

Sammanställning av händelseförloppet vid

Brand i cistern med stenkol

på Stora Enso, Hylte 2009-02-13



**Tina Nordlund
Arvid Samuelsson**

2009-02-27

Inledning

Fredagen den 13/2 ringde IL Hylte till jourhavande brandingenjör i Halmstad och informerade om en pågående glödbbrand i en kolcistern på Hyltebruk. TH (Tina Nordlund brandingenjör i beredskap) och AR (Arvid Samuelsson brandingenjör som introduceras för att ingå i BIB syd) åker upp för att informera sig om händelsen inför helgen.

Glödand kol har trillat ner på transportbandet och släckts av personalen.

Efter ledningsgruppens möten under fredag em/kväll tillsammans med rtj Hylte och BIB Halmstad tas beslut om att stoppa tömningen av cisternen och täta den för att skaffa sig tid till ytterligare åtgärder. Ingen räddningstjänst råder utan företaget står själv för samtliga beslut och använder räddningstjänstens personal som experter. Tätning av cisternen utförs och beslut tas om att beställa kvävgas av AGA för att inertera cisternen innan fortsatt tömning.

Åtgärderna vid cisternen utförs, införingslansarna tillverkas, omfall planeras och förbereds och inerteringen startar natten mot lör 00.42. Vid skumpåföring i toppen av cisternen är materialet så hett att en del ångar av omedelbart vilket medför nollsikt ner i cisternen efter detta. Inerteringen går enligt planerna. På lördagen kl 10.00 visar gasmätningarna av O₂ och CO halt att inerteringen gjort avsedd effekt. Vid lunchtid på lördagen påbörjas tömningen av cisternen och slutförs under söndagen. En del glödande material trillar ur cisternen men inga större mängder. Prover från materialet tas för att kunna analyseras och ev fastställa en brandorsak. Insatsen fortlöpte utan några skador på människor eller material. Nedan följer en sammanställning av händelseförloppet och en enkel diskussion / utvärdering av händelseförloppet och insatsen. Rapportens stora avgränsning ligger i att sammanställningen är gjord ur brandingenjörens perspektiv, dvs inriktar sig mycket på riskerna, möjliga händelseförlopp och de faktiska insatserna runt släckningsarbetet. Sammanställningen kan inte ses som komplett ur företagens perspektiv då det finns mer beslut, bakomliggande fakta och åtgärder som utfördes av företaget parallellt och hade samband med de insatser vi var involverade i.

Tidsaxel

(Ur brandingenjörerna från Halmstads perspektiv).

Tid (ca)	Vad
090213 10.00	Jonas IL Hylte ringer jourhavande brandingenjör, BIB Syd (Tina Nordlund, TH) i Halmstad och informerar om att dom har en pågående glödbrand i en bränslecistern på Stora Enso. Glödande kol har trillat ner på transportbandet och blossat upp då det fått tillgång till syre. Personalen har själva släckt efter hand. Rtj Hylte skall på möte på bruket kl 13.00 för att diskutera åtgärder. TH vill gärna åka upp på mötet för att vara uppdaterad om det händer något och BIB syd larmas. Jonas kontrollerar med Stora Enso och det är ok.
10-12	Arvid Samuelsson (AR) som är brandingenjör i Halmstad och snart skall börja åka i beredskap börjar leta upp information om denna typ av händelser. Informationen söks främst via kännedom om artiklar i Brandposten, tidning från Sveriges provnings och forskningsanstalt, SP. SP har även sammanfattat sina slutsatser i en rapport. Dessutom söks erfarenheter och information via räddningstjänstens integrerade beslutsstöd för skydd mot olyckor – RIB Xm. Kunskap finns om erfarenheter från omfattande silobränder i Härnösand vilka finns sammanställda i en rapport. Slutligen söks information i dåvarande Räddningsverkets tidning Sirenen som finns tillgänglig via webben.
12-13	TH och AR åker upp till Hylte. Under bilresan läser vi på oss på det material vi fått fram och tar även en första kontakt med SP. Här finns två av Sveriges få experter inom området bränder i cisterner. Samtal sker med Henry Persson. *1
13:00	Mötet inleds i lokal Gondolen på Stora Enso. Deltager gör Magnus Åhman och Jonas Aronsson Rtj Hylte, AR och TH Rtj Halmstad, 3 personer (Uffe, Lau, Daniel) från brukets brandtjänst samt 3 personer från ledningen (Bo, Elisabeth, Tord). Buket berättar händelseförloppet och att dom håller på att tömma cisternen på det naturliga viset med ca 1 ton i timmen. Extra bevakning sker och med instruktionen att släcka av materialet efterhand som det faller ner på transportbandet. Flam- och glöddetektorer är installerade och är kopplade till larm i driftcentralen. 250-300 °C vid skakgallren var uppmätt på morgonen. Glöderna har kommit från högra utsläppet idag och vänster sida igår. Materialet är finfördelat stenkolk med antändningstemperatur på ca 350 °C som fylldes i för ca 14 dagar sedan och som varit lagrad i ca 10 år. Cisternens fyllnadsgrad är 68 % vilket motsvarar 510 ton eller 250 m ³ i kompakt form. Man är rädd för att det långa transportbandet som är av gummi skall komma till skada då de är oerhört viktiga för produktionen. Indikationer på glödbranden kom redan för några dagar sedan. För ca 15 år sedan hade man en brand, då tömde man cisternen utan större åtgärder. TH och AR berättar hur dom uppfattar situationen (med utgångspunkt från fakta *1) och vilka valmöjligheter som finns att ta ställning till. Dessa valmöjligheter är: 1: Fortsätta att tömma cisternen på det naturliga viset 1,5 ton/h vilket kommer att ta ca 14 dagar. Maximeras uttaget kan 4 ton/h matas ut vilket dock inte pannan är konstruerad för. Tömningen tar då omkring 5 dygn. Fördelar är att det inte medför några större kostnader och att det inte kräver större

personalåtgång än den extra bevakning som finns.

Nackdelar är: Ju mer materialet i cisternen rör sig i samband med utmatningen desto mer ökar syretillgången och därmed ett accelererande händelseförlopp. Då vi inte vet hur mycket värme som finns i cisternen är detta en stor chansstagnation.

Cisternen är isolerad och det är svårt att mäta temperaturen. Om hela cisternen börjar brinna med all den energin kolen innehåller kommer skadan att bli stor där även bandgången ovanför cisternen kommer att ta skada.

2: Stoppa omedelbart tömningen av cisternen för att vinna tid. Inertera (spruta in inert, icke brännbar gas) cisternen, förbered omfall, mobilisera resurser och töm därefter ut innehållet snabbast möjligt.

Fördelar: Sannolikheten för stora skador på cisternen och omgivande konstruktioner och även personalen är avsevärt mindre. Tid ges att planera insatsen detaljerat. Tömningen sker under mer kontrollerade former. Resurser för att hantera en oönskad händelseutveckling är förberedda.

Nackdelar: Betydligt större kostnad för själva insatsen än föregående alternativ.

Diskussioner om vem som kan leverera inertgas och hur snabbt det sker en fredagseftermiddag uppstår.

Besluten från mötet enligt vår uppfattning är:

Ingen räddningstjänst råder, dvs Stora Enso ansvarar för händelsen och alla beslut.

De som sitter från ledningen känner att fler personer bör involveras för att ta beslut.

Nytt möte bokas till kl 15.

Under tiden skall mer information inhämtas av AR och TH gällande åtgärder för denna cistern, ritningar letas upp och kontakt tas med AGA för gasleverans.

14-15	<p>TH har diskussion per telefon med Henry Persson SP som ger följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Täta alla öppningar i cisternen noga. Även små springor. · Kvävgas rekommenderas med påförning i botten. · Riktvärde för inertering är 5 kg/m²/h. Gasen kan då röra sig uppåt med 5-10 m/h beroende av material. · Mätutrustning för påföringshastighet brukar saknas. Chauffören brukar kunna köra på känsla. · Inertera i några timmar innan cisternen börjar tömmas. · Mät gas sammansättningen vid cisternens topp innan och under inertering. Då inerteringen lyckats bör både CO halt och O₂ konc gå ner. · Öppna en lucka i toppen på ca 0,5 m², lägg en tunn gummiduk över för att få en backventil. · Mellanskum kan läggas på toppen om det är av bra kvalité för att hindra luftläckage uppifrån. Fin påföring för att inte virvla upp och öka risken för explosion. · Vatten skall användas med försiktighet, Vatten + värme + kol kan bilda Vätgas, och vi vet inte vilka temperaturer vi har inne i cisternen. · Starta inerteringen så snart som möjligt efter nödvändiga förberedelser. · Var försiktig med förbränningsgaserna uppe i cisternen, medtag explosimeter. Spring ej i onödan här uppe. · 2 påföringspunkter. 1 tums rör trycks in ca 0,5 m i materialet. Perforera med ca 15 hål med diameter på 5-6 mm. · OBS Förångare måste också beställas. <p>AR har kl 15.10 telefonkontakt med representant Vattenfall Värme i Uppsala och får råd om att försöka släcka med vatten. Ulf Fridolf vid Swecox, som är ordinarie leverantör av stenkol, berättar att glödhårdens placering vid stackbränder är väl kartlagd, men att det är svårt att uppskatta var den finns vid förvaring i cistern.</p> <p>AR söker mer information om stenkol vid RIB Xm och får fram att följande faktorer kan orsaka självantändning i stenkol:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Liten kornstorlek ökar benägenheten till självantändning. · Yttre värmeförsel skyndar på värmeutveckling i ämnet. · En viss fuktighet ökar den maximala syreupptagningen · Främmande ämnen som antingen fungerar som katalysatorer eller, om de är organiska, kan själva orsaka antändningen. Hög halt svavel och järnoxid ger större benägenhet till värmeutveckling. · Högt innehåll flyktiga ämnen kan bidra till värmeutveckling. Mängden styrs av stenkolets ålder. · Lagringshöjden är en kritisk faktor beroende på kolets ursprung och varierar mellan 4 till 12 meter. <p>Sammantaget konstateras att sannolikheten för självantändning är som störst 6 veckor till 3 månader vid upplagring efter brytning.</p>
-------	--

	<p>AR har kl 16.00 telefonkontakt med Kjell-Åke Kjellström vid räddningstjänsten Höga Kusten – Ådalen. Kjell-Åke presenterade deras erfarenheter från silobränder i Härnösand 2004. Han ger följande råd:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Underskatta inte riskerna. Skeendet är förrädiskt på så sätt att händelseutvecklingen snabbt kan förändras från relativt lugn till ett läge med stora risker. · Sträva efter en så mjuk inertering som möjlig. Med mjuk avses en konstant mängd gas som förs på under kontrollerade former. En teknisk förutsättning är en förångare för gasen, något som de hade saknat under sin insats. · Överväg att föra in gas från cisternens topp om botten inte kan tätas i tillräcklig omfattning. En otät botten kan leda till att påförd gas sipprar ut utan avsedd verkan. · Planera för att kunna verkställa flera parallella åtgärder. Håltagning i cisternen ska vara förberett för att kunna snabbtömma innehållet. Förbered insats med skärsläckare eller annan släckutrustning som komplement till inerteringen.
15:00	<p>Nytt möte Ritningar finns framme, liksom faktablad på stenkolen. Här framgår att stenkolen kan självantända vid lagring över 3 m höjd utan kompaktering. Fler deltagare ur ledningen är närvarande. Vi redovisar på nytt vår bild av händelsen och de två beslutsalternativen som finns. De nya uppgifterna som telefonsamtalen och internetsökningarna givit redovisar vi också. Beslut: Ingen räddningstjänst råder. Utmatningen skall stoppas och cisternen skall tätas för att vinna tid. Vi skall ut och titta på cisternen och få en bild av åtgärdsalternativ. AGA skall snarast kontaktas och beställning göras pga fredagskvällen. Åtgärden skall påbörjas omedelbart men utan stress. Ansvarig för hela insatsen är arbetsledare? Stora Enso. Ev nytt möte under kvällen Möte i morgon bitti kl 08.00.</p>
16 ca	<p>Ledningsgruppen omgrupperar kl 17.00 från Gondolen till Bulan efter en bedömning av att riskerna med att stanna kvar i cisternens närhet är större än vinsten med att stanna kvar. Avspärningar sätts upp kring området. Vi tittar på cisternen och räddningstjänsterna omgrupperar till brandtjänsts lokaler. Här börjar vi planera för omfall. (Vad gör vi om det går dåligt!) Vi tittar på vad som behöver skyddas. Framför allt ser vi transformatorerna, ackumulatortanken, bandgångarna från cisternen och över cisternen. Åtgärder: · 600 l Skumvätska beställs från Halmstad. · Vattenridåer skall förberedas på strategiska platser framför transformatorer, ackumulatortank och fliishög. Slangar läggs ut torra. · Vattenridå förbereds i den nedre bandgången. Klarar denna inte att hålla branden måste gången rivas för att inte sprida branden in till byggnaden med pannorna.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> · Diskussion förs om hävaren skall rekvireras för att skydda övre bandgången. Vi tror inte vi kan klara av denna om det blir en fullt utvecklad cisternbrand. Detta är en stålkonstruktion som ej klarar värme utan en kollaps befaras. Detta är värsta tänkbara scenariot för oss. Vad i omgivningen kommer att påverkas om denna rasar?
18 ca	<p>Möte i Bulan. Aga kan vara på plats ca 20.00. Vi informerar om våra tankar till omfall. Beslut:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Riskområdet slås fast och förtydligas för samtliga. · Att börja inertera i kväll och hålla på hela natten för att först i morgon bitti starta med tömningen. · Spetten skall tillverkas omedelbart för att vara klars då AGA är redo att påbörja gasleverans. · Samordnare är produktionsledaren.
19 ca	Uppehåll för mat
21	<p>Möte i Bulan. Se tidsskalan som gjordes under kvällen. Beslut:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Hävaren från Halmstad skall rekvireras för att vara på plats om vi får en utvecklad cisternbrand. · Skum skall läggas på toppen av cisternen innan inertering. · Gasmätning skall göras på toppen innan inertering. · Skyddsnivå 1 gäller i närheten av cistern då inerteringen börjar. · Ansvarig för inertering och alla åtgärder runtomkring är Ulf Johansson.
08.00 Lör	<p>Möte Bulan Enligt gasmätningarna har inerteringen varit lyckad. Enligt AGA har ca 200 kg kvävgas/h körts in mot önskat 400 kg/h. Beslut att öka mängden direkt. Tömning skall påbörjas så fort transportbanden är redo och gasmätning har utförts.</p>
10.00	<p>Samtal med Henry Persson skedde ytterligare vid tre tillfällen under helgen för att stämma av våra åtgärder och resultat med hans kunskaper. Samtalet under lördagförmiddagen gav:</p> <ul style="list-style-type: none"> · CO halten innan inertering kan vi räkna med 10% = 100000ppm. · CO halten då vi kan anse inerteringen godtagbar bör gå ner under ca 1% = 10 000 ppm. · Gasen kyler inte mycket varför vi får räkna med att glöder kommer att trilla ut. <p>Blir det för mycket glöder stoppa tömningen och inertera ytterligare en timme och kör igen.</p>

*1 : Den fakta och kunskap vi tog med oss om bränder och släckning av bränder i cisterner är i grova drag följande (SP 2006).

- Inertering av silon med gas är en släckmetod som fungerar bra, kvävgas och koldioxid är fungerande alternativ.
- Kvävgas bör matas in sakta i botten av cisternen för att sedan sprida sig uppåt genom materialet.
- I inledningsskedat kan också gas föras in i silotoppen för att minska risken för damm- eller gasexplosion.
- En effektiv insats förutsätter att silon är tät för att undvika tjuvluft som underhåller branden.
- Genom denna spolning med kvävgas pressar man ut syret vilket medför att den pågående glödbranden avstannar.
- Släckeffekten kan ytterligare förstärkas genom att stänga till lufttillgången ovanifrån genom skumbeläggning i silotoppen.
- Genom mätningar av syrgas- och kolmonoxidhalt uppe i silotoppen får man verifiering om insatsen fungerar genom att båda halterna sjunker.
- En effektiv inertering innebär att hela innehållet skall kvävgasfyllas. Vid silor med större diameter än 6-8 m räcker det inte med en inmatningspunkt.
- Pyrolysen (branden) sprider sig företrädesvis nedåt i silon medan det utvecklas en ”våg” av fukt, värme och brännbara gaser som sakta sprider sig uppåt.
- Det tar lång tid innan värmeökning kan upptäckas på silons nederkanter / bottenkona då pyrolysen sprids väldigt sakta i sidled. Därför är silobränder ofta relativt omfattande då de upptäcks, har pågått flera dygn.
- Generellt gäller att tömning inte skall inledas innan branden är avsevärt dämpad.
- Silon skall hållas inerterad under tömning.
- Vatten skall inte användas som släckmedel pga svällrisk i materialet.
- Stora risker är damm/rökgasexplosion och personskador av giftig rök. Speciellt om materialet rörs innan inertering.

Resultat

Tätning av cistern

Cisternen tätades med stenull i tömningshålen i botten. Resultatet av tätningen av cisternen visade sig i efterhand vara fullgod då vi inte kunde uppmäta något kvävgasläckage här och gasmätningarna vid toppen var helt enligt önskemålen. Jag hade under kvällen tveksamheter kring kvalitén på tätheten i tömningshålen i botten av cisternen. Ev kunde byggplast och silvertejp ha använts ytterst som en extra tätning samtidigt som man visuellt kunde se om gasen byggde upp tryck bakom plasten.



Bild 1: Här syns tätningen med mineralull i bottenutloppet i den ene av cisternens två koner.



Bild 2: befintlig lucka på toppen av cisternen som öppnades och användes som avluftning/backventil med en gummiduk över.

Skumbegjutning

Beslut hade tagits att mellanskum av bra kvalite skulle läggas i cisternen. 2 dm skulle ta 8 minuter. Brandmän i skyddsnivå 1 gick upp på cisternen (kl 22 fre kväll). Dom kände värme uppe på cisternen men det gick att se lite. Då skummet lagts på skedde en förångning vilket gjorde att det inte gick att se något ner i cisternen. Detta är en säker indikation på att vi hade minst 100 °C i materialet överst i cisternen. Samtidigt som det trillade ner glödande kol ur botten tyder det på en ganska stor värmemängd i materialet. Värmen gör att skummet äts upp fortare och skumtäckets minskar.

Vid kontroll beräkningar i efterhand visar det sig att den mängd skum vi lagt på under dessa 8 minuter (som i praktiken blev 10minuter) inte bygger 2 dm utan 2 m (teoretiskt). Dvs en tiopotens fel i beräkningarna. Tanken var att regelbundet under insatsen gå upp på cisternen och bygga på skumtäckets. Men då vi senare bedömde att detta moment medförde för stora risker och skumtäckets inte byggdes på vidare under insatsen, utom vid ett tillfälle precis innan inerteringen påbörjades, kan det ses som positivt att skumtäckets blev tjockare från början.

Inertering

AGA kom snabbt med gasen och brukets åtgärder med att tillverka införningsspett etc gick bra. Inerteringen fungerade utmärkt vad vi kan förstå. Två spett stacks in i förborrade hål, en i vardera struten på cisternen. Diskussioner gick i ett sent skede att istället tillverka nya spett som skulle stickas in underifrån i utmatningshålen. Vi tror detta blivit betydligt sämre då tätningen av utmatningshålen behövt brytas, glödande kol trillat ut då spetten skulle stickas in och spetten hade behövt flyttas till nya placeringar då utmatningen började.

Mätutrustning för påföringshastighet an kvävgasen fanns inte utan det kördes på känsla från AGAs personal.

Resultat av gasmätningarna

Tid	O ₂ %	CO ppm
Fre kväll	17,6	hög
Lör 08.00	6,7	1440
Lör 10.00	4,3	1010

Påföringshastighet under inerteringen

Datum	Tid	Påfylld mängd (kg)	Förbrukad mängd (kg)	Flöde (kg/h)
090214	00:30	3075		
	02:00	275	275	183
	10:00	1250	1250	156
	16:00	1350	1350	225
	22:30	1415	1415	217
090215	10:30	1050	1050	88

Totalt levererade AGA 8415 kg kvävgas.

Under inerterings tidiga skede var riktvärdet 400 kg/h. Dessa resultat visar att påföringshastigheten varit lägre men inerteringen fungerade bra trots detta. Det uttalades dock att det är bättre med en lägre påföringshastighet än en högre.



Bild 3: De två lansarna som tillverkades under kvällen.



Bild 4: Lansen inmatad i den avklädda cisternen. Motsvarande fanns i den andra struten.



Bild 5: Den stålarmade hydraulslang som användes till kvävgasen under inerteringen, efter AGAs egen stålomspunna slang.



Bild 6: Uppställning av förångare



Bild 7: Kvävgastank och bil.

Tömning av cistern

Tömningen av cisternen pågick mellan lördag lunch till sön eftermiddag? Det tog inte mycket mer än 24 timmar mot beräknade 5 dygn vid 4 ton/h eller normalutmatning 1,5 ton/h skulle ta 14 dagar. Detta moment gick alltså mycket bra. Till en början kom glödande kol ut som släcktes efter hand. Därefter kom en blöt sörjig massa som följdes av torrare kol och större fraktioner med viss värme. Planen var att kol massorna skulle köras ut till en upplagsplats, bredas ut och släckas efter hand. Massorna kördes ut och tippades av men det fanns inget behov av att breda ut dom. Anmärkningsvärt var att de massor som var blöta och sörjiga hade en mycket speciell lukt som påminner om någon typ av tjockolja. Prover togs i behållare från olika delar av cisterninnehållet till analys.



Bild 8: Tömning via provisoriskt transportband.



Bild 9: Kolen uttömd på asfaltplan.

Missöden /omfall

Inga större missöden inträffade. Framför allt fick vi ingen utvecklad cisternbrand med de konsekvenser det hade inneburit.

Troliga konsekvenser utöver totalförstörelse av cistern med tillhörande konstruktioner:

Värmepåverkan på transformatorer

Värmepåverkan / brandspridning till byggnad.

Värmepåverkan på ackumulatortank

Brandspridning i nedre bandgången, (totalförstörelse)

Värmepåverkan och ev kollaps av övre bandgång med ev enorma konsekvenser på övriga byggnader och personer runtomkring.

Ett stort riskområde med giftiga, brännbara gaser.

Slutdiskussion

Vi upplever att denna insats gick mycket bra. Beslutsunderlag inhämtades, diskuterades och beslut togs. Det fanns tid att tänka och handla utan stress. Insatsen planerades och tidsattes ungefärligt. Däremot tog många moment längre tid än beräknat, men det var inget som påverkade resultatet av denna insats. Genom att tidigt stoppa utmatningen från cisternen och dessutom täta befintliga öppningar kunde ett så gott som statiskt läge nås. I ett senare skede bidrog skumtäckets och slutligen inerteringen med kvävgas till att cisternen kunde tömmas under kontrollerade former.

Framgångsfaktorer:

- Mötet kl 13.00. Att mötet hölls innan en utvecklad brand i cisternen uppstod. Detta gav tid att planera insatsen, få fram material och kunskap i lugn och ro.
- Företaget ställde upp med mycket kompetenta personer på olika nivåer i organisationen hela helgen.
- Materielen som behövdes ordnades skyndsamt fram. Mest imponerande var införingsspetten som tillverkades på någon timme och låg färdiga och uppkopplade då AGA var redo att börja.
- Kunskap ang. cisternbränders inhämtades inför möten och beslut.
- Inerteringen gick bra bl a beroende av spettens utformning, placering och cisternens form som underlättade att gasen skulle spridas jämt i innehåll.

Felbedömningar:

- Då ingen rökutveckling syntes utvändigt från cisternen är det lätt att förringa farorna med situationen. Följden blir att avspärningar med tiden förlorar sin funktion och att allt fler tillåter sig att vistas inom riskavståndet utan anledning. Detta kan motverkas genom tydliga avspärningar och upplysningar som följs upp över tiden.
- En felberäkning gjordes vid dimensionering av skumtäckets. Det medförde att ett lager av 2 m skum (teoretiskt) istället för 2 dm lades i cisternen. I efterhand då en del skum ångade av omedelbart samt att detta skumtäckes inte byggdes på under inerteringen pga riskerna var det positivt att det lades på mer från början.

Diskussion angående beslut av åtgärd

Det fanns två alternativ att attackera händelseförloppet.

1. Fortsätta tömningen som vanligt, släck glödbänderna efterhand som de kommer ut och chansa på att det inte utvecklas till en total cisternbrand/explosion.
2. Stoppa tömningen, vinn tid för att planera och genomföra en betydligt säkrare tömning efter inerteringen.

Med de ingångsvärden vi hade tycker vi att det fanns bara en väg att ta, nämligen det säkrare alternativet med inerteringen. Erfarenheter från liknande bränder och de storskaliga försök som har genomförts på liknande cisterner visar på att händelseutvecklingen på kort tid kan förändras. Utan inertering krävs att cisternen kan tömmas på kort tid vilket i detta fallet skulle innebära att provisoriska håll måste tas upp. I det fall att händelseutvecklingen skulle vara negativ och en större brand skulle bryta ut i anslutning till cisternen bedöms konsekvenserna som stora. Skadeutvecklingen omfattar allt från lokala skador på den aktuella cisternen, via skador på de två berörda bandtransportörerna till det värsta tänkbara scenariot med brandspridning till kraftblocket och att ackumulatortanken rämna.

Konsekvenserna av det värsta tänkbara scenariot är svårt att uppskatta med mycket betydande kostnader för företag, men framför allt överhängande fara för personskador.

Det faktum att skummet förrångades i toppen (minst 100° C) av cisternen vid ungefär samma tidpunkt som glödande kol trillar ur i botten (uppmätt temp på 350° C) tyder på en ganska stor lagrad värmemängd vid denna tidpunkt.

Då kolet tömdes ut innehöll det värme som tände kolen vid några tillfällen men inte den stora värmemängd som ev förväntats. Några faktorer påverkar värmemängden som finns kvar då cisternen töms. Kvävet kylande förmåga betecknas av expertisen som begränsad vilket bekräftas av beräkning i bilagan nedan. Det är ändå så att gasen har en viss kylande förmåga som bidrar till minska värmen i cisternen. Även det vatten (ca 3000 l) som ingick i skummet har en kylande effekt på kolet i cisternen. Det visades ju direkt då en förrångning skedde vid skumpåföringen. Se beräkning i bilaga. Ser man till den mängd kol som kan kylas av från 350 ° C till 100° C av de 3000 l vatten som tillfördes är det en avsevärt större mängd än de 300 kg kol som beräkningen ger vid förbränning.

Då inerteringen var lyckad avstannade värmeproduktionen och materialet började svalna av istället för att värmeutvecklingen hade fortsatt och troligtvis ökat vid en tömning utan inertering.

Bilagor

Beräkning av:

Kväveåtgång (mängd, tid)

Cisternens totala volym är enligt ritningsunderlag $1\,057\text{ m}^3$. Cisternen hade en fyllnadsgrad på 68 % vilket motsvarar omkring 720 m^3 . Massan stenkol var enligt uppgift 510 ton vilket motsvarar 270 m^3 om kompaktdensiteten sätts till $1\,900\text{ kg / m}^3$. Följden blir att det i cisternen finns omkring 340 m^3 fri luft överst i cisternen och omkring 450 m^3 luft som är blandat med stenkolen.

Strävan för källflödet av kvävgas är att nå 5 kg per m^2 bottenarea och timme.

Cisternens diameter är enligt ritning 10,2 meter vilket motsvarar drygt 80 m^2 i bottenarea. Cisternens geometri förenklas till att utgöra en cylinder med 10 meter i diameter och drygt 13 meter i höjd.

Källflödet kvävgas blir då $\dot{m} = 5 \times 80 = 400\text{ kg / h}$.

Densiten för kvävgas är $1,25\text{ kg / m}^3$ vilket ger ett volymflöde på $\dot{V} = \frac{400}{1,25} = 320\text{ m}^3 / \text{h}$.

Den teoretiska fyllnadstiden för cisternen blir därmed $t = \frac{1057}{320} = 3,3\text{ h}$

Skum (mängd, tid)

Under insatsen lades skum på i två omgångar, först 10 minuter och därefter 5 minuter för att underhålla skumtäcknet mot den naturliga nedbrytningen.

Skumvätskeåtgången beräknas enligt följande:

$V_{\text{skumvätska}} = \text{inblandning} \times \text{påföringshastighet} \times \text{tid} = 0,03 \times 200 \times 15 = 90\text{ liter skumvätska}$.

Den totala mängden påfört skum blir ungefärligt 140 m^3 i första omgången och 70 m^3 i andra omgången vid ett expanderande skumtal på 70.

Kvävets maximala kylförmåga på kolen

Gasens kylande förmåga kan belysas med följande teoretiska beräkning på maximal värmeupptagning under optimala förhållanden. Märk väl att beräkningen bygger på en uppvärmning från kokpunkten och en hög sluttemperatur. Under de verkliga förhållandena är temperaturdifferensen betydligt lägre, från förångarens utgångstemperatur till cisterninnehållets sluttemperatur.

$$\text{Massflöde kvävgas: } \dot{m}_{gas} = 400 \text{ kg / h} = \frac{400}{3600} \text{ kg / s}$$

$$\text{Värmekapacitivet kvävgas: } c_p = 1,0 \text{ kJ / kg K}$$

$$\text{Kokpunkt kvävgas} = -196 \text{ °C}$$

$$\text{Sluttemperatur i cistern} = 50 \text{ °C}$$

$$\text{Temperaturdifferens: } \Delta T \approx 250 \text{ °C}$$

$$\text{Värmeupptagning: } \dot{q} = c_p \times \dot{m} \times \Delta T = 1,0 \times \frac{400}{3600} \times 250 \approx 28 \text{ kW}$$

Värmen som absorberas motsvarar effektutvecklingen av ett fåtal kilogram förbränt stenkolk i timmen, enligt: $\Delta H_c = 27\,000 \text{ kJ/kg}$ (typvärde hämtat från www.energihandboken.se) vilket

$$\text{ger } m = \frac{\dot{q} \times t}{\Delta H_c} = \frac{28 \times 3600}{27000} \approx 3,7 \text{ kg på en timme.}$$

Kvävgasens förmåga som inerte gas ligger snarare i att den undantränger syret och reducerar pyrolysen, snarare än att den kyler materialet.

Vattnets maximala kylförmåga på kolen

Görs samma teoretiska beräkning på vattnets kylande förmåga nås följande resultat. Märk även att denna beräkning är en ytterlighet i det att den totala mängden vatten antas förångas, ett antagande som är orimligt i praktiken men som bidrar till att belysa den maximala kylförmågan.

Värmekapacitivet vatten: $c_p = 4,19 \text{ kJ / kg K}$

Ursprungstemperatur vatten $\approx 10 \text{ °C}$

Uppvärmad massa vatten: $m = 3000 \text{ kg}$

Kokpunkt vatten = 100 °C

Temperaturdifferens: $\Delta T \approx 90 \text{ °C}$

Upptagen energi $Q = c_p \times m \times \Delta T = 4,19 \times 3000 \times 90 = 1,0 \times 10^6 \text{ kJ}$

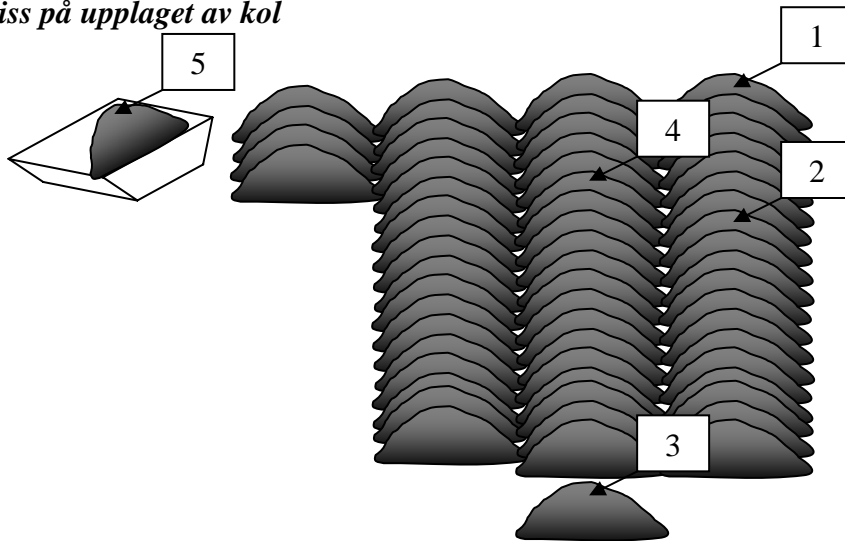
Ångbildningsvärme vatten: $\Delta H_{vap} = 2260 \text{ kJ / kg}$

Förångad massa vatten: $m = 3000 \text{ kg}$

Förångningsvärme: $Q = m \times \Delta H_{vap} = 3000 \times 2260 = 7 \times 10^6 \text{ kJ}$

Den samlade värmen på omkring 8 GJ motsvarar förbränningen av 300 kilo kol enligt ovan.

Skiss på upplaget av kol



Kolen tippas med början i hög nr 1 och tippas nedåt i denna rad (18 högar). Därefter mittenraden (19 högar) och vänsterraden (18 högar) och sist raden med 4 högar. Siffrorna är på de högar som prover tagits från



1: Det först tippade.
Väldigt fuktigt, luktar konstigt



2: 8e högen. Mycket finfördelad



3: Sist tippade högen.
Ganska stora fraktioner.



4: Mitten av cisternen.
Mellanfraktioner



5: Näst sista högen

Intressant att ta reda på från proverna:
Fraktionsstorlek, Fuktighet, Lukt, främmande ämnen mm.