



TRÄPELLET

- sårbarhetsproblem i samhällplaneringen

Projektrapport

(Kursort Helsingborg)

Beredskapshänsyn i planering och samhällsutveckling (BIS), 5 poäng

Kulturgeografiska Institutionen 1997

Göteborgs Universitet

September 1997

Ulf Johansson

Mats Rosander

Göran Wennlid

Sammanfattning

Rapporten redovisar en bedömning av riskerna kring lagring och hantering av stora mängder biobränsle, träpellets. Genom konvertering till biobränsle, i detta fall trä- och barkpellets krävs lagerutrymmen under tak, eftersom risk för bl.a. självantändning föreligger.

I rapporten beskrivs ”Worst Case” för tänkbara scenarion för respektive glödbrand, ytbrand och dammexplosion. I det ingår bedömda konsekvenser för omgivningen och för den aktuella situationen rekommenderade åtgärder som bör vidtas i samband med lokalisering av verksamheten i tätbebyggt område.

För att göra rimliga bedömningar och approximationer utifrån känd forskning kring pellets och näraliggande bränslen samt inträffade skador svarar Docent Göran Holmstedt, Institutionen för brandteknik vid Lunds Universitet.

Problematiken kan sammanfattas som två huvudrisker. Glödbrand till följd av självantändning som pågår i månader samt dammexplosion. Båda händelsetyperna inträffar regelbundet runt om i världen med stora och långvariga skador som följd. Pelletslagring i större tätorter är ett exempel på när riskhänsyn måste tas i samhällsplaneringen.

Händelser som denna kan dock undvikas eller minskas med övervakning, planering och insatser. Den viktigaste parametern för att genom en räddningsinsats minska verkan av en glödbrand är att ha tillräckligt stora resurser för att schakta begränsningslinjer.

Med avvägda åtgärder kan riskerna med pelletslagring nedbringas till en acceptabel nivå även om de, i likhet med andra energislag aldrig kan förebyggas helt.

Innehållsförteckning

1 BAKGRUND	1
2 PROBLEMATISERING	2
3 SYFTE	2
4 METOD OCH DATAINSAMLING	3
5 EMPIRISK REDOVISNING OCH ANALYS	4
5.1 INLEDNING	4
5.2 ÖVERSIKT AV TERMINOLOGI OCH BEGREPP.....	4
5.2.1 Risk = Frekvens * Konsekvens	4
5.3 GLÖDBRAND.....	4
5.3.1 Självantändning med efterföljande brand.....	4
5.3.2 Erfarenheter från självantändning i trä-pellets.....	6
5.3.3 Erfarenheter från frekvens och konsekvenser av självantändning.....	8
5.3.4 Möjliga konsekvenser av en djupt placerad glödbbrand i pelletsmagasinet	8
5.3.5 Släckning av en djupt liggande Glödbbrand	9
5.3.6 Strategi och taktik.....	9
5.4 BEREDSKAP.....	10
5.4.1 Räddningstjänstlagen	10
5.4.2 Planer	10
5.5 DAMMEXPLOSIONER.....	11
5.5.1 Vad är en dammexplosion	11
5.5.2 Erfarenheter från dammexplosioner.....	11
5.5.3 Möjliga konsekvenser av en Dammexplosion i tänkt hantering.....	11
5.5.4 Åtgärder mot risken för Dammexplosion.....	11
5.6 RISKHÄNSYN I SAMHÄLLSPLANERINGEN.....	12
5.6.1 Ytor och avstånd för riskhänsyn	13
5.6.2 Åtgärder för att minska riskavstånden.....	13
6 SLUTSATSER	14
7 REFERENSER	15

BILAGOR

- SLÄCKMETODER
- DETEKTERING AV GLÖDBRAND
- ERFARENHETER FRÅN DAMMEXPLOSIONER

1 BAKGRUND

Sverige har internationellt sett en god tillgång på bioenergi, framförallt bibränslen från skogen. I ett svenskt energisystem baserat på förnybar energi kommer därför bibränslen från skogen att spela en huvudroll.

Användningen av bioenergi, främst bibränslen från skogen, har vuxit starkt under den senaste 20-årsperioden och svarar för 18 % av landets totala energitillförsel. Av 1995 års bibränsleanvändning på 84 TWh utgjordes ca 72 TWh av bränslen som har sitt ursprung i skogen (returlutar, biprodukter från skogsindustrin, avverkningsrester och ved). I skogen finns också den största potentialen för framtida användning av bibränslen.

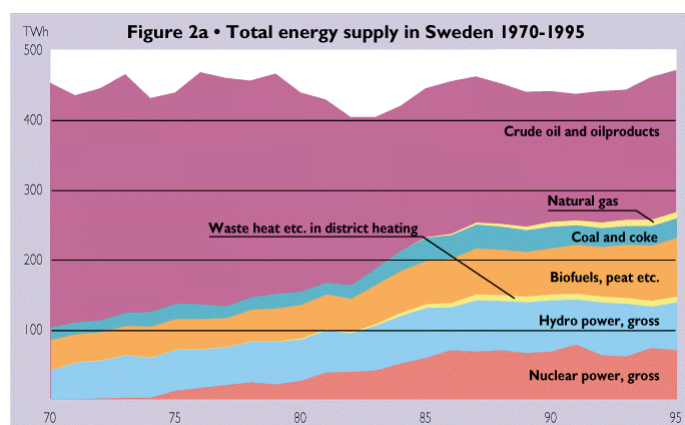


Diagram 1-1: Total energikonsumtion i Sverige 1970-1995 fördelat på energislag.
Källa - <http://www.nutek.se/analys/energi/energysweden/use/useprov.htm> (1997-08-05)

Den ökade bibränsleanvändningen motiveras i stor utsträckning av en strävan att minska koldioxidutsläppen genom att ersätta fossila bränslen. Det är också önskvärt att skogen även vid ett ökat bibränsleuttag fortsätter att fungera som en nettosänka för koldioxid. Forskning pågår¹ därför för att klargöra effekterna av skogsskötsel och bränsleuttag på kolbalansen i skogen. Detta för att rätt skogsskötselåtgärder skall vidtas och i förlängningen säkerställa en hög skogsproduktion för att ge skogsråvara inklusive bränslen och samtidigt optimera kolbindningen i mark och biomassa.

En kraftig ökning av uttaget av bibränslen från skogsmark förutsätter sannolikt att kompensationsåtgärder vidtas så att negativa effekter på markkemi och den långsiktiga produktionsförmågan undviks. Ett sätt kan vara att återföra askan efter förbränning av bibränslen. Biobränsleuttag i kombination med askåterföring kan sannolikt också utnyttjas för att minska kvävebelastningen i försurningsutsatta områden.

Det finns en betydande kunskap om de ekologiska konsekvenserna av ökat biomassa-uttag från skogen, som antyder att en stor skogsbränslesatsning kan göras inom ramen för en god miljö och uthållighet. Det är angeläget med ytterligare kunskap om hur skogsbränslesystemet ska utformas för att ge minsta negativa miljöpåverkan, största möjliga miljönytta samt bästa resursanvändning.

¹ Uppgiften är hämtad på NUTEKs hemsida (bl.a. <http://www.nutek.se/teknik/emil/energiteknik/skogsprogram.html>)

Nordamerika är en stor producent av träpellets vars marknad hittills huvudsakligen varit lokal där den utnyttjats för bostadsuppvärmning. Exportmarknaden har varit liten, dock uppfattar en del producenter Sverige som en potentiell marknad. Orsaken är den kraftiga beskattning som Sverige har på fossila bränslen samtidigt som det planeras avveckling av kärnkraften i en nära framtid. Detta tillsammans med några andra faktorer gör Sverige till en tänkbar exportmarknad.

En snabb utbyggnad av bränsleförädling (tillverkning av träpellets m.m.) pågår just nu i Sverige. Huvudsaklig avsättning för denna förädling har först och främst varit till storskalig kolersättning i till exempel Uppsala, Hässelby och Drefviken i Stockholm. För säsongen 97/98 planerar även kolkraftverket i Helsingborg att ställa om till träpellets.

Under hösten 1996 påbörjades en planering av hela kedjan hur bränslet ska transporteras från tänkbara producenter av träpellets, såväl nordamerikanska som nordiska, till värmeverket i Helsingborg. Något naturligt alternativ till sjötransport har egentligen aldrig övervägts då Helsingborg är en hamnstad och värmeverket är placerat nära Öresund. Det konstaterades snabbt att de funktioner som noggrannare behövde övervägas och analyseras för behovet i Helsingborg var krav på lossningsanordningar, lagerutförande och slutlig transport vidare till värmeverket.

2 PROBLEMATISERING

Vilka riskhänsyn behöver tas vid etablering av ett träpelletslager i tätbebyggt område ?

Hantering av träpellets i stor skala, åtminstone under Svenska förhållanden, är en relativt ny företeelse. Erfarenheter som är direkt applicerbara är begränsade och de ingående variabelernas påverkan av slutresultatet, direkt eller i samspel med varandra, är relativt okända.

3 SYFTE

Denna rapport syftar till att belysa erfarenheter och de övervägande som gjordes i samband med utvärderingen av en tänkt etablering i ett befintligt bulkmagasin. Magasinet är beläget i bulkhamnen i Helsingborg, en hamn som Helsingborgs Hamn AB arrenderar av Kemira Kemi AB.

Vår ambition är att redogöra för våra erfarenheter på ett sådant sätt att dessa är direkt applicerbara även på tänkta etableringar i andra tätbebyggda områden.

Avgränsningar

Miljö är ett omfattande område. Denna rapport behandlar endast det tillskott en brand kan utgöra på miljön, dvs ej miljöproblem orsakade under ordinarie hantering såsom buller, damm, lukt m.m.

4 METOD OCH DATAINSAMLING

En stor del av uppgifterna bygger på våra egna erfarenheter, delvis antecknade från studiebesök, som rekapitulerats och återskapats. Från arbetsgruppen som utvärderade den tänkta hantering finns minnesanteckningar från projektgruppsmöten, från studiebesöken gjordes reseanteckningar, m.m. I rapporten ingår även uppgifter som hämtats från olika adresser på Internet.

I arbetsgruppen ingick representanter från Helsingborgs Brandförsvär, Helsingborgs Hamn, Kemira Kemi samt Lunds Universitet. Gruppens sammansättning framgår av ref. [8].

Pellets är ingen standardiserad produkt med standardiserade egenskaper. Därför rekryterade arbetsgruppen specialistkompetens från Institutionen för brandteknik vid Lunds Universitet. Detta för att bedömningar och approximationer skulle vara vetenskapligt grundade vad gäller emissioner, brandförlopp och riskavstånd till omgivningen.

Källkritik

Samtliga författare till denna projektrapport var medlemmar i den arbetsgrupp som inför det planerade projektet samlade in faktaunderlag och erfarenheter från hantering av bränsle i fast form. De deltog även i utvärdering av dessa uppgifter.

5 EMPIRISK REDOVISNING OCH ANALYS

5.1 Inledning

Pellets är en relativt ny produkt och det finns liten dokumentation och få indata för riskbearbetningen. Den är inte standardiserad vare sig till form, kemisk sammansättning eller framställningsprocess. Olika tillverkare har olika råvaror och tillverkningsprocesser. Pellets är en kommersiell produkt under utveckling. Pelletsen formas av pulvriserat träavfall under högt tryck och temperatur till små stavar, vanligen 5 - 8 mm i diameter och 15 - 20 mm långa.

Det lagras inomhus men rekommendationer om lagringsvolym saknas f.n.

Tillverkarna kan deklarerat sin produkt, dvs hur den ser ut då den lämnar fabriken. Efter en land- eller sjötransport kan den ha ändrat fukthalt tagit upp svampsporer och annat som kan medverka till självantändning till följd av biologisk nedbrytning.

Dammexplosioner i transportanläggningen (-band och -skruvar) och i lagerbyggnader kan inträffa i samband med lossning. Detta kan skada byggnader och personer som vistas i byggnadens omedelbara närhet.

Sammantaget kan man säga att träpellets medför andra risker än stenkolk och flytande bränslen. Till skillnad från stenkolk måste pellets lagras väderskyddat för att förhindra självantändning.

5.2 Översikt av terminologi och begrepp

5.2.1 *Risk = Frekvens * Konsekvens*

Riskbegreppet misstolkas gärna i det dagliga bruket. Ordet förknippas oftast med vilken konsekvens en olycka eller incident leder till, vilket inte är hela sanningen. Konsekvens beskriver enbart de skadeverkningar som uppstår vid ett inträffat scenario.

Per definition är Risk = sannolikhet * konsekvens. Sannolikheten är en storhet som i flera fall är ytterligt svår att bestämma. Riskanalyser är, trots namnet, därför ofta endast en konsekvensanalys.

I denna rapport ges övervägande beskrivningar av möjliga konsekvenser vid missöden i sådana tänkta lageretableringar som krävs för att försörja en stad.

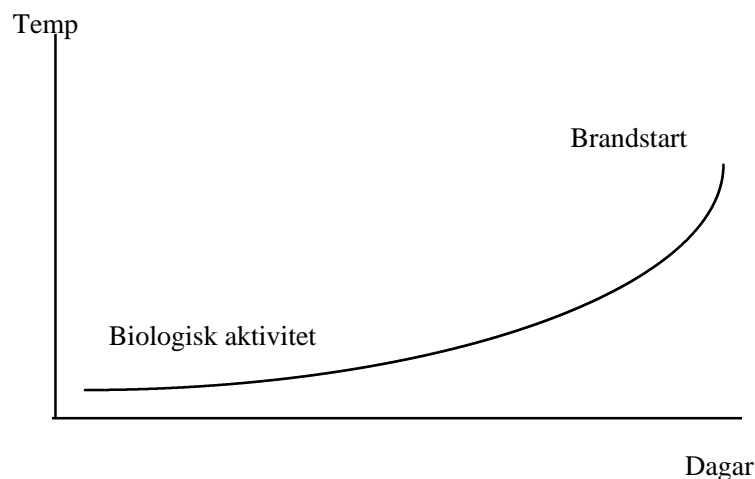
Försök till underlag för en kvalitativ sannolikhets-bedömning har inhämtats från bl.a. besök hos tillverkare och etablerade lageranläggningar av pellets i Sverige. Vilka anläggningar som besöktes framgår av ref. [9]. Omfattningen av detta underlag är dock för begränsat för att några säkra slutsatser ska kunna göras gällande sannolikheten. Det kan dock konstateras att några av de ansvariga vid våra besöksanläggningar var oroliga speciellt för risken att lagret kontamineras av fukt.

5.3 Glödbrand

5.3.1 *Självantändning med efterföljande brand*

5.3.1.1 *Effektutveckling i lagrat organisk material*

Spontan antändning kan uppträda i högar av fuktigt organiskt material där värmen inledningsvis genereras av biologiska aktiviteter från bakterier och svampar.



Figur 5-1: Figuren beskriver endast principiellt (ej skalenligt) förloppet till självantändning. Figur skapad efter föreläsning av Göran Holmstedt, Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet.

I ovanstående figur visas den biologiska aktivitetens temperaturberoende. Den är som störst vid 40 °C och har ett andra maximum vid 60 °C, men kan inte överleva ca 75 °C. Den biologiska aktiviteten beror till stor del av materialets fukthalt. Vid högre temperaturer tar oxidativa reaktioner över. Självantändning beskriver slutfasen i en självuppvärmningsprocess i ett material där värme utvecklas med större hastighet än den leds bort.

Upp till ca 75 - 80 °C kan värmen alstras av biologiska processer. Om stacken är varmare kan det bero på oxidation med luftens syre. Biologisk värmealstring avhjälps genom ventilation, t ex genom omlastning. Om oxidation (förbränning) har startat får man inte ventilera stacken. Det leder till utvecklad brand.

Självantändning vid lagring av material är ett allvarligt brandtekniskt problem och känt sedan länge. Här i Sverige har vi under de senare åren sett flera stora silo- och lagerbränder, t ex Nordmill i Malmö, torvlagret vid Uppsala Energi, bränder i returpapper i Norrköping och flera soptippsbränder. I en undersökning redovisas självantändning i 13 stackar med sönderdelat träbränsle [4] som inträffade under året 1986/87 i Skåne, Småland, Västergötland, Östergötland och Jämtland. Storleken på stackarna varierade mellan 3000 m³ och 93 000 m³.

Bränderna medförde bränsleförbrukningar på mellan 30 000 m³ och 48 000 m³. Förbränningen i det fria är okontrollerad och ger upphov till stora mängder förbränningsprodukter som under lång tid påverkar omgivningen.

5.3.1.2 Åtgärder för att förhindra att självantändning uppstår

Det finns i huvudsak två olika sätt man kan minska självantändningsrisken

- Öka kylningen.
- Minska effektutvecklingen.

Ökad kylning kan åstadkommas genom att man ökar ytan i lagret i förhållande till volymen och/eller ökar luftgenomströmningen, konvektiv kylning.

Ökad luftgenomströmning lämpar sig bäst för lager av grövre material, t ex briketter, där luftströmmarna kan kontrolleras. I kompaktare material, som pellets, flis, frästörv m.m. lämpar sig denna metod sämre. Ett annat alternativ är att åstadkomma kylningen genom att lasta om materialet.

Effektutvecklingen kan påverkas av flera faktorer som:

- Luftfuktighet.
- Syrgashalt.
- Temperatur.
- Närvaro av katalysatorer.
- Hot spots mm.

5.3.2 Erfarenheter från självantändning i trä-pellets

Självantändningsrisken ökar med fukthalten i materialet. Erfarenheter från pellets av avfall [5] visar att fukthalten bör vara under 12 % för att pelletsen skall kunna lagras under längre tid (flera månader) och lagras upp till 8 - 10 m höjder. Tillräckligt höga temperaturer bör uppnås under torkningen och pelletsen måste vara genomtorkad. För att undvika kondens i pelletslagret under den kallare årstiden, skall den varma pelletsen kylas ned före lagring. Uppgifter från expertis på torkningsprocesser anger att fukthalten måste understiga c:a 15 %.

Självantändning i pelletslagring [5] kan uppstå genom inläckande vatten genom öppningar i byggnaden, ojämn torkning orsakad av för stora variationer i inmatat material, dålig genomluftning p.g.a. ansamling av finfraktion (olika permeabilitet).

Påståendet styrks av att de flesta bränder uppstått i gränsen mellan olika träbränslesortiment eller i gränsområden mellan packat och opackat träbränsle. I några fall var brandhärdarna lokaliserade till områden med metallföremål.

5.3.2.1 Självantändningsförloppet

Biologiska aktiviteter avtager när temperaturen i lagret överstiger c:a 70 °C. De oxidativa processerna tar sedan över och kan i ogynnsamma fall leda till en ytterligare temperaturökning. När temperaturen överstiger 80 - 90 °C kan en allvarlig självantändningsprocess vara förestående. Temperaturen i lagret ökar successivt och vid temperaturer över c:a 200 °C börjar biobränslena att förgasas och ge ifrån sig avsevärda mängder brännbar gas.

Temperaturen stiger ytterligare och brännbara gaser ansamlas ovanför bränslelagret. När temperaturen blivit tillräckligt hög kommer dessa gaser att antändas vanligen genom att det bildas kanaler från den varma kärnan till ytan av lagret. Antändningen kan bli våldsam beroende på hur mycket gas som ackumulerats och resultera i en förblandad explosion som ibland virvlar upp damm som också antänds. Har byggnaden ingen explosionsavlastning kommer den svagaste delen att kastas bort, eventuellt välter även någon vägg.

5.3.2.2 Konsekvenser av en fullt utvecklad brand

Det finns begränsad information om skyddsavstånd från lager av biobränsle. I ref. 5 anges att skyddsavståndet från stackar med flis till byggnader bör vara minst 100 ft (30.5 m),

“ the piles should be 100 ft, and preferably more, from the nearest important building “.

Pellets, som har låg fukthalt, brinner bättre än flis vilket borde vara ett motiv att ha större skyddsavstånd.

Beräkningen som redovisas i tabell nedan har antagit en yteffekt på 300 - 500 kW/m² dvs i nivå med ytbränder för trä.

Avbr.hast g/m ² *s	Vindhast	Avstånd m från lagrets kant till 5 kW/m ²	Avstånd från lagrets kant till 2.5 kW/m ² .
20	3 m/s	37 m	57 m
20	10 m/s	35 m	46 m
40	3 m/s	39 m	77 m
40	10 m/s	46 m	96 m

Tabell 5-1: Skyddsavstånd för 5 respektive 2.5 kW/m² strålning (=begränsad möjlighet för brandman att vistas i denna strålningsnivå). Beräkning till grund för tabellvärden är utförd av Göran Holmstedt, Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet.

Rekommenderade skyddsavstånd för mindre farligt bränsle kombinerat med överslagsberäkningar tyder på att det blir svårt med manuell bekämpning inom ett avstånd 30 - 50 m från den brinnande lagerbyggnaden om inte förebyggande åtgärder kan minska risken. På c:a 20 m avstånd uppskattas en strålningsbelastning på 5 - 10 kW/m² vid en större brand. Som referens kan nämnas att trä tänder vid strålningsnivåer om ca 12 kW/m².

5.3.2.3 Emission till omgivningen

Vid en stor brand kommer luften i omgivningen att förorenas av sot samt organiska och oorganiska föreningar. Uppgifter finns tillgängliga om hur stor fraktion av massan, vanligen i %, som omvandlas till olika föroreningar. Massförlusten är således av avgörande betydelse.

Nedanstående tabell redovisar några fraktioner vid brand i trämaterial [3].

Förorening	% av vikt	Kommentar
Sot	1 - 2	Vid underventilation kan den öka en faktor 2
Kolmonoxid	0.4 - 0.5	Vid underventilation kan den öka en faktor 10 - 15
Oförbrända kolväten	0.1 - 0.2	Vid underventilation kan den öka en faktor 10- 80

Tabell 5-2: Föroreningsbildning vid brand i trä angivet som % av bränslevikt.

Sammanfattning:

Vid en större brand kommer 1 - 2 kg/s sot, 0.3 - 0.9 kg/s CO och 0.1 - 0.4 kg/s oförbrända kolväten att produceras. Vid förhärskande vindriktning kommer emissionen att driva in över tätbebyggda områden. Brandlukten kommer att vara tydlig på flera kilometers avstånd under månader.

5.3.3 Erfarenheter från frekvens och konsekvenser av självantändning

5.3.3.1 Branden i torvlagret hos Uppsala Energi

Den sannolikt största branden i Sverige vid lagring av bränsle i fast form inträffade i Uppsala, eller snarare startade 90-11-16. Den pågick mer eller mindre till mitten av April 1991.

Det aktuella lagret innehöll torvbriketter och vid brandutbrottet var den lagrade volymen 115 000 m³. Torvhögen var ca 17 m hög och var innesluten i en byggnad av i huvudsak oskyddat stål.

Av utredningsmaterialet kan man ej dra några bestämda slutsatser om vilka eller vilken kombination av orsaker som mest bidragit till att en självuppvärmningsprocess påbörjats men sannolikt har en kvarliggande äldre del av lagret medverkat till antändningen.

Vid etableringen av lagret 1988 eftersöktes kunskap om hur ett säkert lager skulle dimensioneras. Kunskaperna i Sverige och i utlandet om riskerna med storskalig lagring av torv har varit begränsade, dock framkom i de rapporter som inhämtades skepsis mot hög lagringshöjd. Invändningarna var i huvudsakligen två skäl:

- Kritiska processer i lagret ökar med ökad lagringshöjd.
- Möjligheterna att begränsa/släcka en brand i en stor lagervolym är mycket små.

Ovanstående är ett urval ur Statens Haverikommisions rapport över branden vid Uppsala Energi (Rapport O 1992:1, Ärende O-11/90)

Vid besök i Uppsala uppskattades att branden kostade ca 120 Mkr, varav byggnaden ca 60 Mkr.

Uppsala Energis erfarenheter från storskalig förvaring och hantering av biobränsle har lett till att tidigare hanteringssystem har ersatts med förvaring i containers. Dessa behålls slutna tills momentet då de tillförs förbränningen. Härigenom har även damningsproblemet minimerats.

5.3.4 Möjliga konsekvenser av en djupt placerad glödbrand i pelletsmagasinet

5.3.4.1 För närområdet

Tättbebyggda områden i förhärskande vindriktning och kommer att utsättas för rökluft och emissioner från branden. Om vi antar brand i ett par veckor kommer storleksordningen 150 - 300 ton sot och lika mycket oförbrända kolväten att avges om hela lagret brinner upp.

Räddningstjänsten skall, om de möter ett fullt utvecklat (osläckbart) scenario uppmuntras till att undvika släckförsök eftersom det kan fördubbla emissionen av sot och tiotubbla emissionen av oförbrända kolväten. Ju högre effekt ju mer termik desto mindre nedfall över staden kan förväntas.

Räddningstjänsten kan sannolikt inte ingripa för att släcka branden eller begränsa brandspridning till byggnader belägna inom 25 - 50 m från pelletsmagasinet i vindriktningen.

5.3.5 Släckning av en djupt liggande Glödbrand

5.3.5.1 Allmänt om glödbränder

Glödbrand är en långsam oxidation med stor värmeavgivning på ytan av ett fast material. Syrehalten kan vara mycket låg och ändå underhålla en glödbrand. Flammor slocknar vid

ca 12 % syrehalt, medan glödbrand kan fortsätta vid syrehalter lägre än 1 %. Denna egenskap är kritisk ur släcksynpunkt. En glödbrand kan fortgå dold och övertäckt under dygn, t.o.m. veckor.

Den stora värmeavgången från glödbrand i bränslen med högt värmevärde, t ex trä, kol eller pellets är kritisk ur släckmedelssynpunkt. Som praktiskt exempel kan nämnas att 1 kg sågspån kan suga upp 2 kg vatten. Teoretiskt kan värmen från glödbrand i 1 kg sågspån räcka för att torka 3 kg sågspån innehållande 6 kg vatten.

I praktiken innebär detta att vatten, trots sina utmärkta fysikaliska egenskaper, är ett ganska svagt släckmedel i det givna scenariot. Det går inte att skapa en begränsningslinje genom att blöta en del av bränslet och använda det som barriär mot brandspridning. Även vid direkt släckning är återantändning vanlig.

5.3.5.2 Lokalisering

Som underlag för beslut om släck- och begränsningsåtgärder krävs att man lokaliserat glödbranden. Det finns idag ingen fältmässig teknik som kan titta in på djupet i högen. All känd utrustning typ värmekameror o dyl. mäter på ytan, d v s där den av glödbranden skapade värmen når det fria. Detta gör att lokaliseringen blir inexakt och att man måste ta till stora marginaler när man bestämmer var man skall börja schakta begränsningslinjer.

5.3.6 Strategi och taktik

5.3.6.1 Strategi

Genom att skapa ett bränsleavbrott i högen kan spridning förhindras och en del av bränslet räddas. Därvid kommer omgivningspåverkan att minskas. För att nå målet är schakt- och transportresurser viktigast. Därtill måste upplagsplatser för oskadat och brinnande material vara förberett genom insatsplanering.

5.3.6.2 Taktik

Med bränsleavbrott menas att man tar bort bränslet eller ersätter det med obrännbart material t ex sand. En förebyggande åtgärd är att ersätta avbrottet med en obrännbar vägg som sluter tätt mot yttertakets underkant och ytterväggarnas insidor. Detta är en praktisk omöjlighet i ett pelletslager som genomkorsas av transportband. Begränsningen kan i stället göras genom att så mycket pellets schaktas bort att ett bränsleavbrott bildas.

För att upprätta en begränsning i en pelletshög krävs:

- Angreppsvägar som tillåter schaktmaskiner att köra in och schakta ut pellets.
- Schaktfordon.
- Transportfordon för obränt (eldningsbart) material.
- Upplagsplats för obränt material.
- Transportfordon för glödande material.
- Upplagsplats för glödande material.
- Släckresurser för upplagen.

För att skapa en begränsningslinje måste man schakta bränsleavbrottet inom ca 10 tim.

5.3.6.3 Transportfordon för obrända pellets

För att transportera bort schaktmassorna (obrända pellets) behövs lastbilar med höga lämmar i sådan mängd att de kommer upp i rätt kapacitet med ett transportavstånd om 1 km till upplagsplats belägen i närområdet.

5.3.6.4 Upplagsplats för obrända pellets

Obrända pellets representerar ett värde som kan tas tillvara. På upplagsplatsen bör finnas ett torrt underlag och material för övertäckning så att skador från nederbörd förhindras. Platsen bör av tidsskäl ligga i närheten av magasinet och ha en schaktmaskin för omflyttning samt en mindre brandberedskap.

5.3.6.5 Transportfordon för glödande pellets

Brända/obrända pellets vattenbegjutes vid utlastning från pelletslagret. Härvid bör man räkna med att densiteten fördubblas. Materialet kan transporteras i fordon med stålflak som normalt används för att transportera sten/sprängsten. Transportvägen kan gå genom tätbebyggt område om körtiden begränsas till ca 15 min med hänsyn till återantändningsrisken.

5.3.6.6 Mottagningsplats för glödande pellets

Slutsläckning av pelletsmassor med glöd kan ske på deponiplats. Där krävs en schaktmaskin som kan breda ut massorna i ca 5 cm tjocka lager, varefter en massiv släckinsats med vattenkanoner och manuella strålrör görs.

Vattenförsörjningssystemet bör ha en kapacitet om ca 1500 l/min. Flödeskapaciteten används sporadiskt under flera veckor. Vattenförsörjning via kommunens VA-nät fungerar om vattenverket underrättas i god tid och brandpost finns inom 300 m avstånd.

Platsen bör anordnas med en halv meter höga vallar så att vatten med ett par decimeters djup kan bli stående. I detta tippas massorna och blöts varefter de sprids i ett max ca 1 m tjockt lager under fortsatt vattenbegjutning. Deponiplatsen behöver med denna metod vara minst 5000 m².

En snabb slutlig släckning innebär reducerad emission till luften, vilket är den kortsiktigt besvärligaste miljöeffekten av en glödbrand.

5.4 Beredskap

5.4.1 Räddningstjänstlagen

Enligt räddningstjänstlagen § 43 är den som bedriver en verksamhet som är en risk för omgivningen eller miljön skyldig att hålla eller bekosta en skälig beredskap av personal och materiel för att begränsa skadan. Det är rimligt att klassa ett pelletsmagasin inom tätbebyggt område som ett § 43-objekt.

5.4.2 Planer

Brandsläckningen går att lösa om tillräckliga schakt, transport- och deponiresurser kan uppbringas inom tillräckligt kort tid enligt ovanstående uppskattning. Planer och resursförteckning bör redovisas av ägaren efter samråd med brandförsvaret och andra berörda parter. Resurserna skall ha en ledningsorganisation som underställs räddningsledaren. Planeringen bör övas årligen.

5.5 Dammexplosioner

5.5.1 Vad är en dammexplosion

“En explosion är en exoterm kemisk process som när den sker vid konstant volym ger upphov till en plötslig och betydande tryckökning“[6].

Varje ämne som kan brinna i luft kommer att göra det med en styrka och hastighet som ökar med den ökande graden av materialets finfördelning. Om finfördelningen får en partikelstorlek på 0,1 mm eller mindre, och om partiklarna svävar i en tillräckligt stor luftvolym som ger varje partikel tillräckligt med utrymme för att brinna ohejdat, kommer förbränningshastigheten att bli mycket hög och den energi som krävs för antändning mycket liten.

Ett sådant brinnande dammoln är en dammexplosion.

5.5.2 Erfarenheter från dammexplosioner

Det finns erfarenheter från USA och Europa som påvisar att dammexplosioner i trä och barkprodukter inte är ovanliga. Se bilaga 3. Tabellerna i bilagan är hämtade ur ref. [6].

5.5.3 Möjliga konsekvenser av en Dammexplosion i tänkt hantering

- Byggnaden förstörs
- Materialet får ytbränder
- Personer kan komma till skada

En dammexplosion kommer att trycka ut stora delar av tak- och gavelplåtar medan byggnadsstommen förväntas stå kvar. Spridda ytbränder kan släckas utifrån med vattenkanoner inom några timmar. Personskador är tänkbara men helt beroende av att personer vistas så nära byggnaden att de får nedfallande plåtar på sig. Säkerhetsavstånd för tryckvåg och nedfallande föremål är svårt att bedöma eftersom det finns så många variabler som påverkar förloppet. En god bedömning är att säkerhetsavstånd till andra byggnader o.d. dimensioneras av brandscenariot, dvs upp till 50 m.

5.5.4 Åtgärder mot risken för Dammexplosion

5.5.4.1 Allmänt

Åtgärderna för att minimera risken för dammexplosioner består av att förhindra damning och eliminera tändkällor. Damning minskas genom att transportsystemet hanterar varan så skonsamt som möjligt. Minimering av störlhöjden, störtning på slider och genom trattar minskar mängden uppvirvlat damm. Kan dammolnet begränsas till så låg täthet att undre brännbarhetsgränsen ej uppnås behövs ingen särskild dammbekämpning.

Bekämpningen sker normalt med vattendimma, vilket är olämpligt i detta fall med tanke på självantändningsrisken. Dammbekämpning med mekanisk ventilation och filter är rimlig, men kräver i sin tur dammbekämpning av den evakuerade luften. Här kan bekämpningen ske med vatten eftersom det är utanför magasinet. Bästa metoden är dock att orsaka så lite damm att dammbekämpningen blir överflödigg.

Ett kompletterande sätt att minimera risken är att se till att dammolnet inte kan antändas, dvs eliminera tändkällor. Åtgärderna sammanfaller med de som krävs för att förhindra att glödbrand lastas in i magasinet. För att förhindra gnista från statisk elektricitet bör störlhöjd och andra driftsbetingelser vara anordnade så att statisk elektricitet ej uppstår. Genom jordförbindelser i byggnad och transportsystem kan risken nedbringas. Det är

lämpligt att genomföra en mindre mätserie som fastställer ev förekommande statisk elektricitet . Om mätningarna indikerar farliga nivåer kan särskild utrustning för eliminering av statisk elektricitet installeras i bandets slutsektion.

5.5.4.2 Åtgärdslista mot dammexplosion

	Förebyggande	Begränsande
Eliminera tändkällor	Förebygga explosionsbenägna dammoln	
Pyrande förbränning i damm, dammflammar	Inertera med N ₂ , CO ₂ och ädelgaser	Partiell inertering med inert gas
Andra typer av öppna flammar (t.ex. heta arbeten)	Självinertering	Isolering (sektionering)
Heta ytor	Inertering genom tillfört inert damm	Tryckavlastning
Elektriska gnistor och ljusbågar. Elektrostatiske urladdningar	Dammkoncentration lägre än explosionsområde	Tryckhållfast konstruktion
Värme från mekanisk påverkan (metallgnistor och heta punkter)	Driftövervakning, drifrutiner	Automatisk släckning, transportstopp, spjäll, god ordning, rengöring, dammborttagning

Tabell 5-3: Förebyggande och begränsande åtgärder mot dammexplosion. Tabellen är hämtad ur ref. [6].

5.6 Riskhänsyn i samhällsplaneringen

Pellets kan inte lagras utomhus utan måste förses med väderskydd i form av en byggnad. Av kostnadsskäl och med anledning av tillgänglig teknik för att transportera pellets kommer byggnaden att bli avlång. Måtten bestäms av materialets rasvinkel (30 - 40 grader) och lagringshöjd. Risken för självantändning begränsar lagringshöjden till ca 10 m.

Av praktiska skäl kommer ett pelletslager att behöva lokaliseras i hamn och eller invid förbränningsstället. Båda lokaliseringarna kommer att innebära att lagret förläggs i eller i utkanten av tätbebyggda områden som kommer att påverkas vid en brand.

Om lokaliseringen avser konvertering av befintligt kraftvärmeverk till pellets kommer detaljplanen att ha begränsade ytor och avstånd till befintliga byggnader och installationer.

Pellets kommer att lagras i form av en sträng skapad av transportband. Bredden kommer att bli knappt 40 m och den önskade lagringsvolymen bestämmer längden på strängen. Lagerstorlekar på 30 000 m³ kommer att behövas i hamnstäder där båttransporter lossas. Detta kommer att innebära byggnader med ca 150 m längd. De största magasinerna kommer att rymma dubbelt så mycket eller mer.

Möjligheten till lagring i spannmålssilos, som ju ofta har den önskade lokaliseringen, har förkastats i Helsingborg av ekonomiska skäl. Man önskar betydligt större lagringsvolym än vad som är tillgängligt i befintliga silos.

5.6.1 Ytor och avstånd för riskhänsyn

För att säkerställa omgivningspåverkan från bränder och dammexplosioner i alla riktningar behövs en tomt med måtten ca 140 m x 250 m för en stad med ca 100 000 invånare. Inom området kan då även inrymmas de ytor som behövs för att lagra schaktmassor av

oförbrända pellets. Samtidigt bör platsen inte ligga längre bort från deponiplatsen för brandskadade pellets än att den kan nås med lastbil inom 15 min.

5.6.2 Åtgärder för att minska riskavstånden

Här bör man utnyttja plan och bygglagens (PBL) möjligheter att kräva en riskutredning före fastställande av detaljplanen. De tekniska kraven ställs i en ny lag - Lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. (BVL). Lagarna gäller vid nybyggnad, men även vid väsentligt förändrad användning. Ett lager som använts för ett obrännbart material är inte per automatik godkänt för lagring av pellets.

Avstånd kan ofta ersättas med barriärer eller byggnadstekniska åtgärder på omgivningen eller lokaliseringsobjektet. Väggar av betong upp till omgivande byggnadshöjd eller fristående barriärer är exempel på åtgärder som skyddar omgivningen mot antändning till följd av värmestrålning. Sprinkler är det traditionella sättet att lösa svåra brandproblem, men det fungerar inte mot ett pelletsmagasin. Möjligen kan omgivande byggnader förses med sprinkler för att reducera värmestrålningen från ett brinnande pelletsmagasin.

Sektionering av pelletssträngen är ett sätt att minska varaktighetstiden för en brand, men den del som brinner kommer att kräva normala skyddsavstånd eller barriärer.

Åtgärder för att förhindra självantändning och antändning av utifrån inkommande föremål minskar inte skyddsavstånden med väl sannolikheten för att brand skall uppstå. Detektering och övervakning kan ge så tidiga indikationer att ägaren och räddningstjänsten kan ingripa för att avvärja eller begränsa en utbruten brand. Insatser till följd av brand måste planeras för att tillräckliga resurser skall kunna sättas in tillräckligt snabbt.

6 SLUTSATSER

Övergång till biobränslen har aktualiserats genom att det blivit aktuellt att fasa ut kärnkraftproduktionen och de påskyndande skattesatser som beslutats för andra energislag. Kraftproduktionen från biobränslen är i det långa perspektivet ett sätt att använda inhemska råvaror för kraftproduktion och minska vår sårbarhet vad gäller råvaruförsörjning från andra kontinenter.

Befintliga enheter för kraftproduktion kan konverteras från fossila bränslen till biobränslen, främst träpellets. Till skillnad från fossila bränslen krävs inomhuslagring för att undvika självantändning. Energiinnehållet per volymenhet är lägre än för fossila bränslen och lagringshöjden måste begränsas vilket kräver förhållandevis stora lagerenheter.

Om en brand inträffar utgör det en sårbarhetsfaktor i flera dimensioner. Dels måste kraftproduktionen säkras via andra vägar och anläggningar, dels kommer tätorten att påverkas av emissioner från branden under månader. Möjligheterna att släcka en fullt utvecklad brand i ett pelletslager är mycket begränsade även för landets största räddningstjänster.

Det krävs riskhänsyn vid etablering av pelletslager i tätbebyggda områden. Problemet med befintliga anläggningar i större städer är att det saknas markytor och skyddsavstånd. Skyddsinvesteringarna blir stora för att lösa problemet.

Hela konceptet för konvertering till biobränslen vilar på nationella beslut om skattesatser på olika bränsleråvaror. Detta utgör i sig ett sårbarhetsproblem lokalt, eftersom besluten kan ändras när som helst. Detta minskar investeringsviljan och därmed möjligheterna att lokalisera bränslemagasinen med bra skydd.

- [1] Bowes, P.C.; "Self-heating: Evaluation and Controlling the Hazard", Elsevier Sci Publ., Amsterdam 1984
- [2] Drysdale, D.; "An Introduction to Fire Dynamics", John Wiley and Sons, 1985
- [3] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA 1988
- [4] Thomas Thörnqvist Bränder i stackar med sönderdelat träbränsle SLU Uppsala, Inst f. Virkeslära Uppsats nr 163
- [5] Fire Protection Handbook 7th ed, NFPA Massachusetts
- [6] Eckhoff, Rolf K. 1994, Dammexplosioner, Svenska Brandförsvares Föreningen, Stockholm
- [7] Göran Holmstedt, Docent vid Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet
- [8] Arbetsgruppens medlemmar:
- | | |
|--------------------|---------------------------|
| Ulf Johansson | Helsingborgs Brandförsvär |
| Mats Rosander | - ” - |
| Göran Hammarskjöld | Helsingborgs Hamn AB |
| Rolf Svensson | - ” - |
| Berne Bengtsson | Kemira Kemi AB |
| Göran Wennlid | - ” - |
| Göran Holmstedt | Lunds Universitet |
- [9] Anläggningar som besökts:
- | | |
|----------------------------|---|
| Mönsterås Bruk | Tillverkning och lagring av barkpellets |
| Stockholm Energi, Hässelby | Lagring och förbränning av träpellets |
| Uppsala Energi | Lagring och förbränning av torv |
| BioNord, Härnösand | Tillverkning och lagring av träpellets |

BILAGA 1

Släckmetoder

Allmänt

Den nu kända släckerfarenheten av glödbränder härrör sig från flis- och torvbränder, kompletterat med småskaliga bränder i trossbottnar och spånsilos m.m.

Övertäckning

Övertäckning i syfte att minska syretillförseln är gjord i några fall. Samtliga lyckade insatser har genomförts i slutna utrymmen som spannmålssilos o dyl.

Insatsen har inneburit att man fyllt ett rum av mycket tät och väldefinierad geometri med kolsyra. Efter dagar har man tömt silon den normala vägen och funnit materialet (nästan) släckt. Man kan inte dra direkta paralleller med pelletslagringen, eftersom materialet är mera poröst, har högre värmevärde och omges av en för kolsyreinsatser otät lokal.

Övertäckning med andra släckmedel eller membran har inte fungerat. Stacken innehåller tillräckligt med syre för att underhålla glödbbrand i veckor.

Ytinsatser

Påföring av vatten från ytan i hopp om att det skall tränga ned och släcka glödbbranden har inte fungerat.

Om man tillsätter vätmedel kan man teoretiskt få den penetration som behövs. När vattnet närmar sig glödbbranden passerar det ned igenom allt varmare material. I den zon där materialet är $> 100\text{ °C}$ förångas släckvattnet. Vid förångningen bildas ett övertryck och en uppåtriktad transport av vattenånga ovanför glödbbranden som effektivt förhindrar nytt släckmedel från att tränga fram.

Penetration via strålrörsspett

Ett sätt att penetrera förångningszonen mekaniskt är att sticka in ett strålrörsspett för att ge vatten direkt in i glödbbranden.

Tekniken är inte ovanlig vid småskaliga bränder och har använts för släckning i kollager. Brandförsvaren förfogar idag över dimspikar och strålrörsspett om upp till 1 m längd. Under den tid vi beredskapslagrade stenkol fanns lansar på 4 - 5 m längd. Det finns få lyckade insatser att hänvisa till. Framst beror detta på att insatserna hamnar under begreppet "blind släckning". För att man skall få släckverkan måste man penetrera glödbbranden utan att veta exakt var i högen den finns. Glödbbrandens bas måste penetreras först. Den genererade vattenångan kommer inte automatiskt att släcka glödbränder i kanalerna som leder till det fria. Alla delar av glödbbranden måste släckas var för sig.

I det givna scenariot är avståndet från ytan till högens mitt ca 15 - 20 m. Det krävs en nyutvecklad teknik för att skjuta in ett strålrörsspett så långt med bibehållen precision. Samtidigt kvarstår mycket stora frågetecken kring effekten, eftersom glödbrandens belägenhet inte kan lokaliseras.

Andra släckmedel

Vatten har oöverträffade fysikaliska egenskaper, t ex ångbildningsvärme, för släckning av glödbrand. Inga andra släckmedel har bättre effekt.

Skydd av omgivningen - allmänt

Om en glödbrand utvecklas i lagret kommer takkonstruktionen relativt snabbt (inom timmar) att förstöras och skapa mycket stor brandventilationsarea. Detta lämnar fältet fritt för att branden värmestråla mot omgivningen. Inledningsvis kommer flammor att uppstå som uppskattas ge värmestrålning enligt ovanstående beräkningar under dygn, varefter de övergår i en glödbrand som har en lägre värmestrålning under veckor. Eftersläckning och slutlig släckning uppskattas pågå i månader.

Ytbränder

Ytbränder på pelletshögen kan förekomma till följd av att glödande pellets lastas in i lagret till följd av varmgång i transportsystemet, sabotage eller dammexplosion. Om brandförloppet går till övertändning kommer det övre heta rökgaslagret att värmestråla ned mot stacken och orsaka partiell och slutligen total ytbrand.

Släckning

Begränsade ytbränder orsakade av inlastad glöd eller dylikt kan släckas genom vattentillförsel utifrån. Släckeffekten kan förstärkas genom att ytspänningsnedsättande medel tillsätts. Det finns öppningar för fordonsmonterad vatten/skumkanon så att hela upplagsytan kan nås. Skumkanonen kastar ca 40 m vid 37 ° elevation. Manuella skumrör kastar 15 - 20 m vid samma elevation. Båda typerna av skumrör kan kasta från marken till pelletshögens topp.

En glödbrand om 300 m² kräver samtidig insats av skumkanon och manuella skumrör. Sannolikt förstörs (blöts) materialet till 2 m djup under en yta om 500 m². Cirka 1000 - 2000 m³ kommer att behöva transporteras till deponi inom 24 tim för att undvika självantändning i fuktigt material.

BILAGA 2

Detektering av glödbbrand

Allmänt

Ett system för att detektera glödbbrand i ett tidigt bör anordnas. Med tidigt skede definieras i detta sammanhang larm så snart förbränning, dvs oxidation med luftens syre, inträder. Förbränningen kan ske djupt inne i högen och vara täckt av svalt material.

Systemet kan vara en fast anläggning eller en väl dokumenterad manuell mätrutin. Vid samråd har önskemål om ett automatiskt övervakande system framförts. Det finns ingen känd accepterad och tillämpad teknik i dagens svenska pelletsmagasin. En grov översikt strukturerar argumenten såhär:

- Värmedetektor: För sen utlösning för att motivera installationen även med differentialvärmedetektorer.
- Rökdetektor: Kommer att utlösas av damm i samband med lastning och lossning m fl aktiviteter. Dammet smutsar ned detektorerna.
- Linjedetektor: Utlöser för rök med viss optisk densitet vilket kräver utvecklad glödbbrand. För sen utlösning för att motivera installationen.
- Luftanalytdetektor: Kommer att sättas igen av damm om en filtermetod inte kan utvecklas.
- Flamdetektor: När brand med öppen låga sker är detektion för sent.
- Infraröd detektor: Detektorn indikerar snabbt glöd, men bara på ytan av stacken. Om ytan är sval men har en djupt liggande glödbbrand detekteras den inte.

Här finns tre intressanta, men hittills ej prövade, vägar att anordna detektorsystem för stacken: Luftanalyssystem typ Telelarms HART eller motsvarande alternativt intelligent självjusterande detektor typ Cerberus Algorex, Securitas AutoSense 100 eller egenutvecklade system kompletterat med manuell övervakning.

Luftanalyssystem

Detektorn suger till sig prover av luften via tunna plaströr och analyserar den med hjälp av laser. Systemet kan identifiera kolväten på molekylnivå. Möjligen kan man förse anläggningen med dammfilter och koppla bort den när lastning/lossning pågår och undvika nedsmutsning och fellarm. Tillverkaren bör uppmanas att offerera en teknisk lösning.

Självjusterande detektorer

Cerberus och Securitas marknadsför ett system med självjusterande detektorer som höjer störningsnivån efter behov. Centralapparaten är datorbestyckad och varje detektor ger besked om vad som är att betrakta som störning, t.ex. damm, och vad som bör utlösa larm. Störnivån kan följa miljön i det övervakade rummet. Tillverkaren bör offerera en teknisk

lösning som sorterar bort störningar i form av damm, men som larmar för tunnrök och förhöjd CO-halt.

Egenutvecklade system

Glödbränder innebär att förbränning har startat och det innebär i sin tur att rökgaser bildas. Sannolikt är det bästa spårämnet förhöjd CO-halt i rummet. Det bör gå att utveckla ett system som larmar driftspersonalen vid förhöjd CO-halt, men som samtidigt är okänsligt eller kan skyddas mot damm. Larmanläggningen behöver inte vara eller kallas brandlarm, det viktiga är att den indikerar att förbränning kommit igång.

Manuell övervakning

Om det finns misstanke att stacken har för hög temperatur eller att förbränning startat bör man kunna mäta temperatur i mitten av stacken. Mätresultatet skall användas till att fatta beslut om stacken skall ventileras genom omlastning eller om släckinsatser skall inledas.

På vissa anläggningar litar man till näsan, stacken luktar på ett speciellt sätt när den blir så varm att åtgärder behöver vidtas.

Detektering av intransporterad glöd

Transportapparaten måste förses med ett system som förhindrar inlastning av glöd till följd av t.ex. varmgång i transportband. Om en glöd lastas in i magasinsbyggnaden blir den snabbt övertäckt av inlastade pellets. Syretillgången är fullt tillräcklig varsomhelst i stacken för att försörja och utveckla en glödbrand, därför måste stacken skyddas mot denna risk.

Det finns utvecklade system som kan detektera glödbrand i materialet på ett transportband, ett känt detektorsystem är FIREFLY. Frågan är vad larm från detektorn skall innebära för åtgärd.

Detektorn skall placeras så nära transportsystemets slut som möjligt. Även transportbandets sista lager kan få varmgång. Ett annat kriterium är att magasinet skall skyddas från att få in glöd. Detektorn skall därför placeras utanför magasinet så att bandet kan stannas innan glöden når in i byggnaden. Även bandet kan skadas av glödbranden när det stoppas. En annan åtgärd är att bandet går kontinuerligt och detektorn utlöser en omdirigering av flödet via störtlucka, spjäll eller dyl. Om sprinkler inte utlöses bör bandet förses med lejdare och stigarledning för brandförsvarets manuella insatser.

BILAGA 3

Erfarenheter från dammexplosioner

Tabellerna är hämtade från ref. [6].

Dammtyp	Explosion		Dödsfall			Personskador		
	Ant.	[%]	Ant.	[%]	per explosion	Ant.	[%]	per explosion
Trä och bark	162	14,5	38	5,6	0,23	160	9,0	0,99
Livsmedel	577	51,4	409	60,5	0,71	1061	60,0	1,84
Metaller	80	7,1	108	16,0	1,35	198	11,2	2,48
Plaster	61	5,4	44	6,5	0,72	121	6,8	1,98
Kol (ej gruvor)	63	5,6	30	4,4	0,48	37	2,1	0,59
Papper	9	0,8	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
Övrigt	171	15,2	47	7,0	0,27	193	10,9	1,13
Totalt	1123	100,0	676	100,0		1770	100,0	

Tabell 1: Dammexplosioner i USA 1900 - 1956 i ett urval av 1123 oavsiktliga explosioner.

Dammtyp	Explosioner		Dödsfall			Personskador		
	Ant.	[%]	Ant.	[%]	per explosion	Ant.	[%]	per explosion
Trä och bark	113	31,6	12	11,7	0,11	124	25	1,10
Livsmedel och foder	88	24,7	38	36,8	0,43	127	26	1,44
Metaller	47	13,2	18	17,5	0,38	91	18,5	1,94
Plaster	46	12,9	18	17,5	0,39	98	20	2,13
Kol / torv	33	9,2	7	6,8	0,21	39	8	1,18
Papper	7	2,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0
Övrigt	23	6,4	10	9,7	0,43	13	2,5	0,56
Totalt	357	100,0	103	100,0			100,0	

Tabell 2: Dammexplosioner i f.d. Västtyskland 1965-1980 i ett urval av 357 explosioner.

Typ av tändkälla	Totalt av 426 explosioner							
	Ant	% av totalt antal	% förändring 80/85	Trä/ trävaror	Kol/ torv	Livs- medel, foder	Plaster	Metaller
Mekaniska gnistor	112	26,2	-2,8	26,6	5,1	22,8	21,2	56,1
Glödhärdar	48	11,3	+1,5	19,5	20,5	5,7	9,6	0
Mekanisk uppvärmning, friktion	38	9,0	0	9,4	5,1	12,4	9,6	3,5
Elektrostatiska urladdningar	37	8,7	0	2,3	0	6,7	34,6	5,3
Eld	33	7,8	-0,6	14,8	12,8	4,8	2	2
Spontan antändning	21	4,9	+0,4	3,1	15,4	6,7	2	3,5
Heta ytor	21	4,9	-0,4	5,5	10,3	2,8	3,9	3,5
Svetsning skärning	21	4,9	+0,4	2,3	2,6	12,4	2	2
Elektriska maskiner	12	2,8	-0,3	0	2,6	5,7	2	0
Okänt, ej rapporterat	68	16,0	+1,7	16,5*	25,6*	20,0*	13,1*	24,1*
Övriga	15	3,5	+0,1					
Totalt	426	100,0	0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

* I denna siffra ingår även övriga.

Tabell 3: Dammexplosioner i f.d. Västtyskland; frekvens i procent av olika tändkällors utlösning i totalt 426 explosioner.