökanonslang” eller t.o.m. vanlig flatrullad brandslang användas (se nedan). Fördelen med hydraulslang och snökanonslang är att dessa tål ett högre tryck och ger ett säkrare kopplingsalternativ jämfört med brandslang.

Exempel på slangdimensioner

Här ges två exempel på ett ungefärligt förhållande mellan gasflöde, slangdimension och slanglängd. Förutsättningen är ett matningstryck på 3 bar vid förångaren och att man ska ha ett tryckfall på max 1 bar, d.v.s. det ska vara 2 bars tryck vid anslutningspunkten mot silon.

1. En slang med 25 mm invändig diameter kan vid ett gasflöde på 100 kg/tim vara max 80–100 m lång. Vid 300 kg/tim är maximal slanglängd 10–15 m.
2. En slang med 50 mm invändig diameter kan vid ett gasflöde på 500 kg/tim vara max 150–180 m lång. Vid 1000 kg/tim är maximal slanglängd ungefär 50 m. Se vidare i kapitel 7.

Leveranstiden för kvävgasen är oftast relativt kort (några timmar) eftersom gasleverantörerna har ett relativt stort

antal bilar i trafik. Vilken leverantör som är mest lämplig kan bl.a. bero på var i landet branden inträffar. När det gäller förångarutrustningen kan leveranstiden vara betydligt längre. Gasleverantörerna har ett antal mobila förångarutrustningar av olika storlek och kapacitet men antalet är begränsat och det finns inte någon garanti för att det alltid finns en utrustning ledig. Även om en lämplig utrustning finns tillgänglig behöver utrustningen plockas ihop, lastas och transport arrangeras. I kombination med transportsträckan kan det innebära att det kan ta åtskilliga timmar innan utrustningen är på plats.

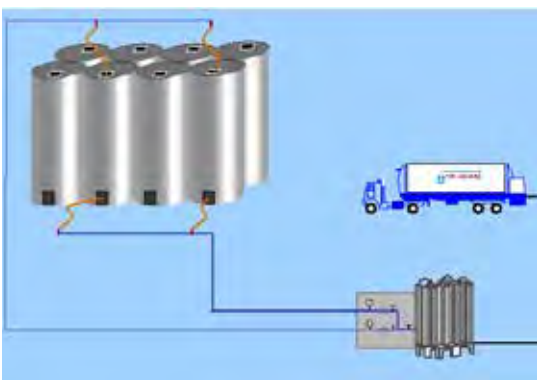
Gasleverantörerna har även mobila kvävgastankar med olika lagringsvolym för uthyrning men liksom för förångare är tillgången begränsad och ingen kan ge några garantier om tillgänglighet. Gastanken är dock inte lika kritisk som förångaren eftersom man alltid kan koppla kvävgasbilen till förångaren. Men det innebär att man låser ett tankfordon på platsen vilket kan skapa problem hos gasleverantören. Gasleverantörerna tillhandahåller servicepersonal som kopplar ihop gasutrustningen och startar upp den. När detta är klart kan man dock utan problem sköta utrustningen själv med hjälp av de instruktioner man får.

I vissa fall bör man överväga att skaffa en egen tank och förångarutrustning.

Om det tar mycket lång tid att få fram förångarutrustning kan man eventuellt inleda inerteringen med den begränsade förångningskapacitet som man kan få direkt från tankbilen. Om man redan i planeringsstadiet ser att det kan ta många timmar innan förångarutrustningen är på plats bör man överväga att skaffa en egen förångarutrustning, om än med begränsad kapacitet. Då kan en släckinsats påbörjas med relativt kort varsel.

En förhoppning för framtiden är att siloägare och siloperatörer gemensamt investerar i en mobil förångarutrustning och annan specialutrustning som kan behövas för silobrandsläckning (se vidare kapitel 8).

Med tanke på att leveranstiden för gasutrustningen kan vara ganska lång är det alltså mycket viktigt att reagera i ett tidigt skede om man misstänker en pågående silobrand. Eftersom förloppet i inledningsskedet ofta är relativt långsamt kan man i så fall ändå komma igång med en släckinsats utan att en omfattande brand hinner uppstå. Eftersom en kvävgasinmatning inte leder till några skador på det lagrade materialet behöver man inte tveka att starta en gasinmatning så snart misstanke om en brand föreligger. Väntar man för länge kan brandförloppet snabbt förvärras vilket ökar risken för gasexplosion och en fullt utvecklad brand som kan leda till totalskada.



Inertgassystem för silobrandsläckning (AirLiquide) respektive foto av mobil förångarutrusning , gastank och tankbil (AGA)

Gasdimensionering

Det gasflöde som används vid en inertering ska anpassas till silons diameter, det vill säga till dess tvärsnittsarea. Gasflödet är också avgörande för vilken kapacitet som krävs för förångarutrustningen. På basis av forskning och genomförda släckförsök respektive erfarenheter från några verkliga släckinsatser rekommenderas en *inmatningshastighet på lägst ca 5 kg/m² per tim (gärna upp till 10 kg/m² per tim)* under inledningen av släckinsatsen. Observera att finmalet pulvermaterial som exempelvis träpulver kan kräva lägre inmatningshastighet för att undvika dammbildning vilket skulle kunna leda till en dammexplosion.

Den totala gasförbrukningen är mycket svår att uppskatta eftersom den beror mycket på silons konstruktion och täthet, hur snabbt silon kan tömmas och andra faktorer. En grov uppskattning kan dock vara av intresse för exempelvis gasleverantören så att man redan i inledningsskedet kan börja planera för gasförsörjningen under hela insatsen. Uppgiften är även av intresse när det gäller volymen på en eventuell mobil kvävgastank. Som ett riktmärke kan man räkna med en total gasförbrukning på 5–15 kg/m³, där volymen avser silons bruttovolym. Denna förbrukning är baserad på erfarenheter från faktiska silobränder,

Exempel på gasdimensionering

1. En tornsilo har diametern 8 m och höjden 45 m. Silons tvärsnittsyta kan beräknas till ca 50 m² och dess bruttovolym 2 260 m³. Gasinmatningshastigheten ska inledningsvis uppgå till lägst ca 250 kg/tim (5 kg/m²/tim x 50 m²) och den totala gasförbrukningen kan uppskattas till ca 10–35 ton (5 kg/m³ x 2 260 m³ = 11 400 kg respektive 15 kg/m³ x 2 260 m³ = 33 900 kg).
2. En biobränslesilo har diametern 25 m och en genomsnittlig höjd på 30 m. Silons tvärsnittsyta kan beräknas till ca 490 m² och dess bruttovolym till ca 14 700 m³ . Gasinmatningshastigheten ska därmed inledningsvis uppgå till lägst ca 2 500 kg/tim (5 kg/m²/tim x 490 m²) och den totala gasförbrukningen kan uppskattas till ca 75–220 ton (5 kg/m³ x 14 700 m³ = 73500 kg respektive 15 kg/m³ x 2 260 m³ = 220 500 kg).

Utrustning för gasinmatning i silon

Primärt ska kvävgasen matas in vid silons botten men inledningsvis kan det även finnas behov av att inertera utrymmet i silotoppen för att undvika risk för gas- och dammexplosion.

Inertering via silons botten

Genom att mata in gasen vid eller i närheten av silons botten kan man i möjligaste mån säkerställa att hela silon blir inerterad. För att säkra en så jämn gasfördelning som möjligt över hela silons tvärsnitt krävs dessutom i de flesta fall att gasen släpps in på flera ställen. Kravet på en effektiv fördelning blir viktigare ju större diameter silon har och ju lägre den maximala lagringshöjden är. Om fördelningen inte är effektiv riskerar man att bara inertera en del av silon. *Helst bör alla silor vara förberedda för en släckinsats (se vidare kapitel 7), speciellt vid större silodiametrar eller om tillgängligheten runt silon är begränsad.* I många fall saknas dock förberedelser och nedan ges därför några exempel och tips på hur gasinmatningen kan lösas i ett akutskede med hjälp av rörformade, perforerade lansar som pressas in i materialet vid insatsen.

För små silodiametrar räcker det normalt med ett gasinlopp i eller nära silons centrum. Om silons diameter överstiger 6–8 m, eller om silons höjd eller lagringshöjd understiger 2 x silodiametern, bör gasinmatningen om möjligt fördelas på 2–3 inlopp över tvärsnittet. Om diametern hos den drabbade silon är betydligt större, 10–15 m eller mer och lagringshöjden är relativt begränsad, krävs ytterligare gasinlopp för att uppnå en bra gasfördelning över hela tvärsnittsytan och man bör då försöka trycka in lansarna till minst halva silons radie. Då detta är svårt att åstadkomma i ett akutskede bör man som första steg försöka få till stånd ett gasinlopp i silons centrum om silokonstruktionen medger detta. Det kan exempelvis vara i anslutning till utmatningsöppningen om silon har en centrumutmatning. Eftersom en självantändning normalt sett uppstår relativt djupt inne i materialet finns då en större chans att gasen verkligen når en glödhärd i silons centrum. I det fall man på någon del av silomanteln ser tecken på en förhöjd temperatur kan detta innebära att branden spridit sig i sidled eller

orsakats av varmgång i t.ex. en tömningsskruv och då bör man naturligtvis också försöka att snabbt få till stånd ett gasinlopp i detta område. För att säkerställa att hela silons innehåll har inerterats behöver sannolikt flera lansar även tryckas in från sidan i ett senare skede. Att få in lansar djupt in i materialet i stora silor kan vara problematiskt eftersom trycket från vissa bulkmaterial och friktionen mot lansen kan innebära ett mycket stort motstånd. Sannolikt behövs maskinell utrustning för att få in lansen, den kan till exempel tryckas in med en lastmaskin eller med hjälp av någon form av borrutrustning.

Att använda lansar innebär således att en eller flera håltagningar måste utföras på lämpliga ställen i siloväggen nära silons botten där lansen kan pressas, slås eller borras in i materialet. Är det en betongsilo krävs en borrutrustning för betong. Dessa silor har i den nedre delen (ca 1/3 av silons totala höjd) en mycket kraftigt ringarmering med ca 0,3 m avstånd och denna armering ska man försöka lämna intakt vid håltagningen. En konstruktionsritning är därför av stort värde. Är det en stålsilo använder man lämpligen en hålsåg av lämplig dimension. Det är då viktigt att kyla stålplåten så

Betongsilor har alltid en mycket kraftig armering i silons nedre del som bör skadas i minsta möjliga mån.

att man inte riskerar att antända materialet på insidan av plåten.

Vid håltagning är det också viktigt att kontrollera ritningarna så att inte håltagningen eller lansen hindras av någon konstruktionsdel eller utmatningsutrustning på silons insida. Håltagningen bör vara så stor att lansen med god marginal kan pressas in utan problem. Vid betongsilor med stor väggtjocklek krävs ett något större hål eftersom lansen annars kan kärva mot betongen om bulkmaterialet pressar lansen nedåt. Efter att lansen pressats in är det viktigt att täta runt den så att inget inläckage av luft uppstår.

Vid utmatning kan lansen skadas när bulkmaterialet i silon sakta sjunker nedåt. Detta kan innebära att lansen böjs och kan den vara svår att få ut igen. Lansar bör därför inte monteras permanent i en silo om det inte kan göras utan att lansen skadas samtidigt som den inte får förhindra utmatningen av material.

Lansarnas diameter och perforering måste anpassas till det gasflöde som behövs och deras längd till hur djupt in i silon lansen behöver pressas in och till antalet lansar som används. Lansarna kan tillverkas av vanliga stålrör (vattenledningsrör) med en diameter på ca 25–50 mm beroende på gasflödet per lans. Generellt sett vill man sprida gasen så väl som möjligt och i vissa fall kan då en utbredd perforering längs lansen vara ändamålsenlig. Å andra sidan är det viktigt att ingen del av perforeringen hamnar utanför silon för den händelse man inte lyckas pressa in lansen så långt som det var planerat. I de fall man vill få in gasen långt in i materialet måste perforeringen begränsas till lansens främre del. Håldiametern bör anpassas till bulkmaterialets dimension. För t.ex. träpellets som normalt har en diameter av 8 mm är en håldiameter på 6 mm lämplig, för finare fraktioner, t.ex. 6 mm pellets eller träpulver, kan 4 mm hål användas. Antalet hål bestäms av det maximala flöde som ska matas in genom respektive lans. Perforeringen begränsas lämpligtvis till lansens halva diameter så att den perforerade delen kan vändas nedåt och åt sidorna vilket minskar risken för igensättning.

Exempel på gasflöden med olika typer av lansar

En lans med en invändig diameter på 25 mm och totalt 20 hål à Ø 4 mm räcker utan problem till ett gasflöde på 80–100 kg/tim. En lans med en invändig diameter på 50 mm och totalt 20 hål à Ø 6 mm räcker utan problem till ett gasflöde på 300–400 kg/tim. Dessa lansar ger i sig ett mycket lågt tryckfall vid de angivna flödena men man får räkna med att det totala matningstrycket vid lansen kan uppgå till 0,5–2 bar vid inmatning i t.ex. träpellets. Andra bulkmaterial med lägre gasgenomsläpplighet kan naturligtvis skapa ett högre mottryck.

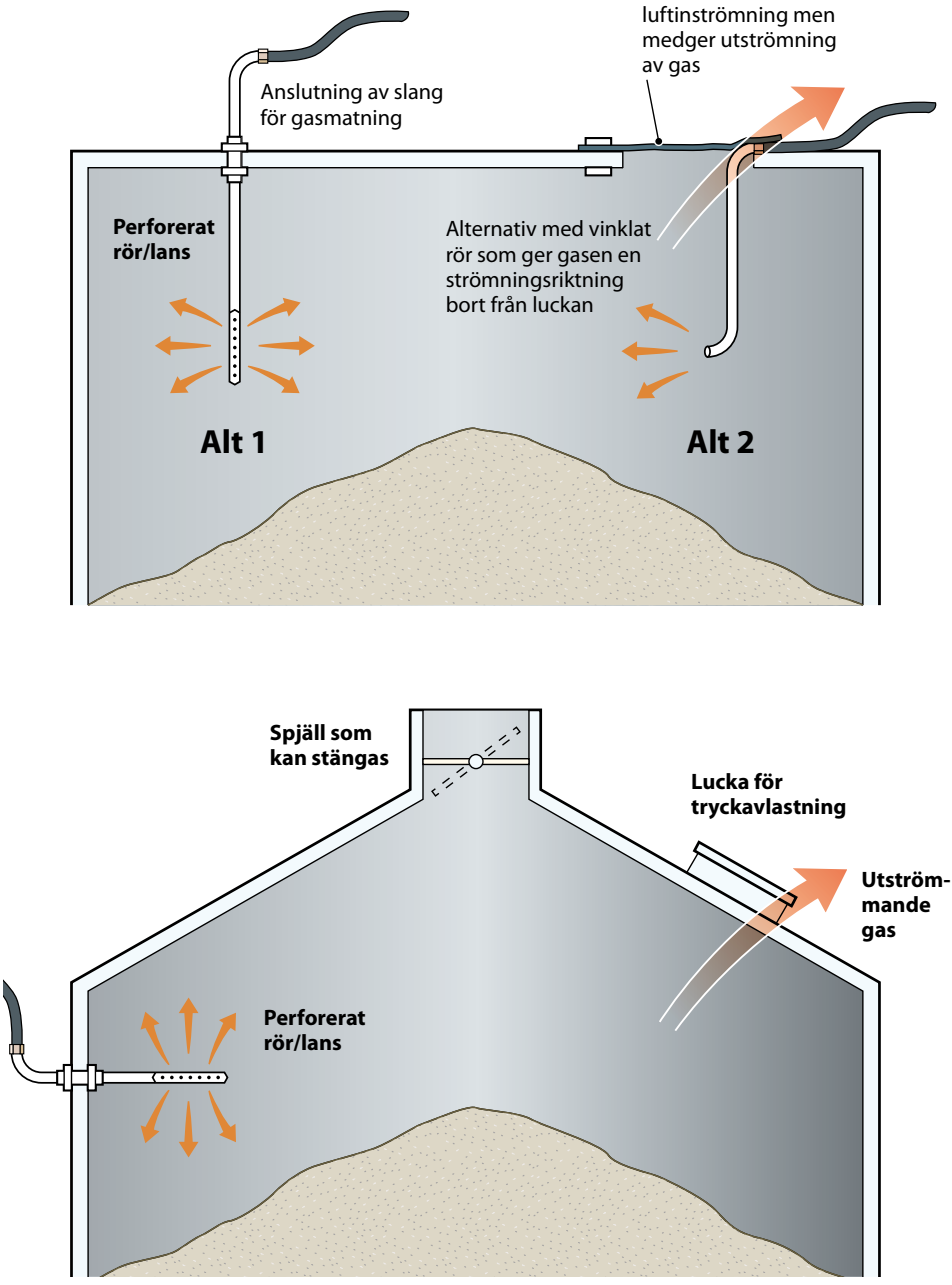
Exempel på temporär gasinmatning vid silobränder genom bl.a. användning av rörformade, perforerad lansar som förs in i materialet strax ovanför silons botten.

Lansen ska förses med en lämplig koppling så att gasslangen från förångarutrustningen kan anslutas på ett säkert sätt. Eftersom gasutrustningen (tanken, förångaren och metallslangarna) är försedd med speciella gaskopplingar behöver någon form av övergång ordnas. Normalt sett har servicepersonalen från gasleverantören med sig ett stort antal olika övergångar, bl.a. till vanlig rörgänga. Man kan därför lämpligen förse lansen med en rörgänga eller koppling med rörgänga. Eventuellt kan även någon form av flänsförband vara ett alternativ men detta bör i så fall samordnas med gasleverantören.

Inertering av silotoppen

Om det ur säkerhetssynpunkt (t.ex. på basis av gasanalyser) bedöms föreligga en överhängande explosionsrisk i silotoppen bör man inleda med att inertera denna. Primärt är syftet att reducera syrgashalten inne i silotoppen så att en antändning inte kan ske även om brännbara gaser skulle förekomma. Man bör sikta på en syrgashalt lägre än 5 %. Kvävgasen kan i detta fall ledas in i silotoppen med hjälp av en lans eller öppet rör. I detta läge är håltagningar riskabla och lansen eller röret bör lämpligen stoppas in i silotoppen via en lucka eller någon annan öppning. Gasinmatningen bör ske så långt som möjligt ifrån den öppning som fungerar som tryckavlastning i silotoppen för att få bästa möjliga inerteringseffekt för hela volymen i silotoppen. Även här är det viktigt att täcka över och täta öppningen med exempelvis en gummiduk så att inläckage av luft förhindras. Några riktlinjer kring lämpligt gasflöde vid inertering av silotoppen finns inte men generellt bör man använda ett lägre flöde än det som används vid gasinmatning via silobotten och 1–3 kg/m^2 tim kan anses rimligt för att undvika alltför stora gasförluster. Man bör dessutom börja med ett ännu lägre flöde som sedan sakta justeras upp så att inte gasen i sig virvlar upp eventuellt avlagrat damm innan man fått en viss inerteringseffekt.

Inertering av silotoppen i små silor kan göras med hjälp av komprimerad kvävgas som levereras i form av enskilda gasflaskor eller flaskpaket. Ett flaskpaket med 12 st samman-



Avluftning samt inertering av silotoppen för en tornsilo respektive en fristående bränslesilo.

kopplade kvävgasflaskor à 50 liter vardera och med trycket 200 bar innehåller totalt 120 m^3 fri gas, d.v.s. ca 10 m^3 gas per femtioliters gasflaska.

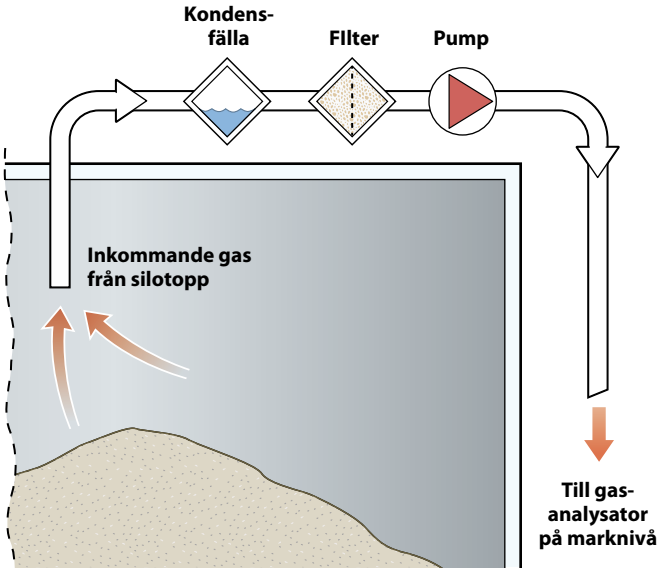
En av de vanligaste släckmetoderna för silobränder har varit att inertera silotoppen med koldioxid. Detta avråder vi starkt ifrån. (se vidare kapitel 3).

Arbetsgång, observationer, mätningar och bedömningar under inerteringsförloppet

För att göra det möjligt att kontrollera vilken släckeffekt insatsen har bör temperatur och gassammansättning (åtminstone kolmonoxid och syre) mätas i silotoppen. Detta är i praktiken den enda möjligheten att få bekräftelse på att inerteringen ger avsedd släckeffekt och att branden successivt dämpas. Av säkerhetsskäl bör mätinstrumenten placeras i ett säkert utrymme på marknivå vilket kan innebära att man måste dra långa ledningar för gasen från silotoppen till instrumenten. En gaspump av med hög kapacitet är därför nödvändigt för att transporttiden, och därmed tidsfördröjningen av analysdata, inte ska bli för lång. Pumputrustning med tillbehör samt analysinstrument som bl.a. klarar mycket höga CO-halter måste därför sannolikt rekvireras. Uppgifter om bland annat journummer för att rekvirera utrustning finns i RIB Resurs. Om möjligt bör man inleda mätningarna innan gasinmatningen påbörjas för att få ett referensmått på utgångsläget.

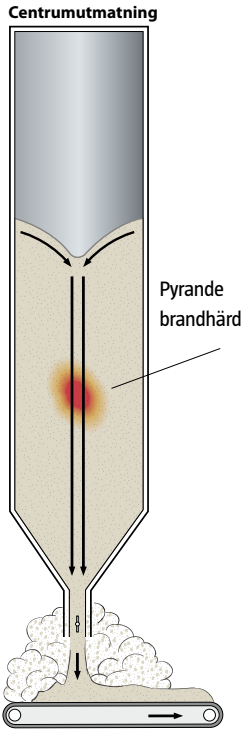
Kvävgasinmatningen ska inledas så snart all utrustning är på plats. Om leveransen av förångarutrustningen dröjer kan man eventuellt inleda en inertering (i silotoppen eller i silobotten) med matning direkt från tankbilen även om detta innebär en mycket låg kapacitet eftersom bilens förångningskapacitet är mycket begränsad. Om gas ska matas in i silotoppen är det normalt sett endast nödvändig under inledningsskedet och inmatningen ska styras med ledning av resultaten av gasanalyserna. När silotoppen bedöms vara inerterad kan inmatningen reduceras eller stoppas och gasinmatningen vid silobotten prioriteras.

När kvävgasinmatningen vid silons botten påbörjats kommer det sannolikt att dröja ett antal timmar till dess en



Pumputrustning vid silotoppen resp gasanalysinstrument och dataloggerutrustning, helst på markplan på skyddad plats.

släckeffekt kan noteras. Som riktvärde kan man utgå ifrån att en inmatningshastighet av 5 kg/m^2 tim motsvarar en genomsnittslig vertikal gasfyllnadshastighet (”pluggflöde”) på ca 8 m/tim förutsatt att materialet har en porositet av 50 % (t.ex. träpellets). Om det finns möjlighet att, åtminstone i ett inledningsskede, öka inmatningshastigheten ytterligare kommer pluggflödet att öka i motsvarande grad. Inledningsvis kan analysinstrumenten i silotoppen visa på ökande gaskoncentrationer och man kan se att rökbildningen ökar eftersom kvävgasen successivt kommer att



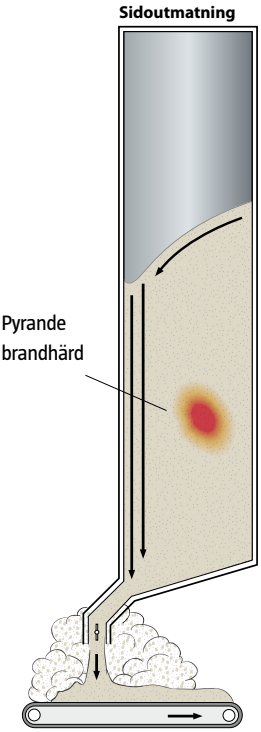
Vid tömning av en silo erhålls ofta en "tratt-strömning", dvs materialet bildar en tratt ovanför utloppet där materialet från ytan rinner ner. Tömning av en silo innehållande en brandhärd innebär också stor risk för dammexplosion och/eller spridning av branden i transportsystemet om inte branden är under kontroll och silon hålls interad under hela tömningsoperationen.

pressa upp de förbränningsgaser som finns inne i bulkmaterialet. Men kvävgasen trycker också undan luft och syre och bidrar därmed till att glödbranden inne i bulken dämpas. Efter någon eller några timmars gasinmatning (tiden beror bl.a. på inmatningshastighet, silons höjd och fyllnadshöjd) kommer kvävgasen att ha "spolat" igenom bulkmaterialet och når då silotoppen vilket kommer att resultera i en sjunkande halt av kolmonoxid och syrgas. (Syrgashalten kan eventuellt ha varit låg hela tiden på grund av att branden redan förbrukat syret). Sjunkande koncentration av framförallt kolmonoxid är ett tydligt tecken på att brandintensiteten reducerats. När gashalterna börjar stabiliseras på en relativt låg nivå (kolmonoxidhalt lägre än ca 1 % och syrgashalt lägre än ca 5 %) kan gasflödet successivt reduceras i syfte att upprätthålla en inerterad miljö i silon. Hur mycket gasflödet kan reduceras beror på silons täthet, hur effektivt gasen distribueras över silons tvärsnitt etc. och inmatningen måste således styras med ledning av resultaten av gasmätningarna. Som riktvärde bör inmatningshastigheten inte understiga 1 kg/m^2 tim, det är i så fall bättre att köra intermittent inmatning med ett högre flöde. Här är det återigen viktigt att komma ihåg att det kan dröja flera timmar från det att gasinmatningen ändras till dess en effekt noteras i silotoppen. Regleringen av gasflödet måste således ske stegvis och baseras på gasmätningarna i silotoppen så att man kan upprätthålla en säker miljö inne i silon.

Tömning av silon inleds först när man bedömer att brandförloppet med säkerhet har stabiliserats, d.v.s. mätningar och visuella iakttagelser av rök etc. indikerar att branden är helt under kontroll. Gasinmatningen ska dock fortgå under hela tömningsprocessen eftersom glödhärdar kan friläggas under tömningen och aktiviteten då kan komma att öka igen.

Många material kan klibba ihop och skapa hårda, solida "kakor" uppe på ytan, bl.a. på grund av att det bildats kondens på grund av branden. Detta kan skapa stora problem då materialet kan fastna på siloväggarna och skapa "häng" eller "valvbildningar". I vissa fall kan självantändningen också uppstå inne i själva hänget och valvbildningen vilket kan leda till mycket komplicerade brandförlopp och släck-

insatser. Vid en glödhärd inne i en valvbildning eller ett häng är branden svåråtkomlig och inertgasen har sannolikt svårt att penetrera ända in till glödhärden. Om det uppstått häng eller valvbildning kan detta medföra omfattande och kortvariga ras inne i silon som frilägger glödhärdarna i materialet vilket i sin tur kan leda till damm- och gasexplosioner om inte silon hålls inerterad. (se vidare kapitel 6). Det är därför viktigt att brandförloppet inne i silon följs under hela tömningsförloppet med ledning av mätningarna i silotoppen och tömningen bör tillfälligt avbrytas om det finns tecken på ökad brandaktivitet, t.ex. ökad temperatur, ökad syrgashalt eller ökad CO-halt. Vid sådana indikationer bör man öka gasinmatningen igen för att snabbt åter nå säkra förhållanden, varefter gasflödet eventuellt kan justeras ner igen. Om det kvarstår valv eller hängbildningar efter det silon tömts på allt rinnande material kan detta skapa mycket stora risker vid det efterföljande arbetet eftersom detta material på något sätt måste spettas loss från siloväggen.



Det är också viktigt att förstå strömningsbilden vid tömning av en silo. För fririnnande material uppstår i de allra flesta fall en ”trattströmning”. Om utloppet är placerat invid silons mantelyta kommer en tänkt pelare rakt ovanför öppningen att rinna ut först, därefter kommer material

Tömningsanordningar i en siloanläggning.

Det är viktigt att all brandpersonal som arbetar i siloanläggningen använder komplett skyddsutrustning.

från toppen att rinna ner i den tratt som bildats i materialet. Detta kan innebära att det dröjer innan glödande material kommer ut. Om utloppet är centralt placerat på en planbottensilo kommer trattströmningen att bildas rakt ovanför utloppet. Detta innebär att det relativt snart efter att tömningen har inletts kan komma ut glödande material blandat med opåverkad pellets under en stor del av tömningen.

Om man misstänker risk för valvbildning och häng (se vidare kapitel 6) i samband med tömning, kan man med exempelvis ett lod kontrollera att siloinnehållet sjunker i motsvarande grad som materialet matas ut. Det är mycket viktigt att silotoppen är helt inerterad innan lodningen påbörjas och att man inte öppnar upp luckor eller motsvarande mer än nödvändigt.

Under tömningen är det mycket viktigt att brandpersonal i komplett skyddsutrustning, bevakar utmatat material på lämpliga ställen i anläggningen, vattenbegjuter eventuella glödhärdar som kommer ut ur silon och ser till att dammbildningen begränsas. Vid tömningen kan man också förvänta sig att hopklumpat, förkolnat material kan blockera utmatningsöppningar vilket kan kräva en kontinuerlig manuell rensning för att upprätthålla utströmningen av material. Om inte materialet kan matas ut direkt i det fria, måste hela transportkedjan inne i anläggningen övervakas så att inte transportutrustningen eller övrig utrustning fattar eld på grund av glödande material. Sammantaget innebär detta ett fysiskt arbetskrävande moment som kan kräva stora resurser, både i form av brandpersonal och i ett stort antal luftflaskor till personalens andningsapparater.

Utmatat material bör läggas upp på en fri plats på säkert avstånd från intilliggande byggnader och anläggningar. Eftersom det ofta handlar om mycket stora volymer vilket kan kräva omfattande och stressande arbete och trafik med både hjullastare och lastbilar, är det viktigt att upprätta strikta säkerhetsregler och avspärrningar.

Utmatningen av material behöver övervakas längs hela transportkedjan. Materialet (pellets resp kol) sorteras och läggs upp på säker plats där det får svalna och där eventuella kvarvarande glödhärdar kan detekteras. Den svarta klumpen ovan är en släckt glödbrand.

Person-säkerhet

Kapitel 3

Personsäkerhet

En silobrand ger upphov till många risker som kan leda till allvarliga skador eller dödsfall, både för anläggnings- och räddningstjänstpersonal. I det här avsnittet går vi igenom de mest akuta riskerna.

Bildning av kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO_2)

Vid en självuppvärmning eller brand i en siloanläggning kan risker uppstå, t.o.m. långt innan uppvärmningen eller branden upptäcks, genom att det bildas kolmonoxid (CO) som sprider sig i anläggningen. CO är helt luktlös och därmed omöjlig att detektera utan speciella CO-detektorer. Mätningar ute i anläggningar har visat att CO-halter på > 100 ppm kan förekomma i t.ex. siloöverbyggnader eller i kulvertar vid silobotten under normala lagringsbetingelser. I samband med brand har CO-halter på > 1000 ppm uppmätts.

I topputrymmet inne i en silo kan gashalterna vara betydligt högre, och CO-halter på 5000–10 000 ppm (0,5–1 %) har uppmätts i fall då det varit en förhöjd oxidation i pelletslagret. I händelse av brand i silon kan halten CO i silotoppen vara mer än 10 % vilket medför en mycket farlig situation (se faktaruta). I samband med oxidation eller brand bildas också höga halter koldioxid (CO_2), i vissa fall över 30 %, och oförbrända kolväten vilket förvärrar riskerna ytterligare.

Kolmonoxid

Kolmonoxid är en luktlös gas med samma densitet som luft. Arbetsmiljöverkets gränsvärde för 8 timmars arbete är 35 ppm och gränsvärdet för 15 minuters exponering är 100 ppm (10 000 ppm = 1 %).

Som ytterligare jämförelse kan nämnas att vid 30 minuters exponering leder 2 500–4 000 ppm till döden och 1 400–1 700 ppm till medvetslöshet. Motsvarande värden vid 5 minuters exponering är 12 000–16 000 ppm respektive 6 000–8 000 ppm. Kolmonoxid är brännbar inom området 12,5–74 vol-%.

Det är oerhört viktigt med ett högt säkerhetstänkande för att förhindra skador på människor i samband med silobränder.

Mät aldrig enbart syrgashalten!

Det räcker inte att bara mäta syrgashalten. *Luft innehåller normalt ca 21 volymprocent syrgas och om man med en syrgasmätare avläser t.ex. ca 20 % syre på någon plats i anläggningen och tolkar detta som fullt acceptabelt kan detta få mycket allvarliga följder.* Om den minskade syrgashalten består av kolmonoxid så motsvarar detta ca 10 000 ppm vilket mycket snabbt kan leda till medvetslöshet och dödsfall.

Risker med kvävgas och koldioxid som släckmedel

Kvävgas

Även hanteringen av kvävgas innebär risker då den minskar syrehalten i luften och således kan leda till kvävning. I AFS 1997:7 rekommenderas en lägsta syrgashalt på 20 % i arbetslokaler där gas hanteras och om syrgashalten understiger

18 % ska andningsapparat användas. Om kvävgas kortvarigt släpps ut utomhus, exempelvis i samband med överfyllning från en tankbil till den mobila gastanken, späds gasen ut mycket snabbt eftersom den i stort sett har samma densitet som luft och utgör i detta fall ingen fara. Däremot kan kvävgas stanna kvar mycket länge i slutna utrymmen som inerterats. Detta innebär att syrgashalten kan vara mycket låg vilket kan leda till medvetslöshet mycket snabbt, exempel på tider nämns i tabellen.

Syrgashalt	Leder till medvetslöshet efter:
7 %	1 minut
5 %	20 sekunder
3,5 %	15 sekunder

Under släckinsatsen råder dessutom sannolikt en kombination av mycket höga halter kolmonoxid, koldioxid och mycket låga syrgashalter vilket sammantaget gör miljön mycket farlig.

En viktig livförsäkring för all personal som måste vistas inne i anläggningen är att använda en personburen gasdetektor som både mäter halten kolmonoxid (CO) respektive syre (O_2).

Vid en brand är det därför nödvändigt att ha en ständig kontroll av halten kolmonoxid och syrgas i anläggningen. Ute i de berörda områdena (vid silobotten respektive uppe på silotoppen) ska all personal alltid bära komplett andningsskyddsutrustning. I angränsade utrymmen (kontrollrum, personalutrymmen, trapphus, hissar etc.) kan det också förekomma mer eller mindre förhöjda halter och även här ska andningsutrustning bäras om det inte genom mer eller mindre kontinuerliga mätningar kan garanteras en säker arbetsmiljö.

En ytterligare risk som man måste ta med i beräkningen beträffande kvävgas är risken för köldskador vid hantering av flytande kväve. Eftersom kväve håller -196 ˚C i flytande form kan slangar mellan tank och förångare respektive ytorna på själva förångaren bli mycket kalla och sådana ytor får inte vidröras utan skyddshandskar. Monteringen av utrustningen och gasfyllningen ska skötas av utbildad personal, t.ex. gasleverantörens servicepersonal, och man ska säkerställa att dessa ger berörd räddningstjänstpersonal, m.fl. de säkerhetsinstruktioner som krävs. Även om risken för slangbrott och liknande problem är mycket låg bör obehörig personal inte uppehålla sig i närheten av utrustning och slangar innehållande flytande kväve.

Flytande kväve eller mycket kall kvävgas kan även skada vissa material vid direktkontakt, t.ex. olegerat (”svart”) stål, plaster och gummi. Mässing, koppar och aluminium klarar sig däremot i regel bra.

När det gäller matningen från förångaren till inmatningspunkterna på silon måste man vara uppmärksam så att inga läckage eller slangbrott uppstår. Kvävet är här i gasfas och gastrycket är normalt endast någon bar men det är viktigt att kontrollera att förångarens kapacitet inte överskrids så att utgående kvävgastemperatur blir så låg att slangarna kan skadas.

När det gäller inertering av silotoppen har kvävgas den fördelen att det inte uppstår några problem med statisk elektricitet då den leds in i gasfas.

Koldioxid

Koldioxid är ett traditionellt släckmedel som används både i handbrandsläckare och i fasta system för rumsskydd. Typiska applikationer är släckning av mindre spillbränder respektive släckning av bränder i elanläggningar, datarum, etc. Släckverkan erhålls främst genom att koldioxiden momentant tränger undan syret samtidigt som det ger en viss kyleffekt. När det gäller släckning av silor finns dock flera allvarliga nackdelar som gör att användning av koldioxid ska undvikas. Historiskt sett har koldioxid varit det släckmedel som vanligtvis använts för släckning av silobränder. I en stor andel av dessa insatser har dock problem uppstått som i flera fall lett till att insatsen misslyckats. Det finns också risker med användning av koldioxid som i vissa situationer kan förvärra branden. Nedan ges därför en summering av dessa risker och problem för att ge en förståelse varför man inte bör använda koldioxid vid silobrandsläckning.

En allvarlig risk är att koldioxid under de förhållanden som råder vid en silobrand kan ge upphov till att det bildas ytterligare kolmonoxid.

Vid temperaturer över 650–700 ˚C i kombination med begränsad syretillförsel kan CO bildas från CO_2 genom reaktionen $\mathbf{C + CO_2 \rightarrow 2CO}$. I sådana fall ger ett tillskott av CO_2 från inerteringen ett bidrag till produktion av den brännbara gasen CO. Användning av koldioxid kan därmed innebära att brandförloppet förvärras istället för att ge en släckeffekt.

Ett ytterligare argument mot användning av koldioxid är att det också kan medföra stora praktiska problem. Koldioxid är en tryckkondenserad gas och trycket i en tank beror på omgivningstemperaturen. En egenskap hos koldioxid som ofta skapar problem är att koldioxid inte kan förekomma i vätskefas vid ett tryck understigande 5,2 bar. Vätskan övergår då istället till fast fas (kolsyre-is). Detta innebär att om man matar flytande koldioxid i en slang eller ledning måste man upprätthålla minst 5,2 bar i hela ledningen, i annat fall kommer det att bildas kolsyreis som blockerar ledningen. I fasta släcksystem garanteras tryckhållningen genom anpassade munstycket men vid gasin-

Koldioxid

Koldioxid är en luktlös gas som är ca 1,5 ggr tyngre än luft och kan utgöra en säkerhetsrisk då den ansamlas i lågpunkter. Koldioxiden sänker inte bara syreinnehållet såsom kvävgas gör utan påverkar också andningsmekanismen. Arbetsmiljöverkets gränsvärde för 8 timmars arbete är 5 000 ppm och gränsvärdet för 15 minuters exponering är 10 000 ppm (10 000 ppm = 1 %). Vid användning som släckmedel är koncentrationen mycket hög, sannolikt minst 30–50 % och redan vid en koncentration på 20–30 % så uppträder medvetslöshet och kramper på mindre än 1 minut.

matning i exempelvis topputrymmet på en silo, vanligtvis via en brandslang med någon form av öppet rör i änden, är det svårt att upprätthålla trycket. En metod som ibland används är att ha ett mycket högt flöde så att tryckfallet i slangen håller uppe trycket. Vanligtvis får man ändå en isbildning i slutet av slangen där trycket inte är tillräckligt högt vilket efter en stund leder till en total blockering. I detta läge innehåller slangen uppströms blockeringen en blandning av koldioxid i vätske- resp gasfas och på grund av uppvärmning från omgivningen kommer trycket i slangen att öka snabbt vilket kan leda till slangbrott. För att undvika detta kan man koppla loss slangen vid trycktanken eller gasbilen och låta slangen tryckavlasta ”baklänges”. Detta är ett mycket riskfyllt moment och leder till att det bildas ett moln av koldioxid när gasen i slangen strömmar ut. Förfarandet innebär stora risker för:

- slangbrott
- piskande slang vid losskoppling
- förgiftning på grund av koldioxiden.

En annan riskfaktor som man också måste ta med i beräkningen är att när koldioxid strömmar ut ur rörmynningen och bildar iskristaller uppstår en kraftig uppladdning på grund av statisk elektricitet. Detta kan i sin tur leda till gnistbildning som kan antända en brännbar gasblandning i silotoppen under olyckliga omständigheter. *Flera siloexplosioner har inträffat där orsaken misstänks vara statisk elektricitet som uppstått vid manuell påföring av koldioxid från gasflaskor via luckor på silotoppen.*

Problem med isbildning uppstår även om man försöker mata in flytande koldioxid direkt in i bulkmaterialet. Så fort koldioxiden kommer utanför inloppsmynningen sjunker trycket och koldioxiden övergår till is. Detta resulterar i en kraftig isbildning i bulkmaterialet vilket i sin tur blockerar all porositet i materialet och förhindrar fortsatt gasinmatning.

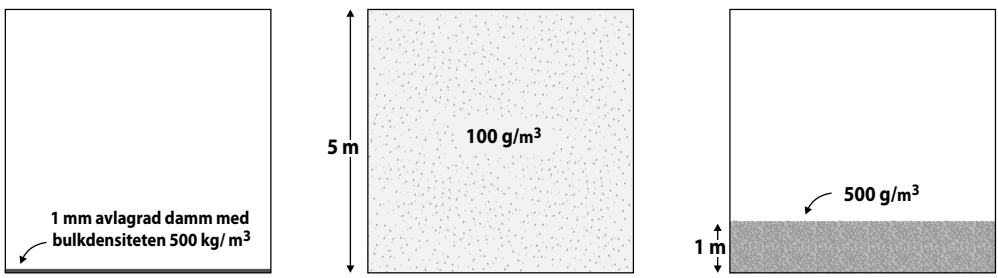
Damm- och gasexplosioner

Den normala hanteringen i siloanläggningar leder till mer eller mindre dammbildning vilket med tiden gör att det

avlagras damm på alla horisontella ytor och konstruktionsdetaljer. *Om något av detta damm frigörs till luften och träffar en tändkälla kan en dammexplosion inträffa.* Ofta leder denna ”primära” explosion till att ytterligare avlagrat damm virvlas upp och man får en ”sekundär” explosion, som oftast är betydligt kraftigare än primärexplosionen. Även ett tunt dammlager skapar en betydande risk. Ett dammlager med 1 mm tjocklek och bulkdensiteten 500 g/m^3 ger en stoftkoncentration på 500 g/m^3 om det virvlas upp till 1 m höjd och 100 g/m^3 om det virvlas upp till 5 m höjd. Eftersom brännbarhetsområdet för många typer av damm varierar från ca 50 g/m^3 till ca 2 000 g/m^3 innebär detta att risken för explosion är påtaglig.

Vid en pågående glödbrand inne i en silo bildas också en stor mängd pyrolysgaser bestående av bl.a. kolmonoxid och olika typer av oförbrända kolväten som i sig är brännbara. Vid temperaturer över ca 700 °C kan det även ske en reaktion med vatten genom den s.k. vattengasreaktionen, $C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$, som leder till bildning av vätgas och ytterligare kolmonoxid. Vatten finns dels kemiskt bundet i organiska material (förenklat består dessa av kolhydrater med summaformeln CH_2O), men vatten bildas också vid förbränningen eller tillförs från en släckinsats med vatten. Sammantaget innebär en silobrand en uppenbar risk för att det förekommer en brännbar gasblandning i silotoppen. Detta kan leda till en mycket kraftig *gasexplosion* om gasen antänds, t.ex. på grund av oskyddad elektrisk utrustning, statisk elektricitet eller håltagningsarbete i silotoppen i samband med släckinsatsen. En mindre gasexplosion kan också utgöra en ”primärexplosion” som i sin tur kan leda till en betydligt kraftigare sekundär dammexplosion.

Illustrationen visar hur ett tunt lager av avlagrat damm kan skapa en brännbar stoftkoncentration i ett helt rum. Även en mindre uppvirvling kan leda till att delar av utrymmet uppnår en brännbar koncentration. I båda fallen kan det leda till kraftiga dammexplosioner.



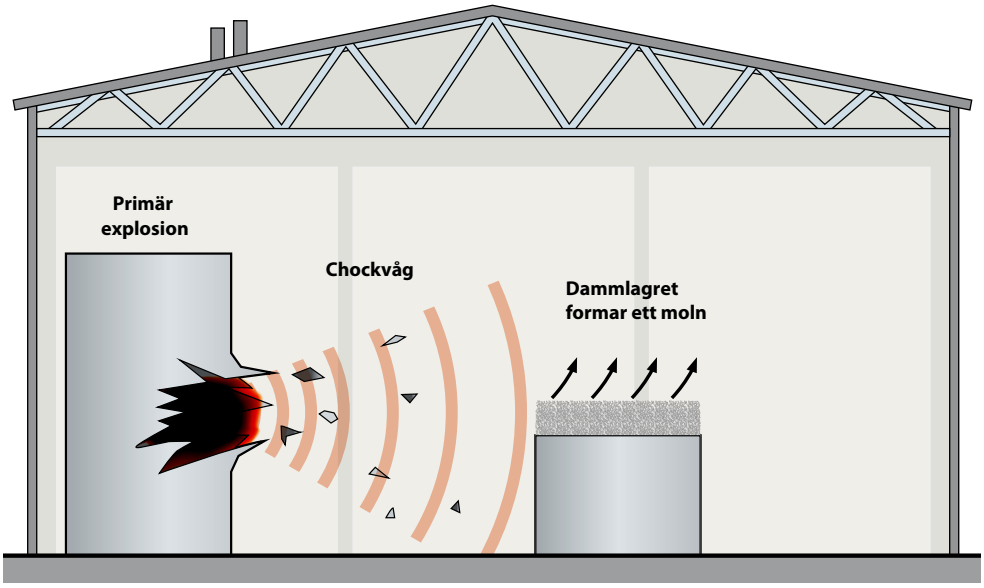
Olyckor som inträffat visar att gas- och dammexplosioner kan leda till mycket stora skador, hela takkonstruktionen på en silo kan slungas iväg och om personal då vistas på silotoppen är risken för allvarliga skador eller till och med dödsfall mycket stor. Även på marken finns betydande risker för personer och utrustning, exempelvis på grund av nedfallande konstruktionsdelar. Riskerna för gas- och dammexplosioner är desamma både för stora och små silor.

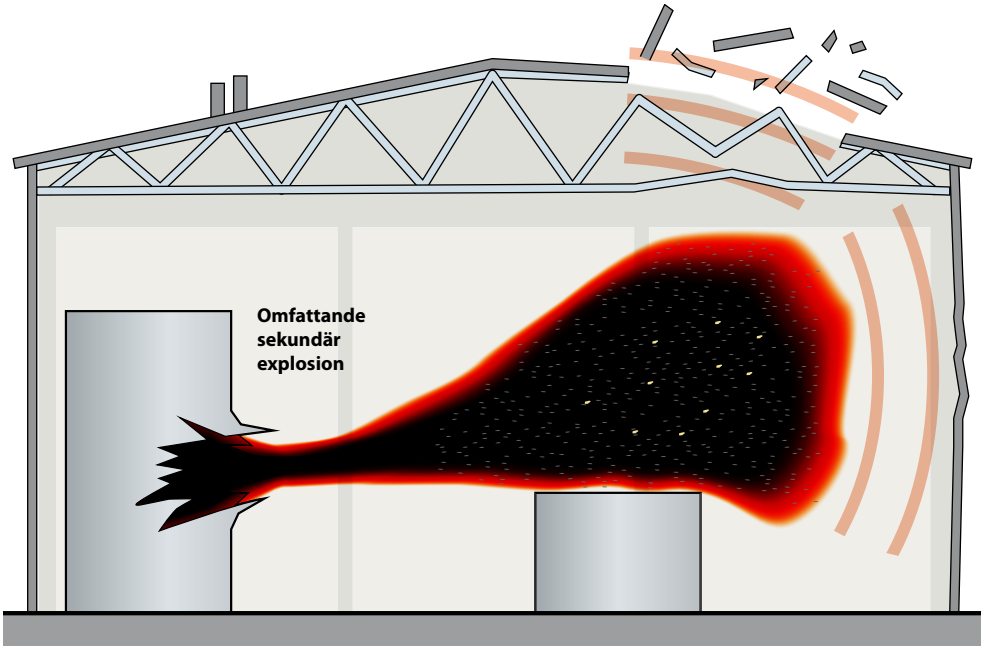
Eftersom risken för gas- och dammexplosion är ett av de största faromomenten i samband med en silobrand är det viktigt att på plats omgående göra en riskbedömning för att på basis av denna spärra av riskområden, ställa upp släckutrustning på säker plats etc. Innan en släckinsats inletts bör man alltid utgå ifrån att en explosion i silotoppen kan inträffa. Riskbedömningen måste kontinuerligt uppdateras med ledning av resultat från bl.a. gasmätningar i silotoppen och visuella observationer. Även under släck- och tömningsfasen kan förutsättningarna förändras snabbt vilket kan leda till en risk för explosion.

Det är således oerhört viktigt att minska risken för damm- och gasexplosion och den föreslagna släcktaktiken där silon inerteras med kvävgas ger här många fördelar. Gasinföring medför ett mycket kontrollerat förlopp där gasinmatningen primärt sker vid silobotten och risken för dammbildning är således minimal.

Vid inertering av silor som innehåller pulverformigt material, t.ex. träpulver, är det viktigt att inleda gasinmatningen med ett lågt gasflöde för att inte riskera att fina pulverpartiklar virvlar upp och resulterar i en dammexplosion. Kunskap kring vad som är ett ”säkert” gasflöde saknas i dagsläget men beror bland annat på:

- pulvrets densitet,
- pulvrets gasgenomsläpplighet,
- fyllnadshöjden i silon,
- hur gasen fördelas inne i silon (antal gasinlopp).





Illustrationen visar hur en begränsad primärexplosion inne i en anläggningsdel kan resultera en mycket kraftig explosion. Tryckvågen från primärexplosionen virvlar upp avlagrat damm på angränsande ytor och skapar därmed ett betydligt större dammoln som antänds vilket leder till en betydligt värre och farligare sekundärexplosion.

Vid arbete på silotoppen (t.ex. för att täta öppningar, montera mätutrustning, ordna avluftning eller tryckavlastning, förbereda för inertering av toppen), är det mycket viktigt att inte generera någon tändkälla, brännbar gasblandning eller dammbildning. Vid en utvecklad pyrolysbrand genereras mycket höga halter CO och olika typer av oförbrända kolväten där koncentrationerna kan vara så höga att de är inom brännbart område. Om syrgashalten samtidigt är tillräckligt hög inne i silotoppen, över 5–10 %, innebär detta att gaserna kan antändas om det finns en tändkälla. I dessa situationer ska man utgå ifrån att explosionsrisk föreligger. Manuell påföring av koldioxid från gasflaskor ska undvikas eftersom det kan leda till kraftig gnistbildning på grund av statisk elektricitet.

Att försöka använda ett multigas-instrument för att mäta koncentrationen av brännbara gaser, d.v.s. % LEL (=lower

Animeringen längst upp till vänster, och övriga foton visar effekterna av gas- eller dammexplosioner i olika siloanläggningar.

explosive limit), och utifrån mätresultatet bedöma risken för explosion är inte att rekommendera. Dessa instrument är kalibrerade för en specifik gas, ofta metan eller propan, vilket innebär att man måste använda korrigeringsfaktorer som ska multipliceras med det avlästa värdet om man mäter på någon annan gas. Dessa korrigeringsfaktorer kan variera från 0,5 till 3,0 och eftersom man inte känner gasblandningens sammansättning kan felet bli mycket stort och leda till helt felaktiga beslutsgrunder.

Om man bedömer att det föreligger stor risk för gasexplosion bör fortsatt arbete minimeras till dess att silotoppen har inerterats. Se vidare kapitel 2.

Vare sig man väljer att inertera med gas eller tillämpar någon alternativ släcktaktik (se vidare kapitel 4) är det oerhört viktigt att insatsen genomförs på ett säkert sätt så att inte insatsen i sig skapar en gas- eller dammexplosion inne i silon. Detta gäller oavsett silons storlek.

Alternativ släcktaktik

Kapitel 4

Alternativ släcktaktik

För vissa silotyper eller specifika brandscenarier kan det eventuellt vara aktuellt att använda någon annan släcktaktik än inertering. Nedan ges några exempel på sådana situationer och förslag på taktik som då kan användas istället. De släckmedel som primärt står till förfogande är skumbegjutning eller möjligtvis vatten. Detta kan vara acceptabelt om silon är relativt liten eller innehåller ett material som redan är fuktigt eller inte nämnvärt påverkas av fukt (t.ex. träflis, sågspån och i vissa fall träpulver). Det är dock viktigt att ta hänsyn till att silokonstruktionen troligtvis inte är dimensionerad för den last som uppkommer om stora mängder vatten används och därför måste man i alla lägen vara restriktiv med påföringsmängderna. Vissa material, t.ex. träpulver, kan också bli ”klibbigt” och tungt vilket gör att utmatningsskruvar och transportband inte orkar, vilket kan leda till stora praktiska problem.

När det gäller torra, komprimerade material som exempelvis träpellets, *måste vattenbaserad släckning undvikas* eftersom materialet sväller kraftigt och kan ge upphov till valvbildning eller häng. Detta kan leda till en mycket svårhanterad situation med stora risker. Under olyckliga omständigheter kan det också leda till att silokonstruktionen får allvarliga skador. Se vidare kapitel 2 och 6.

Olika bulkmaterial har olika egenskaper vad gäller fuktkänslighet, expansionsbenägenhet, risk för häng, själv-

CAFS

CAFS är en förkortning av ”Compressed Air Foam System” där skummet genereras med hjälp av tryckluft och skummet benämns CAF (på svenska ”tryckluftsgenererat skum”). Vatten och skum blandas på traditionellt sätt med någon form av skuminblandningsutrustning. Denna måste dock vara anpassad för betydligt lägre inblandningsförhållanden än traditionell utrustning, 0,1–1 %.

Efter inblandningssystemet tillsätts tryckluft från en separat kompressor, och i en speciell skumalstringsdel blandas tryckluft och skum/vattenblandningen till ett mycket homogent och finblåsigt skum.

Därifrån distribueras skummet i slangar till strålföraren som alltså får ett färdigt skum direkt ur slangen.

Då det är färdigt skum i slangen innebär detta också att denna väger betydligt mindre än en vattenslang och att den är betydligt enklare att manövrera.

uppvärmning, gasgenomsläpplighet (permeabilitet) och ytterligare uppgifter kring detta finns i kapitel 6.
Ett scenario där en alternativ släcktaktik kan vara lämplig är om man har en mer eller mindre utvecklad ytbrand i en silo. I detta fall är den primära målsättningen att snabbt reducera brandintensiteten då den annars kan leda till omfattande brandskador på silokonstruktionen och medföra en uppenbar risk för snabb brandspridning till omgivande anläggningsdelar. I detta läge innebär en användning av inertgas sannolikt en alldeles för lång insatstid och då kan en direkt släckinsats med skum eller vatten vara ett snabbare alternativ.

På samma sätt som vid användning av inertgas är den primära åtgärden att försöka minimera lufttillträdet till branden. Täta luckor, utmatningsöppningar etc. vid silons botten och i siloväggen där luft kan läcka in. Om silon stängs till mer eller mindre helt kommer branden att dämpas på grund av syrebrist. I detta läge kan det bildas stora mängder oförbrända gaser inne i silon vilket innebär att den efterföljande släckinsatsen kan bli mycket riskfylld. När skum eller vatten ska appliceras in i silon är det viktigt att detta görs på ett sådant sätt att man undviker att luft dras med in i silon. Ett sådant luftinflöde kan i värsta fall leda till en brännbar gasblandning med en övertändning eller t.o.m. en

Träpellets sväller kraftigt vid vattenbegjutning och kan generera en stor "sprängkraft" mot siloväggen och resultera i valvbildning eller häng. Resultatet blir en mycket hård kaka med samma karaktär som en tjock spånskiva och kan behöva bilas bort med maskinell hjälp.

gasexplosion som följd. *I det här läget måste man vara mycket noga med att inte i onödan öka riskerna för insatspersonalen.*

Släckinsats med skum

Brandsläckningsskum har flera betydande fördelar jämfört med vatten, primärt genom att det fyller ut utrymmet och samtidigt bildar ett ”lock” ovanpå bränslet vilket förhindrar vidare syresättning från ytan och nedåt i bulkmaterialet. Vattenmängderna reduceras också avsevärt och det utdränerade vattnet innehåller dessutom ytaktiva substanser som innebär att vattnet kan penetrera ner i materialet på ett effektivare sätt.

I första hand ska mellanskum användas men även lättskum kan vara ändamålsenligt för att fylla upp större volymer. Lättskum kräver dock ett en lättskumsgenerator monteras uppe vid silotoppen alternativt att skummet trycks upp till silotoppen i en stor slang vilket kan bli problematiskt i ett akutskede. Även användning av injektorer för skuminblandningen kan skapa stora problem då mottrycket kan bli för stort på grund höjdskillnaden upp till silotoppen. I den mån det finns tillgång till en CAFS-utrustning så är detta absolut att rekommendera då skumförbrukningen reduceras betydligt samtidigt som det ger avsevärt lägre dräneringshastighet. Ur både effektivitets- och miljösynpunkt bör man använda s.k. Klass A-skum d.v.s. ett skum som är speciellt utvecklat för bränder i fibrösa material och som används med en inblandning på 0,1–1 % i vattnet. Om inte A-skum finns tillgängligt bör man använda detergentskum. Användning av olika typer av filmbildande skum (AFFF, AFFF-AR, FFFP, FFFP-AR) bör undvikas av miljöskäl eftersom de innehåller tensider baserade på olika fluorkemikalier.

Oavsett vilken skumutrustning respektive skumtyp som används måste man alltså undvika att luft ejekteras in i silon i samband med skumbegjutningen. Om möjligt ska man göra en håltagning som är anpassad till det skumrör som ska användas. Denna håltagning bör ha utförts i ett förebyggande skede och vara försedd med någon form av tätning. I ett akut skede används lämpligen en skärsläckarutrustning för håltagning. När full skumproduktion uppnåtts, öppnas

Klass A-skum

Klass A-skum innehåller en blandning av tensider som är ”oleofila” (oljeälskande) respektive ”hydrofila” (vattenälskande). Detta gör att A-skummet har en affinitet (likhet) med kolväten vilket ger ideala förhållanden för att penetrera och väta det kolskikt som vanligen bildas på typiska ”A-bränslen”. Till skillnad från Klass B-skum (traditionella brandsläckningsskum) är A-skummen utvecklade för att användas med ett betydligt lägre inblandningsförhållande, normalt mellan 0,1 % och 1,0 %. A-skummen ger normalt sett också relativt sett låg miljöpåverkan.

Påföring av mellanskum vid brand i en torvsilo, dels genom påföring från toppen via en öppen explosionsavlastningslucka (medför risk för gasexplosion i inledningsskedet), dels via en håltagning i siloväggen där man med värmekamera lokaliserade en värmehärd

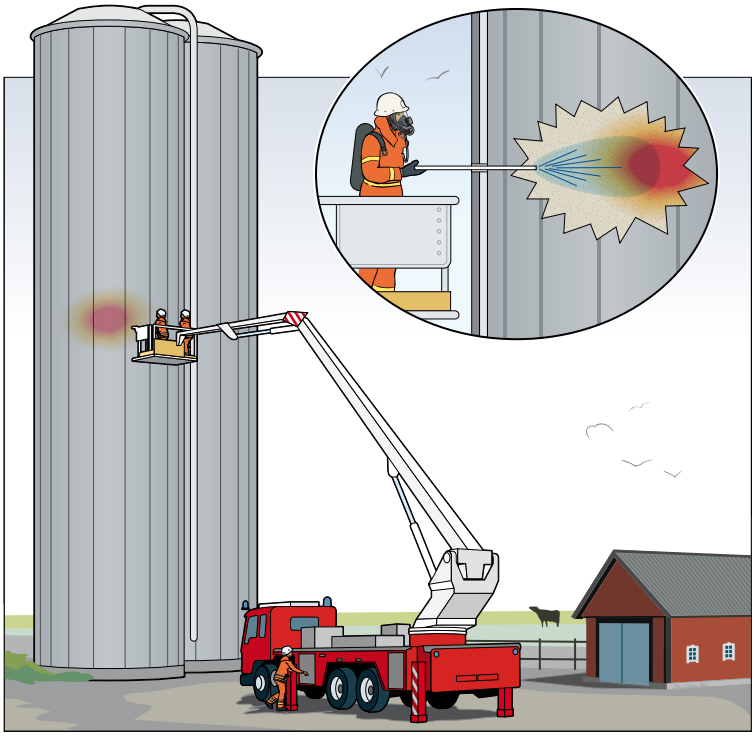
håltagningen och skumröret förs in. Om skuminmatningen avbryts ska skumröret avlägsnas och håltagningen tätas. När bränsleytan i silon täckts med ett skumlager minskar normalt sett brandintensiteten och därmed mängden oförbrända gaser.

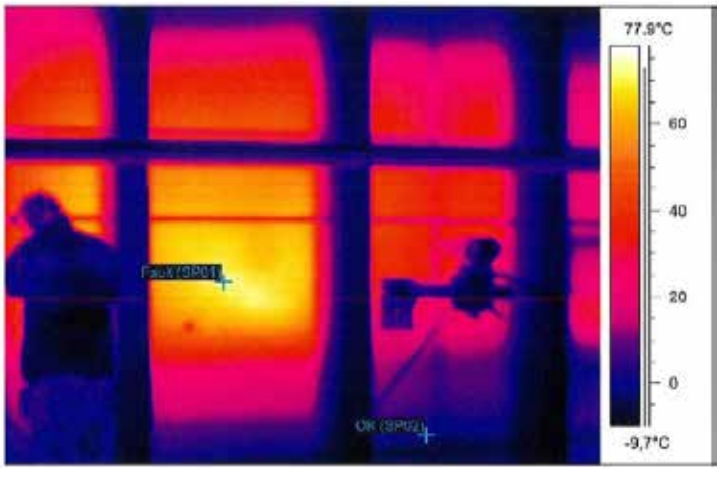
Släckinsatsen kan ta mycket lång tid på grund av glödbränder som är svåråtkomliga, otätheter i silomanteln etc. speciellt vid större bränslesilor. Detta kan medföra miljöproblem eftersom insatsen genererar förorenat släckvatten som behöver tas om hand.

Injicering av vatten

I mindre silor, t.ex. spånsilor eller ensilagesilor, kan ett alternativ vara att injicera vatten direkt in i en misstänkt glödbrand. Om glödhärden kan lokaliseras, t.ex. genom värmemätningar på siloytan med en IR-kamera (se vidare kapitel 5) kan en riktad insats göras med hjälp av en skärsläckarutrustning alternativt en dimspik eller längre lans som pressas in i materialet för att mata in vatten.

Vid släckning av en ensilagesilo bör endast rent vatten användas då delar av innehållet sannolikt kan användas som foder även efter en brand. När det gäller ensilagesilor är en glödbrand oftast belägen 1–1,5 m från toppen av ma-





Injicering av vatten kan vara ett alternativ för mindre silor eller om branden är belägen nära siloväggen så att dess position kan lokaliseras med en IR-kamera.

terialet och om branden inte hunnit utvecklas kan man ofta bekämpa den direkt från ytan. När glödhärdar är släckta, lämpar man ut skadat material och behandlar därefter den översta delen av materialet med en 50 % propionsyralösning vilket förhindrar eventuell fortsatt jäsning. Täck ytan med en siloduk och låt den sedan stå orörd.

Tänk på att om man använder mycket vatten så kan vattennivån stiga snabbt och silon utsätts då för ett tryck som skulle råda i en vattentank med samma fyllnadshöjd. Detta är silon inte konstruerad för och släckvattnet måste därför dräneras, lämpligtvis till en gödselbrunn eftersom vattnet kan ha ett mycket högt BOD-värde (hög syreförbrukning vid biologisk nedbrytning).

Skärsläckaren har fördelen att den även klarar av håltagningen och att det höga vattentrycket gör att vattnet kan ”äta sig in” i bulkmaterialet. Man kan räkna med att vattnet når in ett antal meter även om munstycket hålls mot mantelytan. Prototyper till olika förlängningsmunstycken är under utveckling vilket kan underlätta ”punktinsatser” längre in i materialet. Det stora problemet är naturligtvis att lokalisera en brandhärd men om den ligger rimligt nära mantelytan kan en värmekamera vara till hjälp (se vidare kapitel 5)

Skärsläckaren kan också vara ett mycket bra komplement till en skuminsats både vid en pyrolysbrand och vid en utvecklad ytbrand. Håltagningen blir minimal och genom finfördelningen av vattnet i kombination med ett slutet utrymme

Släckinsats med skärsläckaren genom siloväggen och in i bulkmaterialet respektive i silotoppen. (OBS arbete på silotoppen är alltid förenad med mycket stora risker och bör övervägas noga).

kan en snabb kylning av pyrolys- eller brandgaserna erhållas samtidigt som en eventuell ytbrand dämpas. Så snart branden bedöms vara under kontroll kan man komplettera insatsen med skumbegjutning in i silons topputrymme.

Risker med att öppna silon

Även när man använder sig av dessa alternativa släckmetodiker är det viktigt att så långt som möjligt undvika att öppna upp silon. Att öppna och släppa in luft kan leda till en häftigt uppflammande brand som snabbt kan bli okontrollerbar och risken för gas- och dammexplosioner är påtaglig. Eftersom dessa släckmetoder i de allra flesta fall kräver en aktiv insats uppe vid silotoppen ökar de dessutom riskerna ytterligare för brandpersonalen.

Att öppna upp en silo för att försöka släcka genom öppnade luckor, ofta i kombination med att samtidigt försöka mata ut innehållet är nästan alltid dömt att misslyckas.

Vid insatserna ovan har felaktig taktik använts vilket har resulterat i farliga insatser och totalskador.

Risken för personskador är stor och branden resulterar sannolikt i en totalskada både av silon och av dess innehåll. Miljöeffekterna kan också bli avsevärda, både genom brandgaser och förorenat släckvatten som sprids till omgivningen.

Att vattenbegjuta en silo utvändigt har i de allra flesta fall ingen som helst effekt utan skapar sannolikt bara problem. Insatsen måste inriktas på att få in släckmedlet i silon.

Att försöka tömma en silo, som är konstruerad för utmatning av materialet i silons centrum, genom en håltagning i siloväggen kan vara förenat med stor fara och risk finns för att hela silon kan kollapsa då detta innebär en kraftig snedbelastning på siloväggarna. Innan man tar ett sådant beslut måste man alltså kontrollera med silokonstruktören att det är riskfritt. Dessutom måste man vara helt säker på att glödbranden är släckt så att man inte får en okontrollerad brand med gas- och dammexplosioner som följd.

Även om man primärt planerar att använda en alternativ släcktaktik bör man även i dessa fall förbereda silon med anslutningar eller öppningar som anpassats till den planerade insatstaktiken. Optimalt är om ett skum- eller sprinklersystem installerats i silotoppen till vilken räddningstjänsten kan ansluta från marknivå.

Matning via fasta stigarledningar möjliggör en enkel och säker påföring av släckmedel i silotoppen.

Ett sådant system skulle kunna konstrueras så att det passar både för applicering av vatten och skum men som även kan användas för matning av inertgas till silotoppen om det skulle vara aktuellt.

Miljöaspekter att tänka på

Man måste vara medveten om att en brand i en silo kan pågå under lång tid och att planera för att låta innehållet brinna ut (”LSB-taktik”) är inte realistiskt. Detta kommer att leda till att mycket stora mängder brandgaser sprids och sannolikt kommer de att påverka närliggande bebyggelse och industrier. I värsta fall kan de senare tvingas stänga. Som exempel kan nämnas att en brand i en stor siloanläggning i Esbjerg i Danmark 1998 pågick i nästan 10 månader innan man lyckats tömma silorna och släcka branden. Slutresultaten blev en totalskada och att siloanläggningen fick rivas.

Om insatsen pågår under lång tid kan den också producera stora mängder släckvatten som i sin tur kan vara starkt förorenat. Släckvattnet bör därför samlas upp, analyseras och eventuellt renas innan det släpps vidare ut till ett vattendrag eller till det kommunala avloppsnätet.

Tänkbara brandscenarier för en silobrand

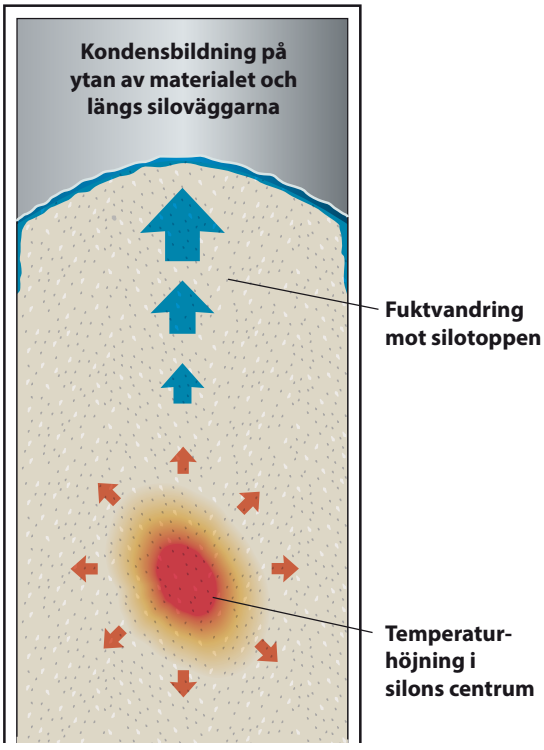
Kapitel 5

Tänkbara brand-scenarier för en silobrand

Det finns två huvudscenarier för en silobrand, självantändning eller någon ”yttre” tändkälla som kan leda till olika brandförlopp.

Självantändning

Vid lagring av biogena material, såsom flis, sågspån och träpellets, kan självuppvärmning uppstå inne i materialet. Uppvärmningen kan bero på mikrobiologisk aktivitet, kemiska oxidationsprocesser, fuktvandring, fuktabsorption eller en kombination av dessa orsaker. I fuktiga material (> 15–20 % vattenhalt) är ofta mikrobiologisk aktivitet grundorsaken och är t.ex. det som ger värmeutvecklingen i en komposthög eller en gödselstack. Denna process är oftast aktiv inom ett temperaturområde upp till 45–75 ˚C, varefter mikroberna dör. Vid mikrobiell aktivitet genereras främst koldioxid (CO_2) och den kan detekteras genom mätning av koldioxidhalten i silotoppen. Vid högre temperaturer beror självuppvärmningen i första hand på kemiska oxidationsprocesser. I torra material som exempelvis träpellets är orsaken oftast en kemisk oxidationsprocess eftersom pelletsen blir mer eller mindre ”steriliserad” under tillverkningsprocessen. Praktiska erfarenheter har visat att denna oxidationsprocess är



Mikrobiologisk aktivitet, kemiska oxidationsprocesser, fuktabsorption leder till självuppvärmning vid lagring av porösa material. Uppvärmningsprocessen sker i hela bulkmaterialet men temperaturen blir normalt sett högst inne i centrum av silon då värmeförlusterna är som lägst här. Om temperaturen blir tillräckligt hög kommer uppvärmningsförloppet att accelerera och leda till en självantändning med en pyrolysbrand som följd.

speciellt påtaglig i nyproducerade pellets, bl.a. genom oxidation av olika hartsämnen som finns i trämaterialet. I vissa fall har man mätt upp temperaturer på över 60 ˚C på ytan av pelletsstackarna några dagar efter produktion. Finmalningen av träpartiklarna före pelletering leder till en mycket stor specifik yta vilket gör att oxidationsprocesserna underlättas och kan starta redan vid normal rumstemperatur. Eftersom träpelletsen har en låg fukthalt, normalt ca 6–8 %, kan också fuktabsorption från omgivande luft leda till en uppvärmning. I praktiken kan således självuppvärmningen vara ett resultat av både oxidation och till viss del fuktabsorption. Vid kemisk oxidation genereras främst kolmonoxid (CO).

Om en självantändning uppstår startar denna oftast djupt inne i materialet. Detta beror på att självuppvärmningen inne i materialet balanseras av värmeförluster till omgivningen via lagrets ytor. Värmeförlusterna blir som lägst längst inne i lagret eftersom det omgivande materialet fung-

erar som en mycket effektiv isolering på grund av sin låga värmeledningsförmåga. Detta innebär att värmeförlusterna minskar vid ökad lagringsvolym och därmed innebär större lagringsvolymer också en ökad risk för självantändning. Tyvärr går det inte att specificera en specifik kritisk temperatur inne i ett bulklager då det alltså beror dels på de specifika egenskaperna hos det lagrade materialet och dels på lagrets storlek. Forskning pågår både i Sverige (bl.a. vid SLU och SP) och utomlands för att bättre förstå mekanismerna runt självuppvärmning respektive hur detta kan användas för att beräkna risken för självantändning i ett verkligt lager. Det man kan göra i dagsläget är att övervaka lagringen med hjälp av temperaturmätningar inne i bulkmaterialet respektive gasanalyser i lagringsutrymmet (se vidare kapitel 7). En temperaturstegring på 1-2 grader per timme kan snabbt orsaka en kritisk situation, speciellt om bulktemperaturen redan är förhöjd.

Om bulkmaterialet har en hög permeabilitet (hög porositet) kan man få en marginell kylning genom att det uppstår fri konvektion inne i materialet som leder bort viss värme. Att kylningen blir mycket begränsad beror på att luft har ett lågt specifikt värmevärde vilket gör att energiinnehållet i den strömmande luften är mycket lågt i förhållande till massan av det material som lagras. Istället för att kyla materialet och på så vis minska brandrisken kan en fri konvektion genom materialet i vissa fall påskynda temperaturstegringen. Orsaken är att bulkmaterialet syresätts vilket leder till snabbare en oxidationsprocess och därmed högre värmeutveckling. Av denna anledning rekommenderas att silokonstruktionen görs så tät som möjligt. Otätheter och springor bör tätas och öppningar hållas stängda när de inte används, speciellt vid silons botten och längs dess mantel.

Eftersom den självuppvärmning som uppstår även vid normala förhållanden leder till en viss fukttransport upp i silon kan den relativa fuktigheten i silotoppen komma att öka. Under vissa väderleksförhållanden kan detta leda till kondensation på siloväggen och på insidan av silotaket vilket bör undvikas. Under normala förhållanden bör således silotoppen ha en viss luftväxling men vid misstanke om

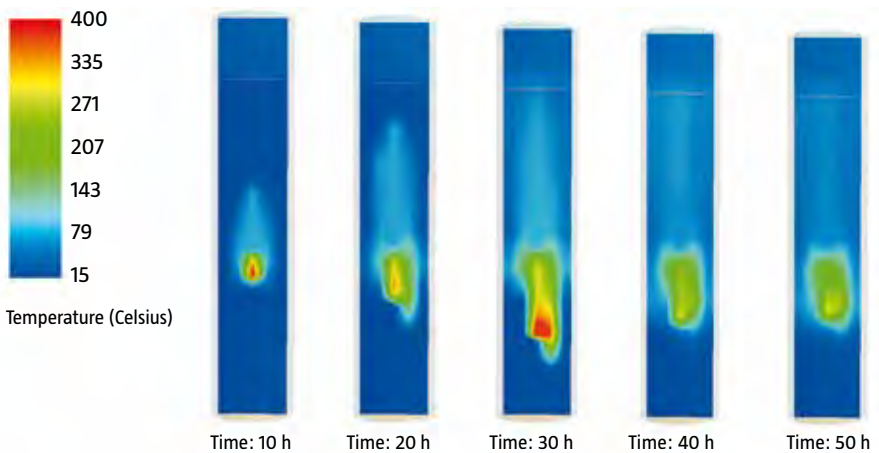
brand ska ventilationen minimeras. Detta innebär att silon måste vara konstruerad så att dessa ventilationsöppningar kan stängas på ett enkelt sätt.

Har en pyrolys- eller glödbrand uppstått innebär en tät silo minskad pyrolyshastighet samtidigt som det också leder till mindre gasläckage under släckinsatsen.

Brandförloppet i en silo

Erfarenheterna från verkliga silobränder har visat att en brand oftast är svår att detektera och att den sannolikt har pågått en längre tid när den väl detekteras. Som nämnts ovan uppstår oftast en självantändning djupt inne i bulkmaterialet. En sådan pyrolysbrand förbrukar syret i luften som finns inne i det lagrade materialet och de varma och fuktiga förbränningsgaserna sprider sig sakta uppåt i silon. Pyrolysbranden söker sig sakta nedåt i materialet där det fortfarande finns syre tillgängligt. I den mån det finns öppningar i silon, t.ex. vid utmatningsöppningar, otätheter eller andra öppningar, kan ny luft sugas in och på så vis syresätta och underhålla pyrolysbranden. Sannolikt kan även luft dras ner från silotoppen längs silons ytterväggar.

Detta har också kunnat visas i brand- och släckförsök som



Visualisering av uppmätta temperaturer inne i en försökssilo, 1 m i diameter och 6 m hög. En glödbrand startades i silons mitt som sedan fick utvecklas fritt och då sakta spred sig nedåt. Förbränningsgaserna nådde silotoppen först efter ca 20 timmar. Strax efter 30 timmar matades inertgas in vid silons botten vilket snabbt dämpade brandintensiteten.

genomförts i en småskalig silo som var 1 m i diameter, 6 m hög och fylld till ungefär 5 m med träpellets. Vid dessa försök simulerades en självantändning inne i silons centrum med en värmekabel som startade en pyrolysbrand i pelletsen. Brandförloppet kunde sedan följas inne i bulkmaterialet genom omfattande temperatur- och gasmätningar.

Försöken visade att pyrolysbranden sprids mycket sakta nedåt i silon och också att spridningen av de varma och fuktiga förbränningsgaserna genom fri konvektion uppåt i silon går mycket långsamt. I försöken tog det ungefär 20 timmar innan ”vågen” av förbränningsgaser nådde ytan i silotoppen. Detta motsvarade en spridningshastighet av värme, fukt och förbränningsgaser på ca 0,1 m/tim (ca 2,5 m/dygn) uppåt i silon medan pyrolysbranden spred sig nedåt i silon med en hastighet av ca 0,04 m/tim (ca 1 m/dygn). Dessa spridningshastigheter kan sannolikt variera beroende på ventilation och läckage och därmed syretillgången men visar trots allt på ett mycket långsamt förlopp. Det bekräftar också att det är mycket svårt att detektera en brand uppe i silotoppen i ett tidigt skede av brandförloppet. Å andra sidan, när brandgaserna väl når silotoppen stiger koncentrationen av bland annat CO och oförbrända kolväten mycket snabbt och till en mycket hög nivå. Samtidigt är en stor del av syret förbrukat vilket innebär en låg syrgashalt. Försöken indikerade också att när de varma gaserna ”bryter igenom” uppe i silotoppen så uppstår en viss termisk effekt inne i silon som ökar den fria konvektionen vilket medför en ökad syresättning och därmed ett snabbare fortsatt pyrolysförlopp.

I en verklig situation är det sannolikt i detta skede som en rökbildning börjar bli synlig. Produktionen av CO och oförbrända kolväten ökar ytterligare och silotoppen kommer att fyllas upp av rökgaser som sannolikt är brännbara och därmed är explosionsrisken uppenbar.

Försöksuppställningen på nästa sida gav också en bra möjlighet att undersöka silon efter genomförda försök. Försöket visar att det kan vara mycket svårt att upptäcka en brand genom att mäta temperaturen på silons yta med en värmekamera. Även om man har en eller några kablar med temperatursensorer hängande ner i materialet så kan dessa

IR-kamera

En värmekamera mäter den värmestrålning (infraröd strålning) ett objekt avger. Med hjälp av en värmekamera kan man på ett mycket noggrant sätt mäta t.ex. en silos yttemperatur och kan lätt registrera några graders ytavvikelse.

Det finns en uppfattning att man med en värmekamera kan mäta temperaturen inne i materialet, men detta är omöjligt, man kan endast mäta ytterytans temperatur.

Temperaturen från en brand djupt inne i materialet i en silo måste först sprida sig i materialet för att sedan påverka insidan av siloväggen. I en betongsilo måste värmen sedan ledas ut genom betongen för att till slut värma upp utsidan av siloväggen.

Sannolikheten att man med en värmekamera kan få användbar information vid en djup glödbrand i en silo är således begränsad och möjligheterna minskar med ökad silodiameter. Om en brand uppstår i närheten av siloväggen, t.ex. på grund av varmgång i en utmatningsutrustning, kan dock IR-kameran vara ett bra hjälpmedel och underlätta en riktad insats (se vidare kapitel 4).

Fotona visar pelletsen på olika nivåer i försökssilon efter ett försök. Den vänstra bilden visar pelletsen ovanför tändkällan där den bildade pelletstacken har uppstått på grund av fuktvandringen uppåt i silon som till viss del "klistrat samman" pelletsen i silons centrum. Den övre högra bilden visar hur pelletsen runt tändkällan expanderat och därmed åstadkommit en valvbildning. Den nedre högra bilden visar pyrolysbrandens utbredning under tändkällan och hur den är tydligt avgränsad.

mycket väl hamna vid sidan av en pyrolyshärd och därmed inte detektera branden.

Bedömningar vid misstänkt brand

Att detektera en brand i en silo kan alltså vara svårt, speciellt i ett tidigt skede. Erfarenheter från verkliga bränder visar dock på att man ofta känt en tydlig lukt, att eventuella temperaturmätningar inne i materialet pekat på onormalt höga temperaturnivåer, onormalt mycket kondensbildning i silotoppen etc. För att minimera risken för en mer omfattande brand är det därför viktigt att vara uppmärksam och agera i ett så tidigt skede som möjligt genom att ta sådana varningssignaler på allvar.

I ett tidigt skede kan dock indikationerna vara otydliga och därmed är det också svårt att avgöra om det bara är en normal temperaturförhöjning eller om en begynnande glödbrand redan är igång inne i materialet. I vissa lägen

kan det också finnas indikationer på brand genom t.ex. lukt utan att man märkt av någon egentlig temperaturhöjning. Detta kan bero på att temperaturkablarna pressas utåt mot silomanteln när silon fylls och att kablarna således inte registrerar temperaturen inne i bulkmaterialet. I vissa fall kan det till och med vara temperaturen av siloväggens insida som registreras (se vidare kapitel 7).

I alla lägen är det därför viktigt att snabbt försöka skaffa mer kunskap om situationen för att om möjligt förhindra att en brand uppstår och om den ändå gör det komma igång med släckinsatsen så snabbt som möjligt. Beroende på siloanläggningens storlek och utformning finns det ett antal åtgärder som man kan vidta och nedan ges några förslag:

- Täta silon för att i möjligaste mån förhindra lufttillträde som i sin tur kan bidra till att underhålla en oxidation och eventuell glödbrand inne i silon.
- Mät gaskoncentrationen av CO och O_2 och om möjligt även oförbrända kolväten i silotoppen. I detta sammanhang behöver mätinstrumentet för CO kunna mäta koncentrationer i procentnivå, gärna upp till minst 10 %. Uppgifter om lämpliga instrument och kompetent mätpersonal finns i RIB Resurs.
- En lämplig åtgärd kan vara att silon ”luftas” med inertgas i kombination med gasanalyser i silotoppen. Vid en djup glödbrand kan det ta många timmar (till och med dygn) innan de förbränningsgaser som bildats i materialet når silotoppen. Om man pressar in inertgas vid silobotten pressar den i sin tur förbränningsgaserna upp till ytan vilket leder till en betydligt snabbare möjlighet att mäta gaskoncentrationerna och på så sätt avgöra om det är en pågående förbränning eller inte. För små silor kan man använda flaskpaket med kvävgas, för större silor krävs en tank och förångarutrustning, d.v.s. samma utrustning som för en släckinsats. Eventuellt kan en luftning ske med en begränsad kapacitet direkt från en tankbil. Om silon förberetts med slangar för gasprovtagning inne i bulkmaterialet så innebär det att man kan mäta koncentrationen av bl.a. CO och O_2 inne i bulkmaterialet utan luftning. Se vidare kapitel 7.

- En teknik som tillämpas vid lagring av bland annat spannmål och foder är, att när man ser tecken som tyder på en begynnande temperaturhöjning, kör över innehållet till en angränsande silocell. Detta kräver naturligtvis tillgång till en större siloanläggning med en eller flera tomma siloceller. Fördelen är att man förhoppningsvis ”bryter upp” de delar av materialet som nått högst temperatur och blandar detta med kallare material och på så sätt dämpar temperaturstegringen. *Tekniken kan dock skapa problem i vissa situationer och bör därför övervägas noga eftersom kylningen av materialet ofta blir mycket begränsad samtidigt som man istället syresätter bulkmaterialet vilket kan öka oxidationsprocessen ytterligare.* Vissa material, t.ex. pellets, sönderdelas dessutom vid hanteringen och bildar en ökande mängd finfraktion som då helst bör siktas bort. I annat fall kan den ökade mängden finfraktion leda till en ökad oxidation samtidigt som gasgenomsläppligheten i bulkmaterialet minskar. Om man vid materialtransporten upptäcker tecken på självantändning (missfärgat eller mycket varmt material) måste arbetet avbrytas omedelbart och inertering inledas eftersom det finns risk för brandspridning och dammexplosion.

Beroende på vilka gaskoncentrationer som mäts inne i silotoppen (eller inne i bulkmaterialet) kan man göra en första bedömning av läget och i tabellen redovisas några typiska riktvärden som i kombination med varandra kan indikera om det bara är en (normal) oxidationsprocess som pågår eller om en glödbrand startat inne i bulkmaterialet.

	CO (%)	O_2 (%)	CO_2 (%)	THC*(ppm)
Oxidation	Ca 0,5–1	0–21	0–10	100–2 500
Brand	2–>5	0–10	10–>30	> 15 000

*THC (Total Unburnt Hydrocarbons), d.v.s. oförbrända kolväten

Tabellen visar storleksordningen på de gaskoncentrationer som i kombination med varandra kan användas som riktmärken för att avgöra om man har en brand eller inte i en silo. Det är dock svårt att ange specifika koncentrationsgränser för en ”normal” oxidationsprocess respektive brand utan man får bedöma storleksordningarna, t.ex. en CO-halt på upp till 1% kan vara föranledd av en oxidation medan en CO-halt på flera procent sannolikt är resultatet av en pågående glödbrand. Om man är tveksam är det viktigt att göra mätningar löpande för att följa händelseförloppet, eventuellt i kombination med att ”lufta” silon med inertgas.

Kolmonoxidhalter på omkring 0,5–1 % i silotoppen behöver inte med säkerhet innebära en pågående brand, det kan också vara resultatet av en kraftig oxidation. I detta läge bör man följa förloppet mycket noggrant med löpande mätningar för att se trenden och eventuellt överväga att ”lufta” silon, det vill säga genom att mata in inertgas för att få ett säkrare bedömningsunderlag.

Om man däremot noterar kraftigt förhöjda halter av kolmonoxid (2–5 % eller mer), sannolikt också i kombination med en kraftigt förhöjd temperatur inne i materialet är detta en stark indikation på att det finns en glödbrand. Om sådana kraftigt förhöjda halter uppträder i kombination med kraftig lukt, rök och kraftig kondensbildning kan man vara helt säker på att materialet självantänt.

Yttre tändkälla

En yttre tändkälla kan utgöras av glödande material som följer med vid inmatning av materialet i silon. Glöden kan härstamma från en glödbrand som uppstått i materialet vid tidigare lagring, t.ex. i större planlager med biobränslen eller returbränslen. Men den kan också bero på gnistbildning eller varmgång i någon del av transportsystemet, t.ex. på grund av friktion mot materialansamlingar i transportsystemet, ett skuret lager eller gnistbildning från metalldelar i krossar eller kvarnar. Sådant glödande material kan i sin tur medföra två olika brandscenarier inne i silon.

Ett scenario kan vara att glödhärden snabbt täcks över av nytt inmatat material och då startar en djup glödbrand precis som vid en självantändning.

Ett annat scenario kan vara att det glödande materialet stannar uppe på ytan och ganska snabbt leder till en öppen ytbrand inne i silon. Omfattningen och intensiteten av en sådan brand kommer att vara direkt beroende av typ av lagrat material respektive tillgängligt syre. I en tillsluten silo kommer tillgängligt syre snabbt att förbrukas men om det finns större öppningar eller ventilationssystem kan detta snabbt leda till en omfattande glödbrand.

Det finns naturligtvis fler tänkbara orsaker till brand.

Utmatningsskruven i botten av silon kan till exempel gå varm och det kan leda till en djup glödbrand men också snabbt skapa brandproblem i transportsystemet efter silon.

När det gäller tändkällor som kommer via transportsystemet finns det effektiva skyddssystem med värmedetektorer i kombination med släcksystem som kan förhindra denna typ av brandspridning (se vidare kapitel 7). Om ett sådant system aktiverar måste man ändå undersöka mycket noga att ingen glöd tagit sig vidare i transportsystemet annars kan branden sprida sig och skapa en dammexplosion i transportsystemet.

Allmänt om silotyper och silolagring

Kapitel 6

Allmänt om silotyper och silolagring

Det finns många olika typer och storlekar av silor och dessutom kan egenskaperna hos de material som lagras i silorna variera avsevärt. Alla dessa faktorer kan påverka risken för att brand uppstår och bör inverka på valet av släcktaktik. Det är därför viktigt att på ett tidigt stadium fastställa vilken typ av silo det handlar om och vilket material som lagras i den. Nedan ges en kort beskrivning av några olika vanliga silotyper.

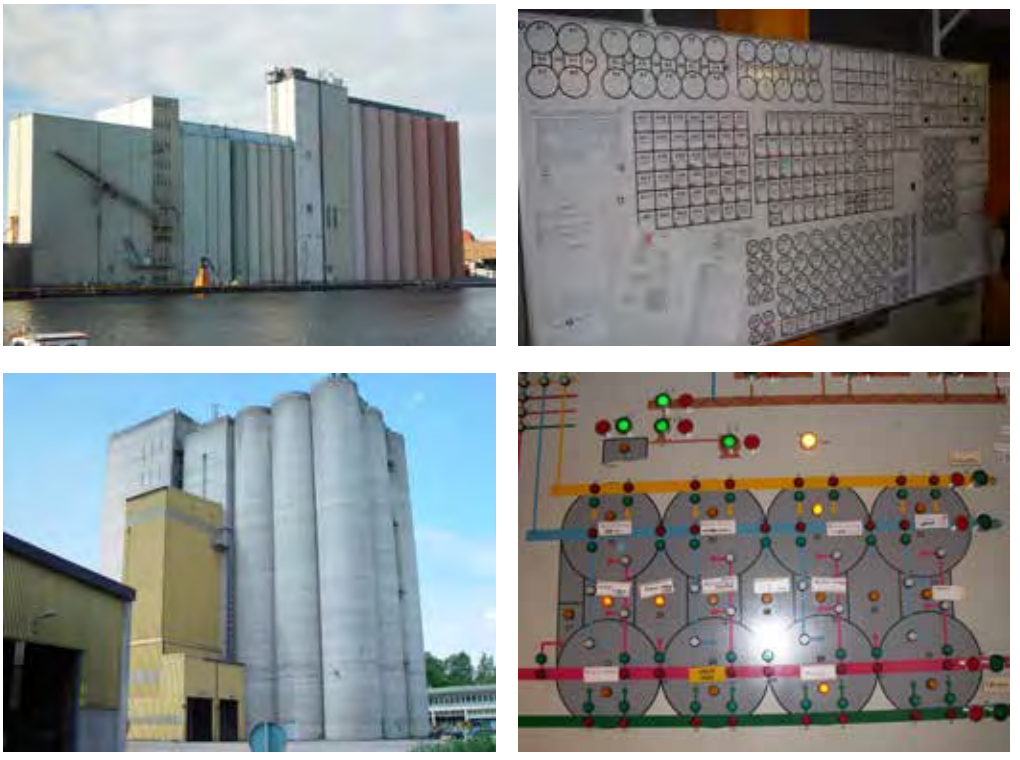
Silotyper

Tornsilo

Tornsilor är höga silor med förhållandevis liten diameter utförda i betong. Siloanläggningen är ofta mycket komplex och består ofta av flera enskilda silor (siloceller) som är sammanbyggda till en enhet och den har normalt använts för förvaring av spannmål. Ofta är siloanläggningen en integrerad del i en större anläggning som kan innehålla omfattande transportsystem i form av bandtransportörer och elevatorer, krossar, kvarnar, siktar och torkar. Dessutom är miljön ofta dammig.

Silocellerna kan vara mellan 25 och 50 m höga och cellernas diameter 4–12 m. På grund av silornas form bildas också hålrum mellan dessa cirkulära siloceller och de mellanrummen utnyttjas också för lagring och de kallas ”stjärnceller”. I vissa större anläggningar, t.ex. fabriker för tillverkning av djurfoder, kan tornsilodelen innehålla 10–30 siloceller av

varierande volym. Utöver detta innehåller anläggningarna ofta många mindre silor för hantering av fodertillsatser och för lagring av färdigvara. En tornsiloanläggning har för det mesta en överbyggnad på toppen av silocellerna där bandtransportörer finns. Materialet transporteras upp till toppen med hjälp av olika elevatorsystem. Silorna är självtömmande, d.v.s. utmatning av materialet sker via en konisk botten där materialet via ett spjäll eller en cellmatare fritt kan rinna ut på en band- eller skraptransportör. Ur insatssynpunkt innebär detta mycket begränsad åtkomlighet för räddningstjänsten. På grund av rationaliseringar har man under senare år slutat att använda många siloanläggningar för spannmålslagring. Istället används ett flertal anläggningar för förvaring av träpellets. I vissa fall har även foderfabriker konverterats till pelletstillverkning.



Foton och planlayout av en tornsiloanläggningar som ofta innehåller ett stort antal siloceller varav vissa, sk stjärnceller, ligger placerade mellan de runda silotornen.

Fristående stål- eller betongsilor

Dessa silor har ofta en förhållandevis stor diameter, i storleksordningen 15–30 m och i en framtid kan vi förvänta oss ännu större silodiametrar. Silons höjd är ungefär densamma som diametern, det vill säga 15–30 m. Silon kan vara konstruerad helt i stålplåt men väggarna kan också vara gjorda av betongelement medan det koniska taket är utfört i stål. Dessa typer av silor finner man ofta på kraftvärmeverk där de ingår som ett steg i bränslehanteringen mellan stora planlager för olika bränsleslag och pannan. Bränslet kan utgöras av bl.a. pellets, flis, torv, kol, returbränsle eller olika blandningar av dessa bränslen. Silorna används också inom pelletsindustrin för lagring av nytillverkad pellets. Beroende på typ av material kan silorna antingen vara självtömmande (t.ex. pellets) eller så krävs en aktiv bottenutmatningsutrustning, t.ex. via en roterande skruv i silons botten.

Exempel på fristående betong- respektive stålsilor för bl.a. biobränslehantering. Beroende på lagrat material används i vissa fall en utmatningsskruv längs silobotten.

För underhåll och rengöring finns i vissa fall en stor port på sidan av silon som gör att man kan komma in i dem med till exempel en lastmaskin.

Mindre bulksilor

Mindre bulksilor används ofta för materialhantering, lagring och utlastning. Dessa är ofta fristående, 5–15 m höga

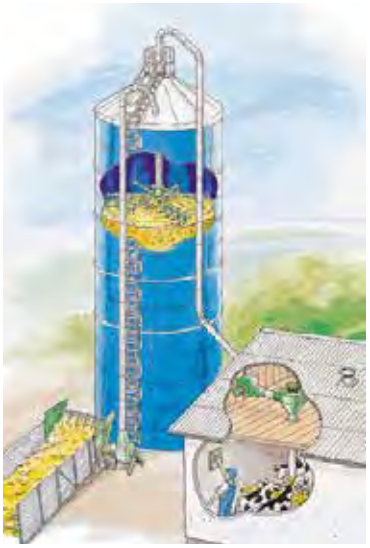
Olika typer av mindre bulksilor.

med en diameter på 3–10 m och de är normalt utförda i stål. Det lagrade bulkmaterialet kan vara till exempel sågspån, flis, pellets, träpulver eller olika typer av råvaror för olika industriprocesser, såsom plastgranulat, djurfoder eller spannmål. Tömningsanordningen anpassas till det lagrade materialet och kan antingen vara en självtömmande lösning eller bestå av någon form av skruv för bottenutmatning anpassad till bulkmaterialet.

Gastäta silor

Gastäta silor är fristående stålsilor och används oftast för lagring av spannmål eller annat organiskt material som kan reagera eller oxidera med luften och på så sätt leda till kvalitetsförsämring. Silon är i princip helt tät och försedd med täta spjäll som stängs efter fyllning så att lagringen kan ske helt utan luftväxling. För att hantera inverkan av olika temperatur och eventuell gasbildning inne i silon är den försedd med en tryck- eller vakuum-ventil. De gaser som bildas inne i silon beror på det lagrade materialet och kan medföra förhöjda halter av bl. a. kolmonoxid, koldioxid och metan samtidigt som syrgashalten är låg.

Gastäta silor.



Ensilagesilos med tillhörande in- och utmatningssystem.

Ensilagesilor

Ensilagesilor är oftast utförda i stål med en diameter på 5–8 m och de kan vara upp till 25 m höga. Till skillnad från övriga typer av silor sker både in- och utlastning ovanifrån. Inläggning av ensilage sker med oftast 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 man får en så kompakt och luftfattig lagring som möjligt. Vid uttagning av materialet ur silon arbetar fylltömmaren i omvänd riktning och river av och matar in fodret mot centrum till ett insugningsrör av teleskoptyp kopplat till en sugfläkt. Detta innebär således att materialet som lastades in först blir det som matas ut sist.

Siloinnehåll och fyllnadsgrad

Lagrade material

Nedan ges några exempel på olika brännbara produkter som kan lagras i silor inom olika industrisektorer:

- Träflis, torkad sågspån, kutterspån
- Träpellets, träpulver, slipdamm
- Spannmål (vete, korn, havre, råg)
- Rapsfrö
- Foderråvaror (sojamjöl, rapsmjöl, betsnitsel, majs, torkad drank)

- Vetemjöl, rågmjöl, kli etc.
- Socker
- Plastgranulat, torra bindemedel
- Kol, koks,
- Fragmenterat returbränsle

Det lagrade materialets egenskaper påverkar både risken för att brand ska uppstå och vilka släcktaktiker som kan vara användbara. Porösa organiska material, t.ex. biobränslen, kan vara självuppvärmande på grund av biologisk aktivitet, kemisk oxidation och fysikaliska processer såsom fukttransport inom materialet. I vilken mån denna värmealstring leder till problem är en balans mellan värmealstringshastigheten och värmeförlusterna från det lagrade materialet. Konsekvensen av detta är att risken för kraftigt förhöjda temperaturer och därmed risk för självantändning ökar med ökade lagringsvolymer.

Ur släckteknisk synvinkel är materialets porositet och permeabilitet (luftgenomsläpplighet) av intresse eftersom det direkt påverkar släckmedlets möjlighet att spridas inne i materialet. Ett material med hög porositet och permeabilitet innebär att det är relativt lätt att injicera och distribuera en inertgas i silon medan ett material med låg porositet och permeabilitet kan göra det svårt att uppnå en jämn distribution och det kan krävas höga matningstryck. Vid lagring av lätta, finfördelade material, som exempelvis träpulver och mjöl är det viktigt att inte virvla upp materialet vid gasinmatningen eftersom det kan leda till en dammexplosion. Risken för att materialet virvlas upp är som störst vi låg lagringshöjd.

Hur materialet påverkas av fukt eller vattenbegjutning är också av stor betydelse. Många material kan klibba ihop och skapa hårda, solida ”kakor”. Pelleterat material, t.ex. träpellets och djurfoder sväller också kraftigt vid vattenbegjutning samtidigt som det faller sönder. Detta kan dels leda till en minskad porositet och gasgenomsläpplighet, dels kan det skapa stora problem om hopklibbat och uppsvällt material fastnar på siloväggarna och skapar ”häng” eller ”valvbildningar”. Materialet kan till och med svälla så kraftigt att siloväggarna trycks sönder. Det finns även ex-

En silo kan tippa om det uppstår snedbelastningar inne i silon och om pelletterat material vattenbegjuts kan det svälla så att silon trycks sönder..

Varuslag	Volymvikt (ton/m³)	Poro-sitet	Partikelstorlek (mm)	Vatten-halt (%)	Svällning vid vattenbegjutning	Kommentar
Spannmål	0,55–0,7	0,4-0,6	4	13	Ca 15%	Havre har lägre volymvikt och högre porositet än vete
Träpellets	0,65	0,4	8-10	10	Kraftig svällning*	Hög andel finfraktion ger högre volymvikt och lägre porositet
Foderpellets	0,6-0,75	0,4	3-6	13	Kraftig svällning*	Högre volymvikt vid hög mineralhalt
Sojamjöl	0,6-0,65	0,4	2-4	13		Förekommer också pelletterad
Rapsmjöl	0,6-0,65	0,4	1-2	13		
Betsnitsel pellets	0,65	0,4	6-8	10-13	Kraftig svällning*	

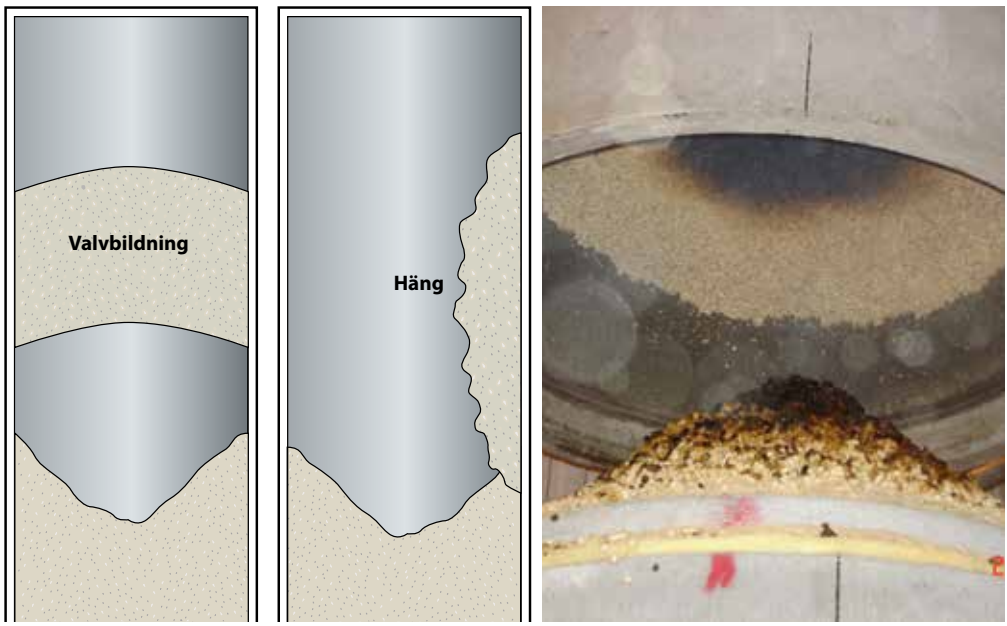
Egenskaper för några vanliga brännbara produkter som lagras i silosanläggningar.

** Svällningen blir mycket kraftig då materialet som komprimerats vid pelleteringsprocessen återtar sin ursprungliga volym.*

empel på silor som tippat på grund av snedbelastning men också på grund av den ökade vikten vid vattenanvändning. Vatten måste därför i sådana fall undvikas eftersom det inte bara medför mycket stora problem för släckinsatsen i sig, utan också skapar mycket stora risker vid en efterföljande tömning då fastklibbat material på något sätt måste spettas loss från siloväggen.

Självantändning kan också uppstå inne i häng och valvbildningar orsakat av t.ex. kondens och fuktvandring och

det kan leda till mycket komplicerade brandförlopp och släckinsatser. Vid en glödhärd inne i en valvbildning eller ett häng är branden svåråtkomlig och inertgasen har sannolikt svårt att penetrera in till glödhärden. Vid valvbildning kan man försöka borra igenom det bulkmaterial som fastnat för att komma åt glödhärden. Om inte silon hålls inerterad kan detta leda till en effektiv syresättning med en snabbt uppblossande brand som resultat. När man arbetar med att försöka få loss valvbildningar eller häng kan stora kakor av material lossna och frilägga glödhärdar samtidigt som dammbildning från det fallande materialet kan orsaka en dammexplosion. Om en valvbildning lossnar kan man också få en ”kolveffekt” där ett kraftigt undertryck uppstår i silotoppen på grund av begränsad tilluftsarea. Detta kan i värsta fall leda till att silotoppen sugs in (”imploderar”).



Valvbildning respektive hängbildning längs en silovägg.

Fyllnadsgrad

Silons fyllnadsgrad är intressant ur ett antal aspekter och en låg respektive hög fyllnadsgrad kan vara både positivt och negativt.

Störst risk för självantändning i materialet uppstår normalt sett när silon är helt fylld eftersom det reducerar värmeförlusterna inne i bulken. När det är aktuellt att starta tömningen av en helt fylld silo efter den inledande släckinsatsen kommer tömningsprocessen sannolikt att ta betydligt längre tid än normalt och kräva mer resurser vilket, speciellt vid stora silor, kan medföra en mycket lång total insatstid.

En låg fyllnadsgrad kan medföra problem vid inertering eftersom det kan försvåra möjligheterna att nå en jämn gasfördelning i bulkmaterialet, speciellt om diametern är stor i förhållande till fyllnadshöjden. En låg fyllnadsgrad innebär också en större nettovolym inne i silon vilket gör att det kommer att ta längre tid att inertera hela silovolymen.

Om uppgifterna om materialnivån inne i silon är osäkra, kan man försöka att loda avståndet från någon eller några positioner på silotoppen. Dessa uppgifter kan också vara värdefulla när tömningen inleds, speciellt i tornsilor, där risken för häng och valvbildningar är som störst. Häng längs siloväggen kan vara svårt att identifiera genom enbart lodning och kräver sannolikt en visuell inspektion. Om det brinner kan detta vara ett riskfyllt moment som man inte bör försöka sig på innan man har full kontroll av branden och att silotoppen med säkerhet är inerterad.

Förebyggande och förberedande åtgärder

Kapitel 7

Förebyggande och förberedande åtgärder

Det är viktigt att satsa på förebyggande och förberedande åtgärder som totalt sett kan minska risken för att bränder ska uppstå och som i händelse av brand kan minimera risker och konsekvenser för både personal och anläggning. Krav på att genomföra sådana åtgärder ställs dels i Arbetsmiljöverkets föreskrifter AFS2003:3 ”Arbete i explosionsfarlig miljö”, dels i lagen om skydd mot olyckor (LSO).

I lagen om skydd mot olyckor (SFS 2003:778) 2 kap. 2§ står följande: *”Ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skälig omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand”.*

Nedan ges några olika exempel på åtgärder som kan vara lämpliga att överväga. Prioriteringen av dessa måste anpassas till respektive anläggning eftersom det är många faktorer som påverkar riskbilden. Det kan till exempel handla om storlek och komplexitet hos anläggningen, typ av material som hanteras och lagras, hanteringssystem (exempelvis transportörer eller ”processutrustning”) före och efter silon, maximal lagringstid i silon eller effekter av ett oönskat driftsavbrott.

Riskbedömning enligt AFS 2003:3

Arbetsmiljöverkets föreskrifter, AFS 2003:3, gäller för alla verksamheter"… 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."

Detta innebär att reglerna därmed inbegriper i stort sett alla siloanläggningar.

I §7 av föreskrifterna ställs krav på att genomföra en dokumenterad riskbedömning och denna ska vara utförd av någon med lämplig utbildning och kompetens inom området. Riskbedömningen ska omfatta en inventering av bl.a. materialets explosionsbenägenhet, de tändkällor som förekommer, sannolikheten att miljön ska bli explosiv, den explosiva miljöns utbredning och sannolikheten för antändning samt dess konsekvens.

Riskbedömningen ska också omfatta bland annat *"… lämpligt släckmedel och släckförfarande vid brand för att förebygga explosion"*.

I kommentarerna till § 7 nämns silor uttryckligen: *"Vid glödbränder i silos eller annan utrustning är det viktigt att i förväg ha en plan för hur man skall släcka branden. Annars finns stor risk att utrustning och byggnader rämnar vid kraftig påföring av vatten eller att en explosion inträffar då glödbranden friläggs."*

I praktiken innebär detta att det är mycket viktigt att genomföra förberedelser för en släckinsats så att räddningstjänsten inte ställs inför en orimlig uppgift. Det är också mycket viktigt att involvera räddningstjänsten och att man tillsammans upprättar en insatsplan för olika brandscenarier. Detta ger dels ett ovärderligt kunskapsutbyte kring anläggningens uppbyggnad och processer, dels en förståelse för räddningstjänstens arbete och inte minst dess begränsningar.

I äldre siloanläggningar som används för lagring av andra material än de som man ursprungligen planerat för, t.ex. lagring av träpellets i en spannmålssilo, är det oerhört viktigt att uppdatera riskanalysen och se över gällande rutiner. Hantering och lagring av olika typer av bulkmaterial kan innebära många nya förutsättningar avseende lagringstid, fyllnadstid, materialets egenskaper avseende självantändning etc.

Arbetsmiljöaspekter

Förutom risken för explosion och brand finns andra allvarliga arbetsmiljörisker. Vid hantering och lagring av många olika typer av material finns risk för biologiska och kemiska nedbrytningsprocesser. Detta kan resultera i alstring av t.ex. koldioxid och kolmonoxid samt samtidigt reducera syrgashalten i luften varför följande åtgärder bör övervägas:

- Detektorer för kolmonoxid och syrgas bör installeras i utrymmen där personal har tillträde och där farliga gaser kan ansamlas vid en begynnande oxidation eller självuppvärmning av materialet i silon. Det kan till exempel vara kulvertgångar under silon och överbyggnad över silotoppen. För att tillträde ska bedömas som säkert gäller att uppmätta gaskoncentrationer är max 100 ppm CO och min 20,9 % O2.
- Om dessa risker kan uppträda på flera platser i anläggningen som kan vara svåra att med säkerhet definiera bör även driftpersonalen ha tillgång till personburen mätutrustning. Denna utrustning ska kunna registrera både CO och O_2. Om det primärt handlar om risk för biologiska nedbrytningsprocesser som exempelvis i lagring av träflis eller timmer i ett lastrum på fartyg kan även höga koncentrationer av koldioxid (CO_2) bildas men mätning av CO och O_2 och tillämpning av de ovan angivna max/min-koncentrationerna ger ändå nödvändig information.

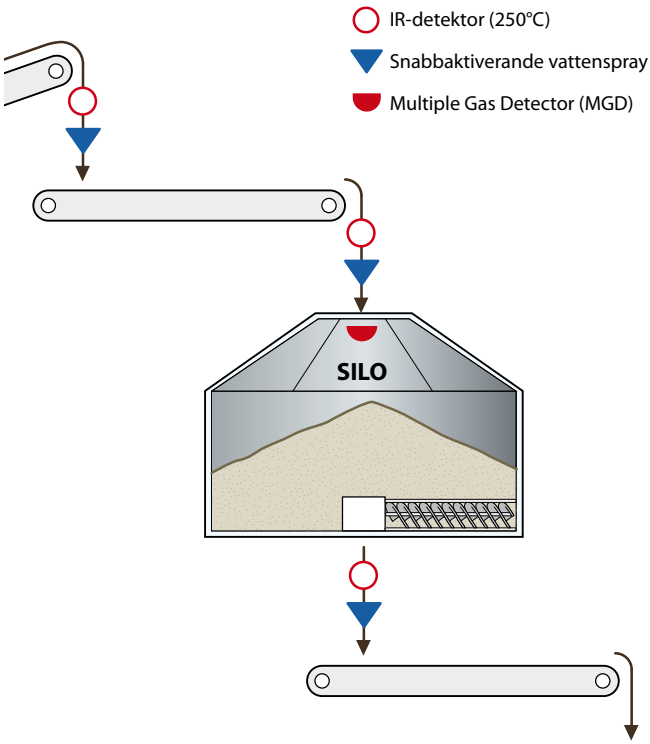
Branddetektionssystem och automatiska släcksystem

En tidig upptäckt är alltid det effektivaste sättet att reducera konsekvenserna av en brandincident. Följande åtgärder kan vara relevant:

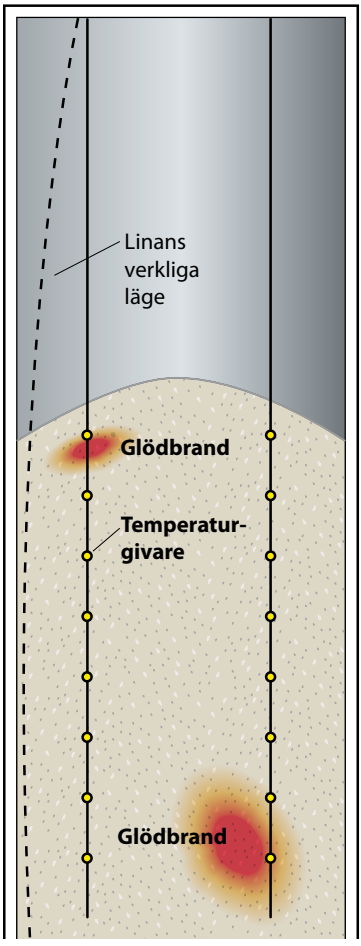
- Installera gnist- och värmedetektorer med tillhörande släcksystem i transportsystem (bandgångar, elevatorer, stoftutsugningssystem, i krossar och kvarnar) för att reducera risken för antändning i silor (eller planlager) via någon ”yttre tändkälla” såsom gnistor eller varmgång.
- Installera temperatursensorer monterade i kablar som hänger ner från silotaket och som möjliggör temperaturövervakning inne i bulkmaterialet. Mätområdet bör

uppgå till minst 100 ˚C och antalet kablar måste anpassas till silons storlek. Den registrerade temperaturen bör loggas så att man enkelt kan följa temperaturhistoriken över en längre tidsperiod. Man måste också vara mycket uppmärksam på att kablarna kan pressas ut mot siloväggen vid fyllning och då inte hänger lodrätt utan i vissa fall till och med mäter temperaturen på siloväggens insida. Orsaken är att kablarna normalt sett inte kan förankras i silobotten.

- Installera en gasdetektor för CO (helst en detektor av typen ”electronic nose”, MGD) på lämpligt ställe i silotoppen för att på detta sätt säkerställa att en eventuell brand detekteras så tidig som möjligt. Om detektionssystemet ska övervaka ett större utrymme, t.ex. en överbyggnad ovanför silon, eller om åtkomligheten till silon är begränsad, kan ett aspirerande system vara att föredra. I aspirerande system sugs luft från olika ställen i anläggningen in i ett system av slangar som sedan leds till en centralt placerad gasdetektor. Vid larm får man sedan aktivt söka reda på varifrån gaserna härrör.



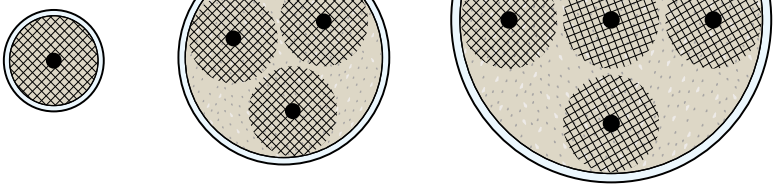
Gnist/värmedetektionssystem med tillhörande släcksystem i transportsystem före och efter en silo för att förhindra spridning av heta partiklar/glödande material. För att upptäcka en självantändning i en silo är ett gasdetektionsystem för CO, alternativt någon typ av “electronic nose“, (MGD) mest lämpligt.



Linor med temperaturgivare med 2–3 meters avstånd.

Exempel på kablar med temperatursensorer som hänger ner från silotaket. Antalet kablar måste anpassas till silons diameter för att uppnå en rimligt heltäckande övervakning. Temperaturgivarna kopplas oftast till ett centralt kontrollsystem.

Principell placering av en eller flera givarkablar beroende på silodiameter med antagen täcknings-area streckad.



Ett effektivt detektionssystem skulle kunna vara en typ av aspirerande system där en eller flera samplingsslangar hänger ner i bulkmaterialet (gärna tillsammans med någon eller några kablar med temperatursensorer) kopplat till analysinstrument som gör att man kan övervaka koncentrationen av bl.a. CO och O_2 inne i bulkmaterialet. Med denna lösning skulle man kunna få en bild av förhållandena inne i bulken utan att ”luftning” med kvävgas blir nödvändig. Ju större silon är, desto mer värdefull skulle denna möjlighet vara. I dagsläget finns troligen inget sådant system kommersiellt tillgängligt.

Förberedelser för brandsläckning och tömning av silor

Såsom framgår av kapitel 2, är huvudprincipen för en släckinsats i en silo att inertgas ska föras in vid silobotten. Det framgår av AFS 2003:3 att det är viktigt att utarbeta en plan för släckinsatsen. Om inga förberedelser är gjorda ställs räddningstjänsten inför en rad praktiska problem som kan innefatta håltagning, tillverkning av lansar etc. Vid större silor eller silor med dålig åtkomst kan det i värsta fall vara omöjligt att lösa gasinmatningen på ett tillfredsställande sätt vilket kan leda till en mycket utdragen insats och i värsta fall en totalskada. Här följer ett antal åtgärder som kan förenkla insatsen betydligt och som man därför bör överväga. Åtgärderna måste alltid anpassas efter den silo det rör sig om.

- Förbered silon med ett fast rörsystem för gasinmatning så att en snabb insats och en optimal gasfördelning inne i silon kan uppnås. Systemet behöver anpassas till silons diameter och dess konstruktion.
- Se över och gör silokonstruktionen så tät som möjligt. Förbered i övrigt silon så att nödvändiga öppningar på ett snabbt och enkelt sätt kan tätas för att reducera luftgenomströmningen och därmed minska intensiteten hos en pågående brand. Detta gör också att mindre inertgas läcker ut när släckinsatsen inleds. Förberedelserna bör även underlätta tätningen av anslutningar mot transportsystem och stoftutsugningssystem, till exempel genom montering av spjäll. Förutom att minska

luftgenomströmningen bidrar dessa åtgärder också till att minimera risken för brandspridning till omgivande siloceller (tornsiloanläggningar) och anläggningsdelar.

- Om silon är försedd med explosionsluckor på silotoppen och dessa är rimligt åtkomliga kan man förse några av dessa med gångjärn eller motsvarande så att de kan fungera som tryckavlastning vid gasinmatning samtidigt som de förhindrar insug av luft. På tornsiloanläggningar kan man tillverka en täcklucka som förses med en gasavledning ut i det fria.
- Dra en stigarledning upp till silotoppen, vid en släckinsats kan den användas för matning av inertgas till silotoppen. I en tornsiloanläggning med många siloceller kan man avsluta stigarledningen på en lämplig plats på silotoppen (med god och säker åtkomlighet) och sedan koppla samman den med den berörda silon med hjälp av en slang. Stigarledningen kan eventuellt också användas för vatten/skumförsörjning av räddningstjänsten vid t.ex. en manuell släckinsats vid silotoppen.
- Även om man genomfört en släckinsats med inertgas och branden i princip är släckt så måste man alltid utgå ifrån att det kan finnas kvar glödhärdar som kan blossa upp igen i samband med tömning då materialet syresätts igen. Därför bör man försöka ordna någon form av nödtömningsmöjlighet, t.ex. genom ett separat transportband eller genom att göra det ordinarie transportbandet reversibelt så att materialet enkelt kan matas ut till en säker plats på silos utsida och därifrån transporteras vidare. På detta sätt minimerar man användningen av det ordinarie transportsystem i anläggningen och därmed risken för brandspridning.
- Oavsett vilket tömningssystem silon har måste man ha kontinuerlig bevakning av utmatat material och vid behov måste man kunna vattenbegjuta glödande eller ”misstänkt” material. En brandvattenledning (torrrörssystem) bör därför installeras i de utrymmen där utmatat material kommer att hanteras och transporteras (siloutmatning, kulvertar, bandgångar etc). Detta underlättar för räddningstjänsten som då kan mini-

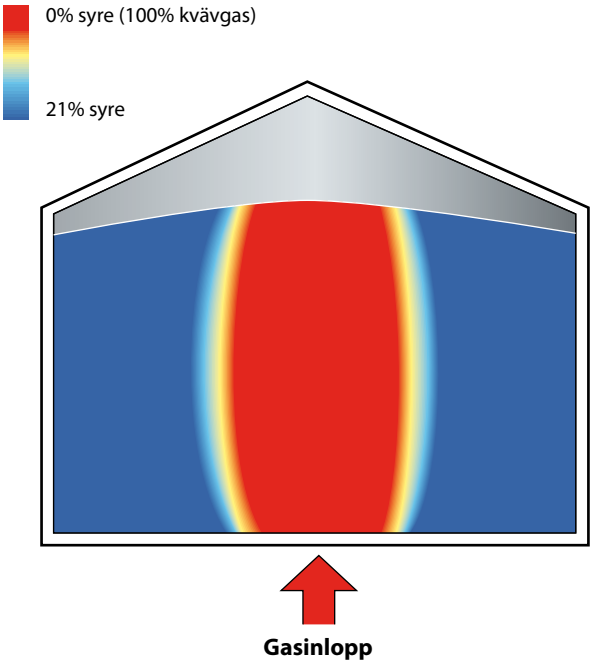
mera slangdragning och på så sätt underlätta vattenförsörjningen till dessa utrymmen.

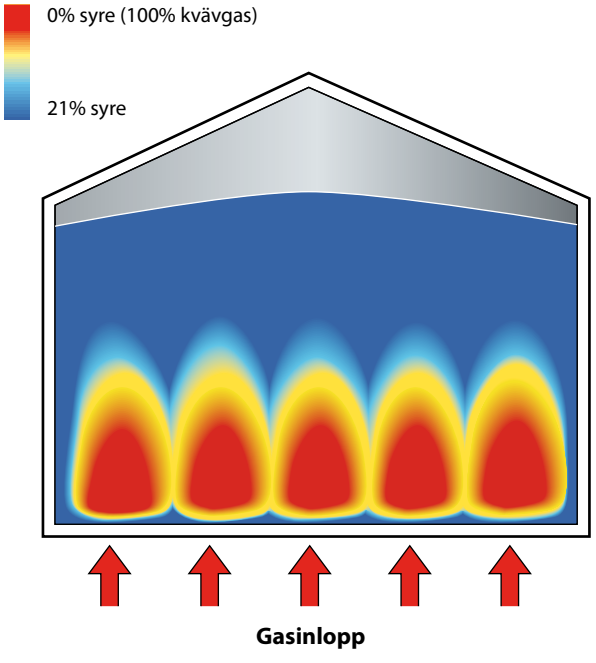
- Om det ordinarie transportsystemet (bandtransportörer, elevatorer etc.) måste utnyttjas även för en nödtömning är det viktigt att detta system skyddas så att transportörernas funktion kan garanteras samtidigt som man undviker en brandspridning ut i anläggningen. Ur funktionssynpunkt är kedjetransportörer och skruvar lämpligare eftersom de inte innehåller gummiband eller gummiremmar som lätt riskerar att skadas. För att reducera risken för spridning bör transportsystemet förses med gnist- och värmedetektorer kopplade till ett vattenbegjutningssystem. Man kan också överväga ett fast sprinklersystem av transportörerna som ett katastrofskydd.

Fast gasinmatningssystem

Helst bör alla silor vara förberedda för en släckinsats genom att ett rörledningssystem för gasinmatning vid silobotten installerats. Det finns två primära syften med ett sådant system, dels att underlätta en snabb insats och dels att säkerställa att gasen fördelas så att hela silon inerteras. Vikten av en effektiv gasfördelning ökar med silons storlek eftersom insatsen annars kan misslyckas därför att gasen inte når glödhärden. Med ett fast gasinmatningssystem kan man göra en effektiv insats som kan rädda stora värden men den allra största vinsten är att insatsen kan göras snabb och säker för all personal.

För att illustrera behovet av att fördela gasen över silon tvärsnitt kan vi jämföra med en vattensprinkler. I ett litet utrymme kan en enda sprinkler vara tillräckligt för att täcka hela ytan men om man har ett stort utrymme så räcker det inte med en enda sprinkler oavsett om man ökar flödet. Vattenplymen kommer fortfarande att ha en begränsad utbredning och stora delar av utrymmet kommer inte att nås av vattnet. Samma sak gäller för gasen och man behöver således försäkra sig att gasen snabbt täcker hela tvärsnittet av silon genom flera gasinlopp.





Gasfördelning vid inmatning i en silo med stor diameter. Med endast en inmatning i centrum kommer gasen endast att täcka en del av silon även om gasen matas in under mycket lång tid. Med flera gasinlopp kan man snabbt nå en bra fördelning över hela silons tvärsnitt.

Om man installerar ett gasinmatningssystem i samband med att en silo byggs är kostnaden för detta marginell. För befintliga silor finns ett antal möjligheter att komplettera konstruktionen i samband med att silon är helt tömd.

I följande kapitel ges några exempel på gasinmatningsarrangemang för några olika silostorlekar och silotyper. Det är i detta läge viktigt att notera att *rekommendationerna i dagsläget är baserade på erfarenheter, försök och simuleringar där träpellets utgör bulkmaterialet*. Andra material kan ha andra egenskaper, till exempel vad gäller porositet och permeabilitet, vilket kan leda till större svårigheter att nå en jämn gasfördelning och således kan ytterligare gasinmatningspunkter behövas. *Det är också värt att notera att erfarenheterna från försök och verkliga bränder är begränsade till silor med relativt liten diameter.*

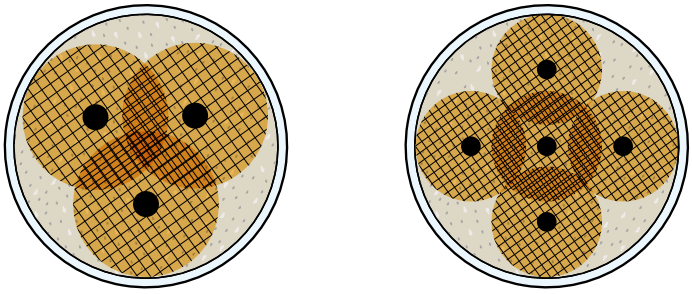
En viktig aspekt är att gasinmatningssystemet inte får skapa problem eller skadas vid ordinarie fyllning och tömning av silon. Oavsett vilka åtgärder man tänker vidta måste man ta hänsyn till silons konstruktion, utmatningssystemet och vilket material som lagras i silon.

Generella rekommendationer kring dimensionering och gasfördelning

Utgångspunkten för utformningen av gasinmatningssystemet är att man ska uppnå en gasinmatningshastighet av lägst ca 5 kg/m^2 tim räknat över hela silons tvärsnittsarea och att gasen ska fördelas så jämt som möjligt. För små silodiametrar räcker det normalt med 1–3 gasinlopp. För silor med en diameter på 10–15 m eller mer och där lagringshöjden är relativt begränsad, krävs ytterligare gasinlopp vilket beskrivs mer i nedanstående kapitel.

Silor med stor diameter och plan botten

För att relativt snabbt uppnå ett jämt flöde över hela tvärsnittet (pluggflöde) i en stor silo är ett gasflöde på ca 200–400 kg/tim per gasinlopp ett bra riktmärke. Detta motsvarar då en täckningsarea av 40–80 m^2 per inlopp. För att gasen ska hinna sprida sig radiellt och utveckla ett pluggflöde innan gasfronten bryter igenom ytan av det lagrade



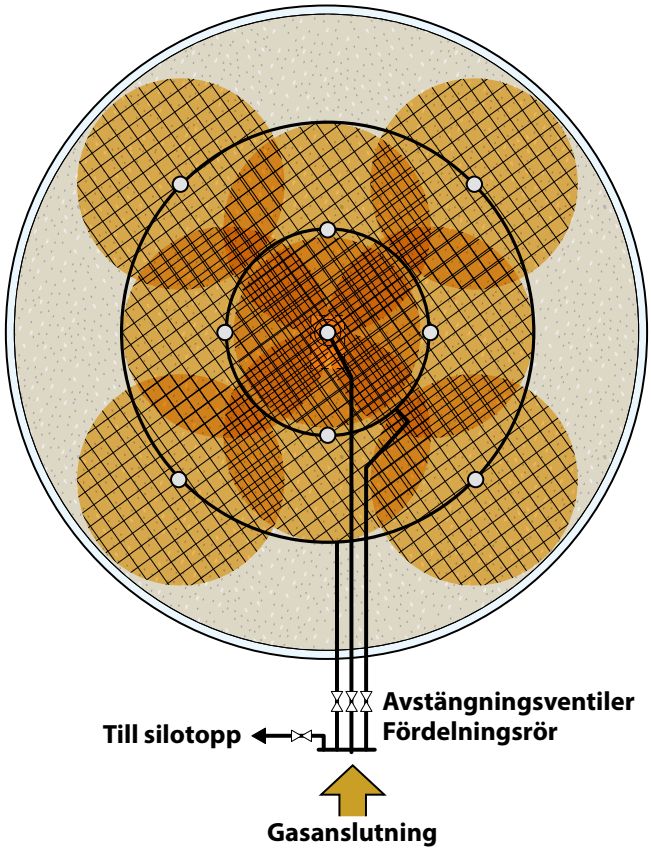
Två alternativ för fördelning av gas genom olika antal gasinlopp beroende på silons diameter och höjd. Det totala gasflödet anpassas för silons tvärsnittsarea för att kunna ge lägst 5 kg/m² tim och antalet gasinlopp väljs med ledning av gasflödet per inlopp och så att täckningen av silon blir så bra som möjligt. Vid större silor med många gasinlopp bör systemet delas upp på flera matningsslingor för att uppnå en bra flexibilitet vid insatsen.

bulkmaterialet bör man sträva efter en mindre täckningsyta per inlopp i silor ju lägre lagringshöjden är. I figuren visas ett exempel på hur gasen kan distribueras i en silo genom att anpassa antalet inlopp respektive gasflödet per inlopp så att den genomsnittliga inmatningshastigheten uppgår till 5 kg/m² tim. I figuren markerar cirkeln runt varje enskilt inlopp den förväntade täckningsytan vilket innebär att det blir viss överlappning men också vissa ”luckor”. Vid större silor och ett större antal gasinmatningspunkter bör man dela upp ledningssystemet på flera matningsslingor vilket dels håller nere ledningsdimensionerna, dels ger en större flexibilitet att styra gasinmatningen vid en släckinsats.

Exempel

En silo med diametern 20 m (314 m² tvärsnittsyta) ska förses med fast gasinmatningssystem i samband med en nybyggnation. Med en påföringshastighet av 5 kg/m² tim innebär detta ett totalt kvävgasflöde på ca 1 600 kg/tim. Eftersom silon i detta exempel antas ha centrumutmatning förses silon med totalt nio gasinlopp av vilka åtta inlopp placeras växelvis på två olika radier från silons centrum samt ett inlopp i utmatningsöppningen. vilket medför ett genomsnittligt gasflöde på ca 180 kg/tim per gasinlopp. I detta fall delas också ledningssystemet upp på tre matningsslingor, en till den yttre slingan, en till den inre slingan samt en till inloppet i silons centrum. Om möjligt utformas de två yttre slingorna som en ringmatning för att nå bästa tryck- och flödesbalans till de olika gasinloppen samtidigt som risken för igensättning minimeras. Uppdelningen i tre slingor gör det möjligt att styra gasflödet till olika delar av silon under insatsen efter att den första inerteringen av hela silon är genomförd. Gasflödet kan då riktas mot silons centrum eller dess periferi beroende på var behovet är störst.

Principskiss av gasinmatningssystem



Exempel på silo med totalt nio inlopp fördelat på två slingor med fyra inlopp på vardera slingan samt en separat matning till ett inlopp i utmatningsöppningen. Även gasmatning till silotoppen bör förberedas.

Rördiametern för de olika slingorna och matningen fram till dessa slingor måste naturligtvis anpassas till det maximala gasflöde som kan bli aktuellt. Dimensionerna bör väljas så att det totala tryckfallet blir lågt vilket minskar behovet av ett högt matningstryck efter förångarutrustningen och ger marginal för att under kortare perioder överskrida nominellt gasflöde. Detta ger då också större marginaler i den mån permeabiliteten (gasgenomsläppligheten) hos det lagrade materialet är lägre än förväntat vilket då resulterar i ett ökat mottryck när gasen ska matas in. Ett maximalt matningstryck på ca 3–4 bar vid nominellt gasflöde är därför att rekommendera. För att uppnå ett så jämt och balanserat flöde och tryck som möjligt över de olika gasinloppen bör ledningssystemet utföras som en ringmatning.

Ur tryckfallssynpunkt skulle relativt klena rördimensioner kunna användas i de flesta applikationer. Med tanke på risken för avlagring av damm och att det även kan bli aktuellt att systemet kan komma att fungera som avlopp för vatten vid t.ex. renspolning av silon, är större rördiametrar att föredra än vad som krävs ur tryckfallssynpunkt. Av denna orsak bör man inte ha mindre inloppsdiameter än 50–75 mm i ett enskilt gasinlopp, ca 75–100 mm i fördelningsslingorna och minst ca 100 mm i matningsrören till slingorna. Rörsystemet bör dessutom utföras med böjar och T-rör med stor radie för att underlätta renspolning.

Eftersom det ofta är svårt att i praktiken få till ett helt balanserat system för den händelse det tillkommer ett antal böjar och T-rör av olika utformning bör man i konstruktionsskedet låta rörinstallatören räkna på tryckfall och utifrån detta föreslå en slutlig utformning.

Varje gasinlopp i silon bör avslutas med en invändig rörgänga (”R3” alt ”R2”). Gasanslutningen vid silomanteln bör utföras som ett fördelningsrör där de olika slingorna och matningen till silons centrum ansluts. Fördelningsröret förses lämpligen också med en anslutning för en matning upp till silotoppen. Anslutningen för inkommande gas bör förses med en invändig rörgänga alternativt en fläns. Samtliga matningsledningar från fördelningsröret ska också vara försedda med en ventil som dels förhindrar luftgenomströmning dels medger att flödet av kvävgas enkelt kan styras till respektive inmatningspunkt vid en släckinsats. Om det är möjligt bör man också förlägga rörsystemet med viss lutning ut mot fördelningsröret för att säkerställa en effektiv dränering av samtliga rörledningar.

Fördelningsröret bör placeras så att den ger god tillgänglighet vid en brandincident och att gastank, gasförångare och tillhörande slangar kan placeras ut på ett sådant sätt att de inte blockerar nödvändig trafik, t.ex. för nödtömningsåtgärder.

Samtliga gasledningar ska vara i rostfritt stål. Eftersom rörsystemet är öppet och matningtrycket vid en normal insats bara kommer att uppgå till några bars tryck bör en dimensionering av rörsystemet för ett maximalt driftstryck

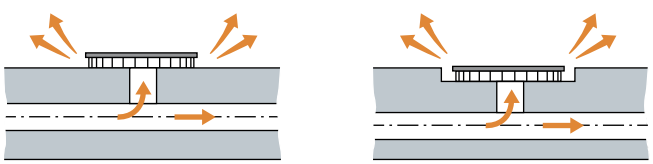
på 10 bar vara tillräckligt (det bör dock verifieras mot relevanta regelverk).

De rörledningar som gjuts in i bottenplattan kan eventuellt utföras i plast, t.ex. PE tryckrör avsedda för muffsvetsning. Vid respektive gasinmatningspunkt bör ledningarna i så fall avslutas med en ingjuten rörgänga i rostfritt material såsom beskrivits ovan. Eftersom användning av plaströr är en okonventionell lösning i dagsläget bör man kontrollera med rörleverantören av ett sådant rörsystem att det fungerar. Om man väljer detta alternativ måste man också säkerställa att den inmatade gastemperaturen vid en insats inte blir lägre än materialets lägsta användningstemperatur. Eventuellt skulle också en intensiv glödbrand längs silobotten kunna leda till värmespridning ner i betongen, vilket kanske skulle kunna skada rören. De delar av rörsystemet som är friliggande, t.ex. fördelningsröret samt matningen till silotoppen ska alltid utföras i rostfritt stål.

Gasinmatningssystemet måste hållas stängt så att inte fuktig utomhusluft sugs in via gasinloppen. Om sådan lufts sugs in skulle det kunna leda till att materialet absorberar fukt och bildar en hård kaka som i sin tur kan blockera gasinmatningen.

För att inte gasinloppen ska sättas igen måste man täcka respektive inlopp. Detta kan ske med en kvadratisk eller cirkulär stålplatta med sidan eller diametern 0,3–0,4 m som monteras fast i betongplattan så att man får en spalt på ca 30 mm mellan plattan och golvet. Om utmatning sker med hjälp av en skruv bör plattan vara nedsänkt i golvet och eventuellt försedd med ett kraftigt, men relativt finmaskigt galler som förhindrar att bränsle pressas in under plattan av utmatningsskruven. Den senare lösningen är också att

Principskiss av gasinlopp



Gasledningar och gasinlopp ingjutna i silons bottenplatta.

På grund av att fuktig utomhusluft kunnat strömma in i silon har lagrad träpellets svällt och bildat en kaka vid öppningen.

föredra om silogolvet ska vara helt slätt och körbart. Oavsett konstruktion måste plattan vara demonterbar för att det ska vara möjligt att kontrollera och eventuellt rensa ledningarna.

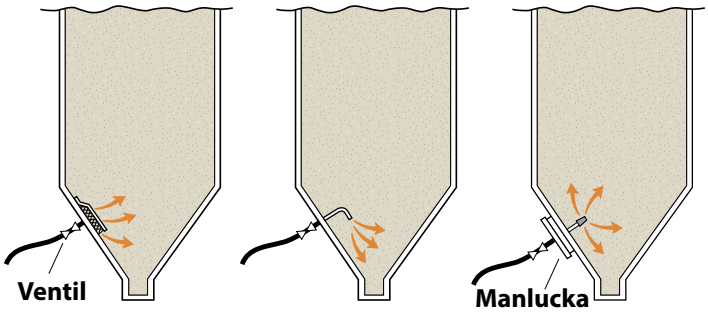
Notera att det bara finns begränsade praktiska erfarenheter av dessa arrangemang i dagsläget och därför måste man efter en installation vara observant så att de inte ger högre mottryck än beräknat eller sätts igen helt.

Självtömmande tornsilor och bulksilor med begränsad diameter

Självtömmande silor har oftast någon form av konisk eller lutande botten vilket styr materialet mot utloppet och silorna har oftast en relativt begränsad diameter.

För små silodiametrar räcker det normalt med ett gasinlopp om gasinmatningen kan ske vid eller nära silons centrum. Överstiger silons diameter 5–6 m, eller om silons höjd eller lagringshöjden understiger ca 2 x silodiametern, bör gasinmatningen om möjligt fördelas på 2–3 inlopp över tvärsnittet. Dessa ska man om möjligt placera diametralt vid två inlopp och med 120˚ delning vid tre inlopp. Gasinloppen bör inte placeras direkt längs den vertikala siloväggen då detta medför att en stor del av gasen kommer att följa siloväggen vilket gör att spridningen in till bulkmaterialet

Olika utformningar av gasinsläpp



Exempel på hur gasinmatningen kan arrangeras i silor med konisk botten.

i silons centrum blir mycket begränsad. Oftast är porositeten i materialet och därmed gasgenomsläppligheten högre utmed väggen vilket förstärker denna effekt ytterligare. Gasinmatningen bör istället ske inne i bulkmaterialet på ett avstånd från siloväggen som motsvarar ungefär halva silons radie.

För små silor med begränsad diameter kan den enklaste förberedelsen bestå i att håltagningar görs i siloväggen på lämpliga ställen och förses med en täckplåt eller någon annan lämplig anslutning. Förbered en eller flera lansar, såsom beskrivits i kapitel 2, vilka passar de håltagningar man gjort. I en brandsituation lossar man täckplåten och trycker sedan in lansarna i bulkmaterialet.

Det är naturligtvis bäst att gasdistributionssystemet görs helt färdigt så att det i händelse av brand bara är att ansluta matningsslangen från förångarutrustningen. Detta är att föredra vid lite större silor där det krävs mer än ett inlopp eller om

åtkomligheten runt silons botten är mycket begränsad. Om silon är försedd med konisk botten kan man få en bra fördelning genom att gasinmatningen monteras en bit ner på konan så att det hamnar längs en vertikal linje med ett avstånd från siloväggen som motsvarar ungefär halva silons radie. Gasinloppen behöver här skyddas med någon form av täckplåt, perforerad plåt eller motsvarande, för att undvika igensättning samt risk för häng och stora påfrestningar på konan.

Om silon har plan botten ska man om möjligt placera inloppen i silons bottenkonstruktion såsom tidigare beskrivits i det föregående kapitlet om större silor.

Förberedelser vid silotoppen

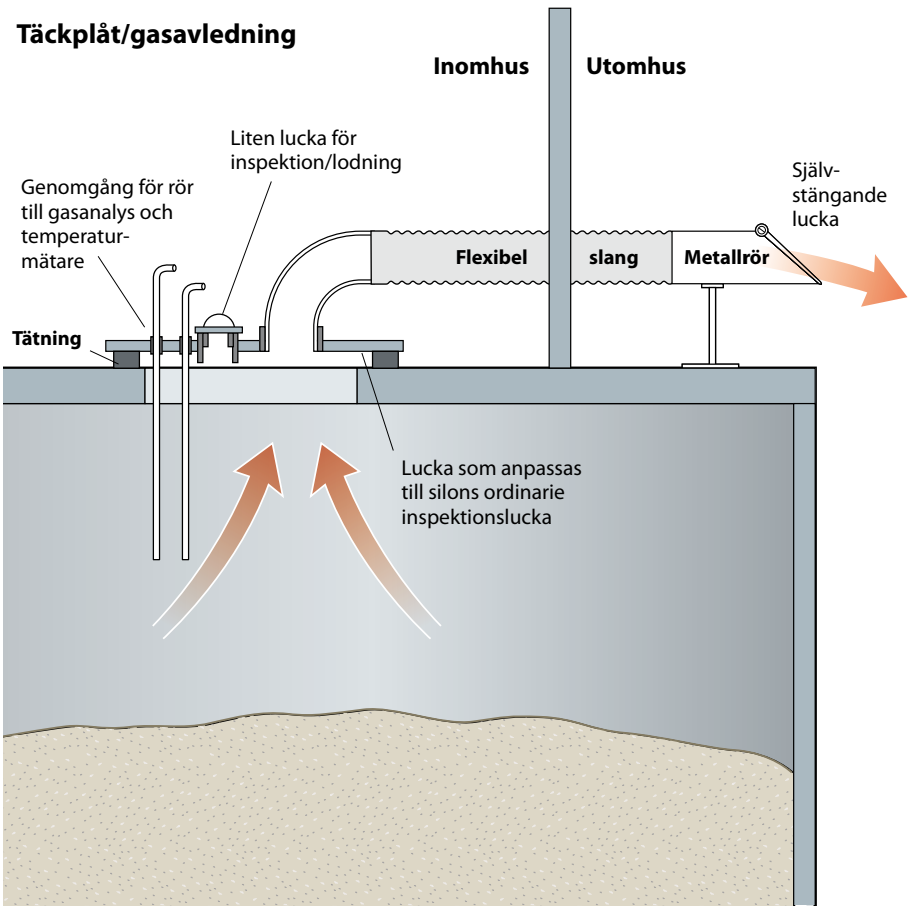
Förberedelserna vid silotoppen omfattar för det första att anordna en kontrollerad tryckavlastning där pyrolys och brandgaser respektive inertgasen kan strömma ut utan att riskera att luft läcker in i silon. Den andra förberedelsen handlar om att förbereda för gasinmatning i silotoppen i de fall man bedömer att det föreligger explosionsrisk. Slutligen kan det vara aktuellt att ordna en gasavledning ut i det fria om det är en silo med överbyggnad. En sådan gasavledning kan reducera saneringskostnaderna betydligt.

Tryckavlastning för pyrolysgaser och inertgas

Man kan lösa problemet med att åstadkomma en tryckavlastning vid silotoppen utan risk för att luft läcker in på många olika sätt beroende på silotyp och övriga förutsättningar. Fördelen med att förbereda en öppning för tryckavlastning är att man kan minimera behovet av arbete på silotoppen i samband med en misstänkt brand, i form av håltagningar och liknande, som kan vara förenat med fara på grund av risken för brännbara gaser i silotoppen.

För större fristående silor som inte har någon överbyggnad kan man släppa ut gaserna rakt ut i det fria via någon lucka, t.ex. via en explosionslucka eller inspektionslucka. Dessa måste dock vara lätt åtkomliga på ett säkert sätt, och ska förberedas så att de kan fungera som en kombinerad avluftning och backventil. Luckan eller luckorna måste vara säkrade så de inte kan komma ur läge eller falla ner.

Fotot visar miljön i en silooverbyggnad, och illustrationen visar utformning av täckplåt med tillhörande gasavledning.



Om silon har en överbyggnad med tillgängliga luckor eller öppningar, t.ex. en tornsiloanläggning, kan det vara en fördel att försöka leda ut gaserna utomhus. Gaserna som kommer att strömma ut ifrån silon innehåller höga halter av kolmonoxid, oförbrända kolväten och olika tjärämnen som skapar en farlig miljö och kan leda till omfattande saneringsarbeten. Figuren visar en principskiss av ett täcklock som vid brand kan placeras över en lämplig befintlig lucka på silon och där gaserna leds ut i fria luften via en eller flera flexibla slangar.

Täckplåten ska förses med de nödvändiga öppningarna och anslutningarna vilket medför att man bara behöver öppna den ordinarie luckan helt kort och sedan omedelbart placera täcklocket över öppningen. För att förhindra att friskluft kan sugas in via den flexibla slangen ska man förse slangänden med en självstängande lucka. I täckplåten ska man också förbereda håltagningar för gasanalysmätningar, temperaturmätningar samt möjligheter att loda fyllnadsgraden. Se vidare kapitel 2.

Inertering av silotoppen

Den viktigaste förberedelsen man kan vidta är att dra upp en matningsledning i rostfritt stål till ett lämpligt ställe på silotoppen. Härifrån kan sedan gasen matas via en slang till den silocell där gasen behövs eller till en lämplig inmatningspunkt. Om stigarledningen utförs med en dimension på ca 50 mm kan den också användas för vatten eller skumförsörjning av räddningstjänsten vid exempelvis en manuell släckinsats vid silotoppen.

Vid en inertering av silotoppen är det lämpligt att kunna leda in gasen så långt ifrån avluftningen som möjligt för att få en så effektiv inertering som möjligt av hela silotoppens volym. I den mån det inte finns några sådana möjligheter kan man även förse täckplåten med en anslutning för inertgasinmatning. Mynningen på inmatningsröret bör i det fallet vara vinklad något så att gasen leds bort ifrån avluftningsöppningen. Se vidare kapitel 2.

Såsom tidigare nämnts saknas riktlinjer för vad som är ett lämpligt gasflöde vid inertering av silotoppen. En generell

Exempel på en dammexplosion som lyft hela silotaket och förskjutit detta ur läge. Den fasta stigarledningen till silotoppen skadades också.

bedömning är dock att man bör använda ett lägre flöde än det som används vid gasinmatning via silobotten och 1–3 kg/m^2 per timma kan anses rimligt för att undvika alltför stora gasförluster. Man bör dessutom börja med ett ännu lägre flöde som sedan sakta justeras upp så att inte gasen i sig virvlar upp eventuellt avlagrat damm innan man uppnått en viss inerteringseffekt.

Vid fasta installationer i silotoppen bör man också ta hänsyn till vilka skador som kan uppkomma för den händelse en explosion inträffar inne i silon.

I vissa silokonstruktioner är silons tak så vekt att hela taket fungerar som en explosionsavlastning. I detta fall måste man undvika ledningsdragningar och anslutningar genom taket eftersom de medför stor risk att systemets funktion slås ut helt vid en explosion. Genomföringarna bör istället placeras längst upp på silomanteln.

I vissa fall är silon försedd med luckor i taket som ska fungera som explosionsavlastningar. Verkliga incidenter i

större silor försedda med explosionsluckor har dock visat att dessa inte alltid hunnit öppnas utan resulterat i att hela taket har lättat när en explosion inträffat.

Funktionsprovning av gasinmatningssystemet

För att säkerställa att gasinmatningssystemet fungerar som projekterat är det viktigt att systemet provkörs med fylld silo när man tar anläggningen i drift så att man kan verifiera att den avsedda gasmängden verkligen kan matas in. Detta bör samordnas med den lokala räddningstjänsten så att man samtidigt kontrollerar den insatsplanering som är gjord. Provkörningen ska genomföras med all den utrustning som kommer att ingå i en verklig insats, d.v.s. förångarutrustning, matningsslangar etc.

En fortsatt kontroll av systemet bör sedan också ingå som en del i en löpande underhållsplan. Vid större silor med plan botten där gasinmatningssystemet ligger ingjutet i en betongplatta och där gasutloppet skyddas med täckplattor är det speciellt viktigt att regelbundet kontrollera att dessa inte blivit blockerade. Det är därför viktigt att underhållsplanen innefattar en total tömning av silon med lämpliga tidsintervall.

Förberedelser vid alternativ släcktaktik

Innan man fastslår en släckinsats som bygger på någon alternativ släcktaktik, t.ex. användning av skum- eller vattenbegjutning måste man kontrollera att både bulkmaterialet och silokonstruktionen är lämpad för denna taktik. Om så är fallet bör man förbereda silon med anslutningar eller öppningar som anpassats till den planerade insatstaktiken. Används vatten kan ett fast sprinklersystem installerats inne i silotoppen så att man garanterar att släckmedlet når hela silons tvärsnittsyta. Att montera ett fast skumsystem, t.ex. mellanskumgeneratorer, inne i silon kan medföra problem då rökgaserna inne i silotoppen kan ha en kraftig skumnedbrytande effekt. Skumgeneratorer bör i så fall placeras så att de använder friskluft för skumgenereringen.

Oavsett system bör matningen ske genom en fast stigarledning så att räddningstjänsten kan ansluta från marknivå.

Detta ger möjlighet att styra släckmedelspåföringen inne i silotoppen från marknivå utan att silon behöver öppnas upp.

Det kan även vara en fördel att förse stigarledning med en slanganslutning som kan användas av räddningstjänsten för manuella släckinsatser vid silotoppen. Vid fasta installationer i silotoppen bör man också överväga vilka skador som kan uppkomma i händelse av en explosion inne i silon såsom beskrivits.

Matning via fasta stigarledningar från marknivå möjliggör en enkel och säker påföring av släckmedel i silotoppen.

Mobil gasutrustning

Kapitel 8

Mobil gasutrustning

I dagsläget (2012) kan tillgången till en mobil förångarutrustning med tillhörande tank och övrig utrustning inte garanteras i en akut brandsituation.

De två större gasföretag som existerar på den svenska marknaden, Air Liquide och AGA Linde, har viss utrustning för uthyrning men kan inte garantera dess tillgänglighet då de i många fall hyr ut förångare på kortare eller längre tid, bl.a. till processindustrin i samband med ombyggnad och reparationer.

Kapaciteten hos de förångare och tankar som är tillgängliga för uthyrning är också i de flesta fall mycket begränsad och räcker inte till de gasflöden som behövs för en fullständig inertering av större silor. I dagsläget har AGA en större förångarutrustning och tank som ryms på ett trailerflak (se vidare kapitel 2) med en nominell förångarkapacitet på ca 1 000 Nm^3/tim (ca 1 250 kg/tim).

För att hela konceptet med släckning av silobränder genom inertering ska kunna fungera i praktiken, krävs att erforderlig gasutrustning finns tillgänglig och snabbt kan rekvireras i en akut brandsituation. En lösning på detta kan vara att berörda intressenter (livsmedels- och foderindustri, pelletsproducenter, värmeverk etc.) som äger silor går samman och investerar i en mobil gasutrustning. För att uppnå en rimligt kort insatstid krävs sannolikt att några sådana enheter placeras ut på olika platser i landet.

Ett liknande koncept har etablerats inom oljebolagen där dessa gått samman och investerat i storskalig släckutrustning för cisternbrandsläckning. Ett gemensamt bolag har bildats, Släckmedelscentralen SMC AB, vilket i sin tur har upprättat samarbetsavtal med fyra olika räddningstjänster (Sundsvall, Stockholm, Göteborg, Malmö) som är ansvariga för utrustningen och det operativa arbetet. För mer information, se https://www.msb.se/sv/Insats--beredskap/Brand--raddning/Brandskydd-i-oljedepa/

Ett alternativ kan naturligtvis vara att gasleverantörerna investerar i den nödvändiga utrustningen och garanterar dess tillgänglighet mot någon form av leasingavgift.

Hur denna fråga kommer att lösas i framtiden är i dagsläget oklart men MSB kommer i samråd med berörda intressenter arbeta för att nå en fungerande lösning.

Fördjupad information och kunskap

Beskrivningen av släcktaktik etc. som presenterats i den här boken är en summering av erfarenheter av forskningsprojekt, existerande rekommendationer, erfarenheter från inträffade bränder, olyckor och släckinsatser, både inom Sverige och utomlands. En stor del av detta bakgrundsmaterial men också ytterligare kunskapsmaterial finns tillgängligt på MSB:s hemsida.

Referenser

AFS (1995), 'Utrustningar för explosionsfarlig miljö, AFS 1995:5', (Arbetarskyddsstyrelsen).

AFS (1997), 'Gaser, AFS 1997:7', (Arbetarskyddsstyrelsen).

AFS (2003), 'Arbete i explosionsfarlig miljö, AFS 2003:3', (Arbetsmiljöverket).

AFS (2011), 'Hygieniska gränsvärden, AFS 2011:18', (Arbetsmiljöverket).

AirLiquide (2004), 'Descriptif technique Pré-équipement Silo'.

AirLiquide (2006), 'Inertage CURATIF de silos-Compte rendu D'essai'.

Arshadi, Merhdad, Geladi, Paul, Gref, Rolf, Fjällström, Pär. (2009), 'Emission of Volatile Aldehydes and Ketones from Wood Pellets under Controlled Conditions', Ann. occup. Hyg. vol 53, Issue 8, pp 797-805

Bengtsson, Lars-Göran and Gustavsson, Matilda (2011), 'Erfarenheter från Glödbrand, Lantmännen, Falkenberg' 2011-01-31, (Räddningstjänsten Falkenberg).

Beredskabsstyrelsen (2001), Silobranden på Esbjerg Havn den 5. november 1998 (Beredskapsstyrelsen).

Blomqvist, Per and Persson, Bror (2003), 'Spontaneous Ignition of Biofuels-A Literature Survey of Theoretical and Experimental Methods', SP Technical Note 2003:18, (Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute).

Blomqvist, Per and Persson, Henry (2008), 'Self-heating in storages of wood pellets', World Bioenergy 2008 (Jönköping), 172-76.

Blomqvist, Per, Persson, H., Van Hees, P., Holmstedt, G., Göransson, U., Wadsö, L., Sanat, M., Rupar-Gadd, K. (2007), 'An Experimental Study of Spontaneous Ignition in Storages of Wood Pellets', Fire and Materials Conference (San Francisco, USA: Interscience).

Botnen, Dag (2010), 'Rapport, Hallingdal trepellets 5 juli 2010', (Hallingdal brann- og redningstjenste iks).

Clark, A., J., Kimball., and Stambaugh, H. (1998), 'The Hazards Associated with Agricultural Silo Fires', (Emmitsburg, Maryland, USA: United States Fire Administration), 44.

Desmet, K. (2006), 'Silobrandbestrijding', (Brandweer Antwerpen).

Eckhoff, Rolf K. (1991), Dust Explosions in the process industries (1994 edn.: Butterworth-Heinemann Ltd).

Edstam, Anders (2003), 'Insatsrapport-Brand i Igelsta värmeverk 2003-02-28 - 2003-03-20', (Södertörns brandförsvarsförbund).

Freindorf, Michael (2008), 'Silo Fires-Simulation of Gas Injection in a Porous Bed', SP Technical Note 2008:02, (SP Technical Research Institute of Sweden).

Gray, Brian F. (2002), 'Spontaneous Combustion and Self-Heating', in Philip J. DiNenno (ed.), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Third edition edn.; Quincy, Massachusetts, USA: NFPA), 2-211 -- 2-28.

Holmstedt, Göran (2005), 'Slutrapport-Självantändning vid lagring av biobränsle och biogent avfall', (Lund: Lund University, Department of Fire Safety Engineering).

Kayser, Jörg and Klein, Andreas (2006), 'Silobrände, Teil I-Teil IV', Feuerwehr 10/01, 11/06, 12/06, 1-2/07.

Kimball, John (1998), 'Industrial Silo Fire and Explosions', (Emmitsburg, Maryland, USA: United States Fire Administration), 24.

Krause, Ulrich (ed.), (2009), Fires in Silos - Hazards, Prevention, and Fire Fighting (Wiley-VCH).

Kubler, Hans (1987), 'Heat Generating Processes as Cause of Spontaneous Ignition in Forest Products', Forest Products Abstracts, 10 (11), 299-327.

Lönnermark, Anders, Persson, Henry, Blomqvist, Per, Hogland, William. (2008), 'Biobränslen och avfall - Brandsäkerhet i samband med lagring', SP Rapport 2008:51, (Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut).

Malow, Marcus and Krause, Ulrich (2008), 'Smouldering Combustion of Solid Bulk Materials at Different Volume Fractions of Oxygen in the Surrounding Gas', 9th International Symposium on Fire Safety Science (Karlsruhe, Germany: IAFSS).

Meijer, R. and Gast, C. H. (2004), 'Spontaneous combustion of biomass: Experimental study into guidelines to avoid and control this phenomena', Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection (Volume II; Rome, Italy), 1231-33.

Melin, Staffan, Svedberg, Urban, and Samuelsson, Jerker (2008), 'Emissions from Woodpellets During Ocean Transportation (EWDOT)', (Wood Pellet Association of Canada (WPAC)), 76.

Modin, Per (2007), 'Rapport - Brand i Lantmännens silo i Kristinehamn 29/9 - 4/10 2007', (Bergslagens Räddningstjänst).

Murphy, Dennis J. and Arble, William C. (2000), 'Extinguishing Fires in Silos and Hay Mows', (2000 edn.: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Servicers (NRAES)).

NFPA 'Fire Investigation Summary-Grain Elevator Explosion, Haysville, Kansas June 8, 1998',

NIBRA (1999), 'Evalvatie silobrand Doetinchem' (Arnhem: Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra).

NIBRA (2007), ‘Veilig optreden bij silobranden’ (Arnhem: Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra).

NICe (2008), ’Guidelines for Storing and handling of Solid Biofuels, Nordtest Method NT ENVIR 010’, (Nordic Innovation Centre).

NIOSH (2002), ’FACE-85-49: Three Fire Fighters Killed Fighting Silo Fire in Ohio’.

NIOSH (1986), ’Preventing Fatalities Due to Fires and Explosions in Oxygen-Limiting Silos’, (NIOSH), 4.

NIOSH (2010), ’Report F2010-14 Volonteer Assistant Fire Chief Dies at a Silo Fire/Explosion-New York’.

Nordlund, T., Samuelsson, A. (2009), ’Sammanställning av händelseförloppet vid brand i cistern med stenkol på Stora Enso, Hylte 2009-02-13’, (Räddningstjänsten Halmstad).

Persson, Henry (2010), ’Silo fires require special tactics and equipment’, Industrial Fire Journal, (2010, issue no.81).

Persson, Henry and Blomqvist, Per (2004), ’Släckning av silobränder’, SP Arbetsrapport 2004:16, (Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute).

Persson, Henry and Blom, Joel (2008), ’Research helps the fighting of a silo fire again’, BrandPosten, (38), 30-31.

Persson, Henry and Blomqvist, Per (2009), ’Silo Fires and Silo Fire Fighting’, Bioenergy 2009, 4th International Bioenergy Conference (Finland: FINBIO).

Persson, Henry, Blomqvist, Per, and Yan, Zhenghua (2006), ’Brand och brandsläckning i siloanläggningar - en experimentell studie’, SP Rapport 2006:47, (Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut).

Persson, Henry, Blomqvist, Per, and Tuovinen, Heimo (2009), ’Inertering av siloanläggningar med kvävgas-Gasfyllnadsförsök och simuleringar’, SP Rapport 2009:10, (Borås: SP Technical Research Institute of Sweden).

Räddningstjänsten Höga Kusten-Ådalen, (2004), ’Rapport Silobrand Härnösand 8-13 september 2004. En beskrivning av olycksförloppet, olycksorsaken och våra erfarenheter från insatsen’.

Svedberg, Urban (2009), ’Undersökning av syrgashalter och farliga gaser i trapphus till lastrum med timmer, träflis och övrigt organiskt material.’, (Länssjukhuset Sundsvall-Härnösand).

Svedberg, Urban, Samuelsson, Jerker, and Melin, Staffan (2008), ’Hazardous Off-Gassing of Carbon Monoxide and Oxygen Depletion during Ocean Transportation of Wood Pellets’, Ann. occup. Hyg. vol 52, Issue 4, pp 259-266.

Tuomisaari, Maarit, Baroudi, Djebar, and Latva, Risto (1998), ’Extinguishing Smouldering Fires in Silos - BRAND-FORSK Project 745-961’, (Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland).

VdS (2008), ’Inertisierung von Silos im Brandfall, Merkblatt zur Schadenverhütung VdS 2154:2008-01’, (VdS Schaden-förhütung GmbH).

Weiss, A (1981), ’Inertisierung mit Kohlendioxid oder Stick-stoff bei Schwelbränden in Silos’, Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung, (11/1981), 390-93.

Wingerden, Kees van (1991), ’Detection and Suppression of Smouldering Fires in Industrial Plants-Part II’, (Bergen: Chr Michelsen Institute (CMI)).

Wright, S ’Explosion in grain silo-Blaye, TD5/029’.

Yan, Zhenghua (2009), ’CFD Simulation of Spontaneous Ignition and Its Extinguishment in Biomass Fuel Storage’, (Lund University).

Illustrationer och foton

Illustrationer: Martin Ek, Eken illustration och Produktion

Foton:

Gunnar Stattin allehanda media, omslag och sidan 44.

Bergslagens Räddningstjänst, sidan 12 och 16 (översta), 41 (höger översta och mitten), 45.

GexCon AS Norge, sidan 12 (mittersta), 52 (höger översta samt de två nedersta).

Ingvar Hansson MSB, sidan 12 (nedersta), 24, 27, 39, 78 (översta samt vänster nedersta), 79 (översta), 93, 104, 106.

Henry Persson SP, sidan 13, 14 (översta), 16 (nedersta), 17, 28 (högra), 33 (vänstra bilderna och höger översta), 37, 41 (vänster översta och mitten), 56, 68, 70, 78 (höger nedersta), 85, 103.

Räddningstjänsten Halmstad, sidan 13 (nedersta), 33 (höger nedersta), 41 (nedersta bilderna).

Mälarenergi, sidan 14 (nedersta), 58, 59, 108.

Höga Kusten-Ådalens Räddningstjänst, sidan 22 (vänster översta), 25 (vänstra bilderna).

Harry Sieben Brandweer Achterhoek West, sidan 22 (vänstra nedersta).

Peter Christoffersen Denmark, sidan 22 (högra).

Holger T. Frandsen Denmark, sidan 25 (högra), 31, 61 (högra).

Air Liquide, sidan 28 (vänstra).

Dag Botnen Hallingdal brann-og redningsteneste iks Norge, sidan 52 (vänstra översta), 61 (vänstra bilderna).

Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund, sidan 60,

Lantmännen Agroenergi, sidan 62, 110.

Lantmännen, sidan 63 (överst), 84 (vänstra).

Esbjerg Byhistoriska Arkiv Denmark, sidan 63 (nedersta bilderna).

Kalmar Energi, sidan 79 (nedersta).

Bjurenwall, sidan 80 (vänster och höger överst), 82 (vänster överst).

Furab AB, sidan 80, (vänster mitten och nedersta samt höger nedersta), 81.

Johan Sjöberg Neuero, sidan 82 (höger översta).

Laxå Pellets AB, sidan 84 (högra).

En brand i en siloanläggning är en ovanlig händelse för de flesta räddningstjänster och skiljer sig på många sätt från konventionella bränder. I många fall uppstår en silobrand djupt inne i det lagrade materialet som en följd av en självantändning eller från någon yttre tändkälla. Detta innebär att bränderna ofta upptäcks i ett sent skede.

En konsekvens av att silobränder inträffar förhållandevis sällan är att det saknas erfarenhet av denna typ av insats hos räddningstjänsterna och att det dessutom saknas lämplig släckutrustning. Brandförloppet och insatsens varaktighet skiljer sig markant från konventionell brandsläckning. I många fall syns inga öppna flammor vilket kan leda till en underskattning av riskerna och tänkbara konsekvenser med felaktiga beslut som följd. Insatsens varaktighet är betydligt längre än vid en konventionell släckinsats och uppgår vanligtvis till flera dygn där anläggningsägaren och räddningstjänsten behöver arbeta gemensamt för att lösa problemet på ett säkert sätt.

Brand i silo lyfter fram en insatstaktik som primärt bygger på användning av kvävgas för att inertera silon. En silobrand medför många faror, bl a risk för gas- och dammexplosioner, som både kan leda till allvarliga personskador och risk för brandspridning i tillhörande transportsystem vilket snabbt kan leda till mycket omfattande skador. Användning av kvävgas är den metodik som bedöms minimera riskerna för person och egendomsskador.

Brand i silo är ett resultat av att ett omfattande kunskapsbygge gjorts inom området, både genom olika forskningsprojekt samt genom kunskapsåterföring från ett antal verkliga silobränder. Dessa samlade kunskaper utgör grunden till de rekommendationer som ges här.

Brand i silo är tänkt att kunna användas både vid operativa insatser i direkt samband med en brand, men även i det förebyggande arbetet. Målgruppen är både räddningstjänsten och siloinnehavare samt brandskyddskonsulter.

Brand i silo kompletteras av ytterligare kunskapsmaterial vilket finns tillgängligt på MSBs hemsida.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB386 - september 2012 ISBN 978-91-7383-220-5