



Kuldioxid er uegnet til kvælning af glødebrande

Glødebrande udvikler brændbare pyrolysegasser, og udløsning af CO₂ danner betydelige mængder statisk elektricitet. Resultatet er meget nemt en eksplosion.

Af Frank Huess Hedlund

Glødebrande i oplag af træpiller eller andre biologiske materialer er et velkendt fænomen. Der er rapporteret en del hændelser i Sverige, og i Danmark har vi også kendskab til dem.

Der er flere fællestræk i disse hændelser. Glødebrande kan opstå spontant, enten ved at stillestående materiale selvopvarmer, eller ved at friktionsvarme i eksempelvis et defekt leje i transportsystemet antænder små mængder materiale, hvorefter ulmende partikler føres videre i transportsystemet og senere er kilde til en glødebrand i lagerområdet [1].

Slukning

Et andet fællestræk er, at det er særdeles vanskeligt at slukke disse glødebrande, dels fordi arnestedet kan ligge et utilgængeligt sted dybt inde i en bunke materiale, og dels fordi små glødende partikler kan medføre genopblussen af branden mange dage senere. Endelig udvikler disse iltfattige glødebrande store mængder pyrolysegasser, eksempelvis kulmonoxid (kulilte), som både er giftig og brændbar. Det er disse pyrolysegasser, som er denne artikels hovedemne.

To særligt bemærkelsesværdige danske brande i træpiller beskrives kort herunder. Der er mange flere brande, men der er ingen systematisk registrering, og i de tilfælde hvor hændelserne bliver beskrevet, er oplysningerne sjældent offentligt tilgængelige.

Esbjerg 1998

I 1998 selvantændte en celle med træpiller i DLGs højsiloanlæg i Esbjerg. Siloen var ca. 85 meter høj og bestod af 23 celler, som hver havde et rumfang på ca. 2.000 m³.

Branden var exceptionelt svær at slukke. Først efter ca. to måneder var branden så meget under kontrol, at DLG blev anmodet om at begynde at tømme siloen. Der var imidlertid jævnligt genopblussen af branden, og siloen var først tømt, og brandene

definitivt slukket, efter næsten 10 måneders slukningsindsats. Siloen var da totalskadet. Da den blev væltet den 16. april 2000, var alle celler brandskadet i større eller mindre grad.

Branden dannede tidligt store mængder giftige pyrolysegasser, som overraskede indsatspersonalet. Den første slukningsindsats måtte afbrydes, da samtlige brandfolk fra førsteudrykningen, en del DLG-personale og 12-14 håndværkere fra området blev bragt til sygehuset med kulmonoxidforgiftning, af disse blev 15 indlagt. Der blev fundet tusindvis af døde mus i bunden af siloen. Målinger bekræftede, at røggasserne indeholdt den giftige, lugt- og farveløse gas, kulmonoxid.

Pyrolysegasserne var også antændelige og gav anledning til flere alvorlige hændelser. I forbindelse med arbejdet med at tømme cellen med brændende materiale blev træpillerne først lagt ud på kajen, slukket, og derefter suget op i en mammut suger (en slags slamsuger, men til tørstof). Formentlig har en kombination af pyrolysegasser fra ulmende materiale, og pludselig kontakt med gløder, medført en intern eksplosion i mammut sugeren, hvorved en mand oven på sugeren blev slynget ned på jorden.

En røggasekspllosion i siloen den 9. november 1998 var særlig voldsom. Sprængningseksperten havde sprængt et hul i den nedre del af siloen væk for at kunne få produktet ud den vej. En

Der er foregået en del ulykker i Danmark. Men der er ikke tradition for efterforskning og systematisk vidensdeling. Med ganske få undtagelser er dyrt høstede erfaringer i fare for at blive glemt.

Santayana har sagt, at de, der ikke kender historien, er dømt til at gentage den.

Artiklen er den ottende i en serie, som vil råde bod på denne sorte plet ved at beskrive tidligere hændelser udvalgt for deres læringspotentiale.

prop af sammenbrændt materiale forhindrede dog træpillerne i at løbe. Men pludselig kom der bevægelse i materialet, og der blev dannet en meget stor stikflamme.

Stikflammen skønnes at have nået en højde på 150 m (!). Flammen fangede to brandfolk i en kurv på en stigevoan ved siden af. De undslap kun med nød og næppe ved at dreje stigen over til nabobygningen, hvor de kunne springe ned på taget og løbe i sikkerhed. Den kun få år gamle stigevoan til 3-4 mio. kr. udbrændte helt, og et andet af brandvæsenets køretøjer blev svært beskadiget.

Til slukningen blev brugt store mængder skumkoncentrat, ca. en million m³ vand (ja, en million kubikmeter) og 19 ton kuldioxid.

Hændelsen blev, usædvanligt nok, grundigt beskrevet [2].

Avedøre 2012

På Avedøreværket lidt uden for København opstod der i 2012 brand i et transportbånd med træpiller. Den umiddelbart ret banale brand udviklede sig imidlertid hurtigt til, hvad der efterfølgende blev betegnet som en af de mest komplekse indsatser i mange år [3]. Transportbåndet stod i forbindelse med lager-siloerne, og branden spredte sig til den ”lille” træpillesilo på vistnok 45.000 m³.

Der er, den danske tradition tro, ingen offentligt tilgængelige rapporter om branden. Vi har kun mediedækningen, som er ufuldstændig og for det meste notorisk upræcis.

Vand uegnet slukningsmiddel

Brande i siloer med organisk materiale (træpiller, korn, mv.) kan sjældent slukkes med vand. Som tidligere nævnt kan der være store praktiske problemer med at lokalisere arnestedet for en glødebrand. Ydermere kan en vandstråle hvirvle støv op og skabe betingelser for en støvekspllosion.

Der er særlige problemer med træpiller, idet de er hygroskopiske og kan ved opfugtning udvide sig ca. tre gange. De dannede ekspansionskræfter kan sprænge siloens vægge.

Materialet kan også blive presset mod væggen og sætte sig fast. Dette kan skabe uens belastninger, som siloens vægge ikke er konstrueret til at optage. Der er eksempler på, at siloer er væltet af denne grund.

Alternative metoder til brandslukning

Der er derfor sat flere udviklingsprojekter i gang for at undersøge mulighederne for at slukke silobrande med træpiller, særligt glødebrande, med inert gas. Her har især svenskerne været aktive [4,5].

Tanken er, at den inerte gas fortrænger ilt, så branden kvæles. Den inerte gas har ydermere den fordel, at den også kan fortrænge ilt i toppen af siloen, så de brændbare pyrolysegasser ikke kan eksplodere.

På Avedøreværket blev der brugt både kvælstof og kuldioxid. Det daglige gasforbrug på 170 ton oversteg den sjællandske produktionskapacitet, og tankbiler med flydende gas kørte i pendulfart mellem det sydlige Sverige og Danmark. I Esbjerg blev der også forsøgsvist injiceret kuldioxid i siloen.

Statisk elektricitet

Kuldioxid opbevares typisk på flydende form ved tryk over gassens mættede damptryk, som ved 20°C er ca. 5.6 MPa (56 bar). Når den flydende kuldioxid forlader trykbeholderen og ekspanderer til atmosfæretryk, sker der en faseændring, så der dannes en blanding af gas og fast stof (tøris). Ved udstrømning af denne blanding af gas og partikler dannes statisk elektricitet. For kulsyrehåndslukkere kan der i løbet af få sekunder dannes et elektrostatisk potentiale på 20-30 kV. For visse håndslukkere er der målt potentialer på 50 kV [6].

■ TERMINOLOGI

Antændelsesgrænser

Selvom en gas i daglig tale siges at være ”brændbar”, kan en flamme i en homogen blanding af luft og gas kun eksistere, hvis blandingsforholdet er inden for bestemte grænser. Grænserne kendes som den nedre og øvre antændelsesgrænse og udtrykkes typisk i volumenprocent brændbar gas. Grænserne bestemmes eksperimentelt og afhænger til dels af det valgte apparatur.

Blandingen er kun antændelig inden for dette koncentrationsinterval.

Nedre grænse for flammetemperatur

En flamme kan ikke eksistere, hvis flammetemperaturen falder under en vis grænse. Grænsen er ikke helt veldefineret, men begrebet er nyttigt for forståelsen af flere fænomener.

Hvis en antændelig blanding af brændstof og luft tilføres en ikke-brændbar (inert) gas, vil den inerte gas virke som termisk ballast og sænke flammetemperaturen. Hvis flammetemperaturen af gasblandingen falder til under den nedre grænse, slukkes flammen. Da er blandingen ikke længere antændelig. Dette forklarer, at CO₂ er en mere effektiv inert gas end N₂, grundet kuldioxidens højere molære varmekapacitet.

Flammefronten kan også afkøles ved passage gennem et metalnet. Det er princippet i en flammefælde.

Hvis temperaturen af en blanding af brændbar gas og luft hæves, bliver antændelsesintervallet bredere. Dette kan forklares ved, at der kræves mindre energi frigivet ved forbrænding til at hæve blandingsens temperatur over den nedre grænse for flammetemperaturen.

Inertering

Begrebet *inerting* bruges principielt kun om fortynding af en i forvejen antændelig blanding af dampe og luft med en inert gas, indtil blandingen ikke længere er antændelig.

Purge

Før opstart kan en beholders indhold af luft (og ilt) fortyndes ved skylning med en inert gas, inden der tilføres antændelige dampe. I amerikansk terminologi er dette purge-into-service. De tyske standarder [9] bruger begrebet partiel Inertisering.

Tilsvarende kan antændelige dampe i en beholder fortyndes med en inert gas inden nedlukning, hvor udstyret åbnes, og der tilføres luft. Dette er purge-out-of-service. Tyskerne kalder dette total Inertisering.

Selvom de to skylleoperationer principielt er ens, er det nyttigt med to begreber, da purge-ud kræver langt større mængder inert gas end purge-ind, hvilket ordvalget i de tyske standarder (total und partiel) da også signalerer, omend valget af ordet Inertisering er temmelig uheldigt, se nedenfor.

Upræcis brug af termer

Da der bruges inert gas ved en purge-procedure, kan proceduren i daglig upræcis tale blive omtalt som en ”inertering”. Dette sløseri er særdeles uheldigt og burde forbydes ved lov.

CO₂ er en acceptabel inert purge-gas, da der ved en purge pr. definition aldrig forekommer en antændelig atmosfære. CO₂ er aldeles uegnet til inertering, da statisk elektricitet kan antænde den antændelige atmosfære.



En kran hejser CO₂-flasker op til brandfolk, der står på en platform ved foden af siloens tag.



To brandfolk tømmer en kulsyreflaske ind i siloen gennem en inspektionslem i taget.

Disse elektriske potentialer er ikke farlige i sig selv. Men de kan give et ubehageligt stød. Det kan skabe farlige situationer, eksempelvis hvis en kulsyre-slukker anvendes på en stige eller et andet udsat sted. Et uventet stød kan medføre, at man mister balancen eller taber håndslukkeren.

De elektrostatiske udladninger har dog rigelig energi til at kunne antænde eventuelle brændbare dampe.

Hallingdal 2010

Hallingdal ligger i Norge, ca. 200 km NV for Oslo. En virksomhed begyndte produktion af træpiller i starten af 2007. Allerede i april samme år nedbrændte produktionsanlægget. Det blev genopbygget, men året efter (i 2008) opstod en ny brand. Grundet bedre brandsektionering indført som følge af branden året før, tog produktionsanlægget ikke skade. I slutningen af 2009 blev en nyopført silo på ca. 7.700 m³ taget i brug.

En sen aften i juli 2010 bemærkede operatøren en begyndende temperaturstigning i denne silo. Træpillerne havde selvantændt og der var en glødebrand et eller andet sted inde i den halvfylde silo. Brandvæsenet blev tilkaldt, og indsatslederen besluttede som noget af det første at rekvirere en ladning kvælstof fra Yaras produktionsanlæg i Porsgrunn, ca. 320 km væk. Klokken var på det tidspunkt ca. to om natten. Leverancen blev berammet til at ankomme 10 timer senere, omkring kl. 12. Brandfolkene var udmærket klar over, at de ikke kunne bruge vand i siloen. Så de kunne derfor kun sætte sig ned og vente på, at tankbilen ville ankomme.

Ekspllosion

Nøgtrent må man se i øjnene, at der er grænser for, hvad man kan bede brandfolk om. Det er handlingens folk. Det er ganske enkelt kodet i deres DNA, at de skal slukke brande. De kan ikke lade være. Det klør i fingrene på dem. En elefant kan lære at stå på forbenene, men det er umuligt at få den til at hoppe. Man kan ikke bede brandfolk om at sætte sig ned og vente i 10 timer, hvis der er ildløs.

De begyndte derfor at finkæmme områdets virksomheder og kraftværker for kulsyreflasker. Udbyttet var beskedent, blot 22 flasker. Det svarer til 220 m³ gas, kun ca. 5% af det aktuelle silovolumen over træpillerne. I de tidlige morgen-timer kom der ny besked fra Yara. Tankbilen var forsinket, den ville tidligst ankomme sen eftermiddag.

Det gjorde udslaget. Selvom mængden af kuldioxid var beskedent, var forhåbningen, at den inerte gas i det mindste ville kunne dæmpe brandudviklingen en smule, indtil tankbilen ankom. Stigetrin på siden af tanken førte til en platform ved tagfoden ca. 24 m over terræn, som gav adgang til en inspektionslem i taget. Der blev hurtigt rekvireret en kran til at hejse CO₂-flaskerne op til platformen, og to brandfolk klatrede op til platformen for at tømme flaskerne ind gennem siloens inspektionslem.

Mens de var i færd med at tømme den femte kulsyreflaske, eksploderede siloen. Siloens 27 ton tunge tag løftede sig mellem en halv og en hel meter og brandfolkene på platformen blev omspændt af stikflammer. Lykkeligvis var eksplosionstrykket relativt beskedent. Siloen blev stående, platformen blev ikke revet løs, og brandfolkene blev ikke slynget ned på jorden.

Brandfolkene var i fuld mundering, og deres udrustning ydede så god beskyttelse, at de kun fik mindre forbrændinger. Den ene brandmand havde dog taget sin handske af for bedre at kunne betjene ventilen på kulsyreslukkeren og fik derfor alvorlige forbrændinger på hånden.

Faren ikke kendt

Ulykken skete i Norge, så den blev udredt, og der blev skrevet en rapport, som er offentligt tilgængelig.

Udredningen pegede korrekt på, at der var brændbare pyrolysegasser i toppen af siloen, men identificerede ikke udløsningen af kuldioxid som en mulig antændelseskilde. Jeg har korresponderet med den norske undersøger, som af sine kolleger omtales som gurun på området. Han kendte ikke til antændelses-

mekanismen med statisk elektricitet fra kulsyreslukkerne.

Det er forståeligt. For faren er dårligt beskrevet i litteraturen. Valget af kuldioxid til slukning af silobrandene i Esbjerg og på Avedøreværket peger også på, at dannelsen af elektrostatiske udladninger heller ikke er kendt af anlægsejere og brandvæsenet i Danmark.

Ikke tydeligt nævnt i standarder

En gennemgang af populære internationale håndbøger om træpiller i energiforsyningen nævner (med en enkelt nylig undtagelse) ikke faren med de elektrostatiske udladninger. Omvendt giver litteraturen mange anvisninger på, hvorledes silobrande kan slukkes med inert gas. Både nitrogen og kuldioxid nævnes



En kunstners afbildning af stikflammer fra eksplosionen i træpillesiloen, som skyldtes, at pyrolysegasser formentlig blev antændt af statisk elektricitet dannet ved tømningen af en kulsyreflaske.



Siloens væg brydes op for at få træpillerne ud. Der er en tydelig overfladebrand i midten af siloen.



Den norske rapport bemærker tørt, at hvis der skal siges noget positivt om denne hændelse, så må det være, at brandvæsenets mundering fungerede rigtig godt - her en brandskadede hjelm.

som inertgas-kandidater, og flere kilder nævner, at kuldioxid har fordele frem for nitrogen, blandt andet at den er tungere end luft, og derfor bedre er i stand til at kvæle en brand. Tyske og amerikanske standarder om eksplosionsbeskyttelse nævner ikke faren [1].

Faren beskrives ganske vist tydeligt i standarder om statisk elektricitet, eksempelvis den amerikanske NFPA 77 [7] eller den tyske TRBS 2153 [8].

Men en sikkerhedsbevidst og omhyggelig sikkerhedsansvarlig konsulerer nok kun en standard om statisk elektricitet, hvis vedkommende har en forhåndsformodning eller mistanke om, at statisk elektricitet kunne være en mulighed. Ved læsning af standarden vil man så kunne få bekræftet sin mistanke. Men uden denne forhåndsformodning, vil man næppe konsultere disse specialstandarder og derfor forblive i uvidenhed om faren.

Upræcis brug af begreber

Terminologi er vigtig, og flere standarder, herunder NFPA 69 om eksplosionsforebyggelse, skelner ikke entydigt mellem purge og inerti. Det er en alvorlig skavank. Kuldioxid er en velegnet inert purgegas, fordi en purge-procedure pr. definition sikrer, at atmosfæren aldrig er antændelig. Om antændelseskilder er til stede eller ej, er derfor helt uden betydning, i princippet i hvert fald. Men flydende kuldioxid er fuldstændig uegnet som inert inertiingsgas, se faktaboks for terminologi.

Sammenfattende kan det siges, at en kulsyreslukker er glimrende til dens tiltænkte anvendelse, at slukke en brand med flammer. Men den er helt uegnet til at slukke en (gløde)brand uden flammer.

Vi gentager

Lige for at gøre det helt klart for læsere, som Google måtte føre midt ind i denne artikel:

En kulsyreslukker må aldrig tømmes ind i en beholder, hvor der kan være brandfarlige dampe, eksempelvis benzin, i et misforstået forsøg på at gøre atmosfæren "sikker". Det er livsfarligt. Der dannes gnister, som kan antænde dampene og medføre eksplosion.

Tidligere viden glemt

Der er sket meget alvorlige eksplosioner, hvor antændelseskilden var udløsning af flydende kuldioxid. Den nok alvorligste var i Bitburg, Tyskland, i 1954, hvor 37 personer omkom (se faktaboks).

Der er sket mange andre dødsulykker, hvor udløsning af kuldioxid var antændelseskilden. Denne viden er beskrevet i ældre litteratur, men lader til delvist at være gået tabt.

Den senere tids meget voldsomme stigning i træpillernes andel af energiforsyningen i mange lande, særligt Danmark, har medført en stigning i antallet af brande i siloer med træpiller. Brandene har været svære at håndtere, blandt andet fordi siloernes størrelse er blevet skaleret kraftigt op.

I dette lys er ovenstående videnstab ekstra alvorligt.

Epilog

Artiklen er skrevet som frivilligt arbejde og har (desværre) været ude af stand til at finde muligheder for økonomisk støtte, hvilket har forsinket arbejdet med over et år. Jeg udtaler mig som privatperson, ikke på vegne af mine arbejdsgivere, eller andre.

Frank Hedlund (ph.d.) er risikoekspert i Cowi og ekstern lektor på DTU i risk management.

E-mail:

Frank Huess Hedlund: fhhe@cowi.com

■ Bitburg

Den nok alvorligste ulykke, hvor antændelseskilden var elektrostatiske udledninger fra CO₂, var i 1954 i en nedgravet tank med JP-4 flybrændstof på en amerikansk militærbase i Bitburg, Tyskland.

Tanken var helt ny og udstyret med et CO₂ brandsluknings-system, det første af sin art i Tyskland. Ved overtagelsesforretningen blev der udført accepttests af de tekniske systemer. Et større antal tyske og franske senioringeniører, embedsmænd fra det franske Mission des Grands Travaux Aéronautiques, samt repræsentanter og teknikere fra det entreprenørselskab, som havde konstrueret tanken, stod i en halvcirkel oven på tankens tag, mens en branddetektor (termoføler) blev nedsænket i varmt vand, for derved på kontrolleret vis at foretage en test-aktivering af det nye fine CO₂-brandslukningssystem.

Mindst 37 personer omkom, da tanken eksploderede med et gigantisk brag [10]. Først to år senere pegede en tysk undersøgelse [11] på udløsningen af CO₂ som årsag til eksplosionen.

Referencer

1. Hedlund F.H. Carbon dioxide not suitable for extinguishment of smouldering silo fires: static electricity may cause silo explosion. Biomass and Bioenergy. 108:113-119, (2018).
2. Silobranden Esbjerg Havn den 5 nov. 1998. Beredskabsstyrelsen 2001.
3. Weinreich E. Absolut en ekstraordinær hændelse. Brandvæsen, Sep 2012, pp10-19.
4. H. Persson, P. Blomqvist, Z. Yan, Brand och brandsläckning i siloanläggningar - en experimentell studie. SP Rapport 2006:47.
5. H. Persson, Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures, Publication: MSB586, Karlstad, Sweden, 2013.
6. J.T. Leonard, R.C. Clark, Ignition of flammable vapors by CO₂ fire extinguishers, J.Fire Flammabl. 8 (1977) 131-134.
7. NFPA 77, Recommended Practice on Static Electricity, 2014 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA, 2013.
8. TRBS 2153, Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen. Gemeinsame Minist. 15/16 (2009) 278.
9. TRBS 2152 Teil 2/TRGS 722, Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre. Technische Regeln für Betriebssicherheit. Ausgabe: März 2012 Gemeinsame Minist. 22 (2012) 398-410.
10. W.G. Ritter, Underground JP-4 fuel tank explosion: Bitburg Germany, 34 dead, 2 injured and 3 missing, September 23, 1954, NFPA Fire Loss Bull. 1 (1955) 1-4.
11. K. Nabert, G. Schön, Folgerungen aus den Untersuchungen über die Ursache der Explosionskatastrophe bei Bitburg, Erdöl und Kohle 8 (1955) 809-810.

■ Det danske sprog

Læsere af Dansk Kemi, der eksempelvis har voksne børn, men selv slet ikke føler sig gamle, kan lejlighedsvis græmes over det danske sprogs løbende forvitring og almindelige deroute, herunder en lemfældig brug af vokalerne a og æ. Hedder det brændbar eller brandbar? Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, som udgiver Den Danske Ordbog, tillader på bagstræberisk vis begge stavemåder.

Lad os derfor slå fast, at der er tale om en brand (substantiv), men at noget kan brænde (verbum). Mange stoffer, eksempelvis papir og asfalt, er brændbare, men benzin, udover at være brændbart, også er brandfarligt, da dampene er lette at antænde. Brændsler og brændstoffer oxideres ved forbrænding, de brænder. Man kan få brandsår, bygnings kan brandskades. Heldigvis er det muligt at foretage brandslukning, eksempelvis med en brandslukker, eller ved at alarmere brandvæsenet.