

Faror och hälsorisker vid
förvaring och transport av
träpellets, träflis och timmer
i slutna utrymmen

Kunskapsöversikt

Rapport 2011:2

Kunskapsöversikt

Faror och hälsorisker vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen.

Urban Svedberg, Anders Knutsson
Arbets- och miljömedicinska kliniken, Sundsvalls Sjukhus

Mars 2011

Rapport 2011:2

Förord

Arbetsmiljöverket har fått i uppdrag av regeringen att informera och sprida kunskap om områden av betydelse för arbetsmiljön. Under kommande år publiceras därför ett flertal kunskapsöversikter där välrenommerade forskare sammanfattat kunskapsläget inom ett antal teman. Manuskripten har granskats av externa bedömare och behandlats vid seminarier på respektive lärosäte.

Rapporterna finns kostnadsfritt tillgängliga på Arbetsmiljöverkets webbplats. Där finns även material från de seminarier som Arbetsmiljöverket har arrangerat i samband med rapporternas publicering.

Den arbetsgrupp vid Arbetsmiljöverket som har initierat och organiserat framtagandet av översikterna har letts av professor Jan Ottosson. Vi vill även tacka övriga kollegor vid Arbetsmiljöverket som varit behjälpliga i arbetet med rapporterna.

De åsikter som uttrycks i denna rapport är författarens egna och speglar inte nödvändigtvis Arbetsmiljöverkets uppfattning.

Jan Ottosson

Inledning

Att träpellets, träflis och timmer har sitt ursprung ur naturliga råvaror har säkert bidragit till att vaksamheten för de faror som finns förknippat med dessa tillsynes ofarliga produkter inte fått den uppmärksamhet som är befogat. Riskerna finns dokumenterade i vetenskapliga studier och i samband med olyckor även uppmärksammade i massmedia och fackliga tidskrifter och via riktade seminarier och föredrag till berörda grupper och branschorganisationer. Trots detta fortsätter allvarliga olyckor att inträffa.

Den sammantagna bilden av förvaring och transport av träpellets, flis och timmer i slutna utrymmen är förvånansvärt komplex. Syftet med denna rapport är att ge en beskrivning av de väsentligaste riskerna, hur de uppstår och hur de kan undvikas. Fokus ligger på riskerna med gasformiga emissioner av främst kolmonoxid och syrebrist, då dessa varit orsaken till de allvarligaste olyckorna. Övriga risker med damning och brandrisker behandlas endast översiktligt.

Denna rapport är sammanställd på uppdrag av Arbetsmiljöverket. Vår förhoppning är att rapporten ska vara av värde för pelletsbranschens aktörer, konsumenter av biobränslen, de som hanterar och transporterar skogsprodukter samt arbetsmiljöansvariga, skyddsombud, myndighetspersoner och andra som kan komma i kontakt med dessa frågeställningar i sin yrkesutövning.

Urban Svedberg

Yrkeshygieniker
Arbets- och miljömedicinska kliniken
Sundvalls Sjukhus

Anders Knutsson

Professor/överläkare
Arbets- och miljömedicinska kliniken
Sundvalls Sjukhus

Innehåll

Sammanfattning.....	5
Olyckan på M/S Saga Spray.....	7
Många olyckor i slutna utrymmen.....	10
Trädbränsle i Sverige.....	12
Tillverkning av träpellets.....	13
Arbetsmiljörisker.....	14
Yrkeshygieniska gränsvärden.....	14
Gaser och syrebrist.....	15
Mätningar i planlager med pellets.....	15
Mätningar på fartyg med pellets.....	18
Mätningar i mindre pelletsförråd.....	18
Uppkomst och hälsorisker av kolmonoxid, CO.....	19
Uppkomst och hälsorisker av koldioxid, CO ₂	23
Hälsorisker - syrgasbrist.....	24
Uppkomst och hälsorisker av aldehyder.....	24
Träpellets - damm.....	25
Träpellets - mikroorganismer.....	26
Lagring av träpellets.....	27
Planlager.....	27
Storsilos.....	28
Små pelletsförråd för villor.....	29
Mellanstora pelletsförråd.....	31
Lastrum med pellets på fartyg.....	32
Brandrisker i pelletslager.....	33
Lagring av träflis och timmer.....	37
Mätningar i lastrum på fartyg med träflis och timmer.....	37
Förslag till förebyggande åtgärder.....	39
Arbetsmiljöverkets föreskrifter.....	42
Branschorganisationer - pellets.....	43
Referenser.....	44

Sammanfattning

Riskerna vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen har inte fått den uppmärksamhet som är befogat. Tretton personer har sedan 2002 omkommit i olyckor kopplat till sådan verksamhet. De flesta olyckor har inträffat i trapphus bredvid lastrummen ombord på fartyg, men fem personer har omkommit när de gått in i förråd på land. Vid de två senaste olyckorna, i november 2010, dog en person i ett mindre villaförråd i Irland och i februari 2011, dog en gravid kvinna i ett förråd i Schweiz.

Vid förvaring i slutna utrymmen förbrukas syret och de giftiga gaserna kolmonoxid och koldioxid bildas och ackumuleras till farliga koncentrationer. I pelletsförråd är det kolmonoxid (CO) som utgör den största faran. Vid förvaring av träflis och timmer är det syrebrist i kombination med förhöjda halter koldioxid (CO₂) som utgör största risken. Kolmonoxid bildas genom ofullständig oxidation av träets beståndsdelar. Irriterande aldehyder, främst hexanal, bildas i färsk pellets genom oxidation av fettsyror och kan utgöra ett arbetsmiljöproblem i planlager.

Damning är ett vanligt problem vid mekanisk hantering av träpellets och hög frekvens av gränsvärdesöverskridanden har rapporterats vid pelletstillverkning. Dammet irriterar luftvägar och ögon men kan även ge hudproblem från hartssyror. Andningsskydd med partikelfilter och heltäckande kläder kan användas för att skydda sig mot dammet.

För att fastställa om fara föreligger är mätning av kolmonoxid och syrgas ofrånkomligt. I mindre förråd görs mätning innan man går in i förrådet och vid vistelse i planlager bör personliga CO-mätare bäras hela tiden. I större planlager för pellets kan det vara motiverat att installera fasta mätare för kolmonoxid. Varken syrebrist, CO eller CO₂ har några varningsegenskaper och det räcker inte med vanliga andningsfilter som skydd. Är man tvungen att gå in i ett förråd med farliga nivåer är en tryckluftsmatad andningsutrustning enda lösningen.

Vid CO-förgiftning är snabb behandling med frisk luft, syrgas och eventuellt tryckkammare viktigt. En drabbad person bör följas upp med återkommande medicinska kontroller då det finns risk att sena neuropsykiatriska symptom uppkommer, vanligen inom 1-3 veckor, men det kan ta längre tid.

För att minska riskerna måste alla typer av förråd ventileras väl innan man går in i dessa. Pelletsförråd (förutom storsilos) och planlager bör byggas med självdragsventilation i grunden och med mekanisk ventilation som komplement vid behov.

Alla förråd med risk för höga nivåer av farliga gaser eller syrebrist bör vara försedda med varningsskyltar om riskerna. Ingångsdörrar och luckor bör vara reglade eller låsta så att obehöriga ej medvetet, ovetandes eller genom lek kan ta sig in. Under det att ventilering pågår bör öppna dörrar och luckor vara avspärrade med en mekanisk barriär, t ex ett rep, kedja eller gallergrind med varningsskylt om tillträde förbjudet till dess att utrymmet är bedömt som säkert att beträda.

I små och medelstora förråd bedöms brandrisken genom självantändning vara liten men utgör däremot en reell risk i industriella planlager och stora silos. Vid brand finns även stor risk för sekundär dammexplosion. Förvaring i täta tälthallar medför ökad risk för höga CO halter. Bränder i PVC-hallar kan vara besvärliga på grund av de farliga gaser som utvecklas. Riskerna med självantändning i planlager sammanfaller i regel när nivåerna av kolmonoxid är höga. Det är därför viktigt att det finns genomtänkta rutiner för ett säkert agerande vid varmgång i planlager och silos.

Det förebyggande arbetet omfattar bland annat utbildning, förbättrad ventilation, mätning av farliga gaser, personlig skyddsutrustning och skyltning. Utbildning och regelverk ersätter dock inte tekniska preventiva insatser, varav den bästa är att redan vid ritbordet eliminera riskerna med slutna utrymmen.

Arbetsmiljöverkets rekommendationer för slutna utrymmen AFS 1993:3 är tillämpbara i stort vid förvaring av träpellets, flis och timmer. Förhållandena i planlager kräver dock speciella hänsyn då de per definition inte kan anses vara slutna utrymmen.

Olyckan på M/S Saga Spray

Helsingborg, den 16 november 2006, en lite ruggig morgon och regnet hänger i luften. Efter nattuppehållet har lossningen fortsatt av bulklastfartyget Saga Spray som anlände två dagar tidigare från Canada. Fyra lastrum med träpellets ska lossas, vart och ett med 3 000 ton. Lossningen av lastrum nr 9 påbörjades redan dagen innan. Efter ett kortare regnuppehåll avslutades arbetet klockan nio på kvällen. Den stora lastrumsluckan sattes tillbaka för att skydda den kvarvarande fuktkänsliga pelletsen och luckorna till trapphusen (nedgångstrunken) lades ner på glänt.



Nu på morgonen har man återupptagit lossningen av nians lastrum. Luckorna till trapphusen öppnades helt vid sextiden för att fortsätta vädringen. Lossningen har gått enligt plan och klockan åtta var arbetet nästan avslutat. Nu är det bara den sista spillran pellets kvar i hörnen i lastrummet som inte nås av den jättelika urlastningsskopen. Det behövs en mindre maskin för att skrapa ihop detta. Stuveriets frontlastare står på kajen, en lämplig maskin för detta jobb. Med fyra kraftiga kättingar kopplas den till landkranens skopa som ska lyfta den flera ton tunga maskinen ner i lastrummet. Men först måste en av lastrumsluckorna som delvis täcker lastrummet flyttas något med hjälp av fartygets egen gantrykran.



Nu på morgonen har man återupptagit lossningen av nians lastrum. Luckorna till trapphusen öppnades helt vid sextiden för att fortsätta vädringen. Lossningen har gått enligt plan och klockan åtta var arbetet nästan avslutat. Nu är det bara den sista spillran pellets kvar i hörnen i lastrummet som inte nås av den jättelika urlastningsskopen. Det behövs en mindre maskin för att skrapa ihop detta. Stuveriets frontlastare står på kajen, en lämplig maskin för detta jobb. Med fyra

kraftiga kättingar kopplas den till landkranens skopa som ska lyfta den flera ton tunga maskinen ner i lastrummet. Men först måste en av lastrumsluckorna som delvis täcker lastrummet flyttas något med hjälp av fartygets egen gantrykran.

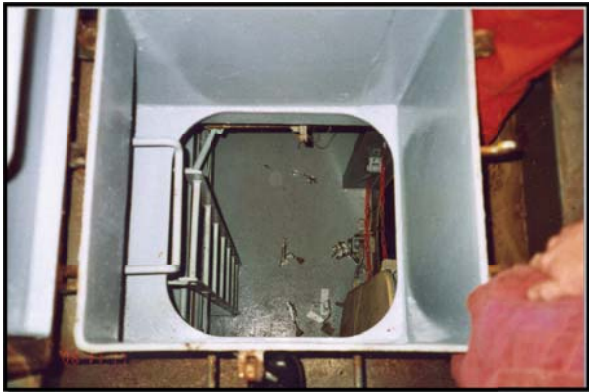
Traktorföraren står vid lastrums-sargen och väntar på klartecken från fartygets besättning att gå ner i lastrummet. Vägen dit går via det 14 meter djupa trapphuset, vägg i vägg med lastrummet. Han har sett hur en av fartygets matrosar gått ner och öppnat den översta dörren in till lastrummet för att släppa in friskluft.

Den fillipinske lättmatrosen märker att det finns risk för regn och vet att lossningen i så fall måste avbrytas. Alla är lite småstressade och stuveri-

personalen väntar på att kunna skicka ner frontlastaren. Det är första tjänstgöringen på detta fartyg och han vill ge ett gott intryck. I våras gick han säkerhetsutbildningen och vet att lastrummen och trapphusen kan vara farliga på grund av syrebrist och farliga gaser. Det är första gången han har sett träpellets, ser inte så farligt ut, tänker han,

nästan hälsosamt, luktar lite skog. Trapphuset ventilerades några timmar redan dagen innan, så det borde räcka snart.

Så kommer äntligen ordern från båtsman. Dags att gå ner och öppna den första översta



lastrumsdörren i trapphuset, men inte längre, då luften inte är kontrollerad ännu. Syrgasmätaren och checklistan ska styrman komma med. Han tar för säkerhets skull ett djupt andetag, håller andan, kränger ner i den smala trapphusöppningen och ner på den lodräta stegen till översta avsatsen. Här finns en dörr som leder ut till själva lastrummet, den är tejpad på insidan med silvertejp för att täta mot dammet från pelletsen. Han river snabbt bort tejpen, öppnar dörren

och tar några välbehövliga andetag i den friska uteluften. Därefter hänger han en kätting över öppningen som fallskydd.

Skulle han vänta här eller skulle han gå upp på däck för att få syrgasmätaren? Han tvekar, styrman syns inte till och stuvorna är ivriga att komma igång med lossningen innan nästa regnskur kommer. Några djupa andetag, iväg nedför trapporna, förbi dörren på andra avsatsen och efter några snabba kliv syns dörren i botten av trapphuset, 14 meter under däck. Här finns ingen silvertejp, låsvreden ställs upp - men dörren går inte att öppna! Den ger vika något men sitter fast som i ett segt klister. Han drar och kämpar men det vill sig inte. Luften i lungorna håller nu på att ta slut och han tar ett reflexmässigt andetag. Det sista den fillipinske lättmatrosen gör i livet är att slå på dörren i ett försök att påkalla uppmärksamhet.

Föraren av traktorn tycker att det drar ut på tiden. Det var ett bra tag sen matrosen gick ner för att öppna dörrarna och den översta är redan öppen – bäst att vara beredd när



traktorn sänks ner. Redan efter några kliv nerför stegen och känner han att det blir svårt att andas, han fortsätter ändå. Nästan nere på botten ser han lättmatrosen ligga till synes livlös, han larmar signalmannen på radion.

Signalmannen som ska dirigera ner frontlastaren börjar ana oråd. Både lättmatrosen och traktorföraren är borta och den nedersta dörren i lastrummet är fortfarande stängd. Ingen syns till i botten på lastrummet, men han tycker sig höra något som slår. Hans radio sprakar till, det är traktorföraren som meddelar att lättmatrosen ramlat. Han skyndar sig fram genom det trånga utrymmet mellan lastrumssargerna på däck, kommer fram till trapphuset och kikar ner. Han ser inte någon och kliver ner. När han nått andra avsatsen hör han

traktorföraren ropa att det finns gas i trunken. Han ropar tillbaks, men får inget svar. Nu ser han att även traktorföraren ramlat omkull. Först nu märker han hur tungt han själv andas, förstår att något är galet. Det är svårt att stå emot ingivelsen att hjälpa de skadade, men han känner de första stickningarna i benen. Med en sista kraftanstängning tar han ta sig upp ur trapphuset och slår larm. I Helsingborg har räddningstjänsten en enhet nära hamnen och inom loppet av några minuter är de på plats.

* * * *

Denna korta *dramatiserade* återberättelse är en *fri tolkning* av händelserna på fartyget Saga Spray i Helsingborg, baserad på Sjöfartsinspektionens utredning (Sjöfartsinspektionen, 2007). Det verkliga händelseförloppet kan vara svårt att fastställa. Skildringen försöker istället ge en inblick i omständigheterna kring en verklig olycka och hur man som inblandad kanske tänker i en pressad situation. I Sjöfartsverkets utredning framkommer det senare att mycket höga halter av den giftiga gasen kolmonoxid (CO) i lastrummet läckt ut till det oventilerade trapphuset. Dörrarna mellan trapphuset och lastrummet hade tejpats för att förhindra att damm skulle tränga in i trapphuset vid lastningen. Den nedersta dörren var tejpade från lastrumssidan och skälet till att matrosen inte kunde öppna den inifrån trapphuset. Fartyget hade rutiner för tillträde till slutna utrymmen. Ett moment som störde rutinen kan ha varit att lastrumsluckan behövde flyttas med båtens egen kran innan traktorn kunde sänkas ner. Traktorföraren överlevde men drabbades efter en vecka av vad man tror är földeffekter av kolmonoxidförgiftning och blev allvarligt invalidiserad. Fem personer från besättningen, stuveriet och räddningspersonalen fick söka sjukhusvård för lättare skador orsakade av kolmonoxid.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap har producerat en informationsfilm på DVD som redogör för risker kring fartygsfrakter av träprodukter. Skildringen tar avstamp i olyckan på Saga Spray med intervjuer av flera inblandade (Ulfsson, 2009).

Många olyckor i slutna utrymmen

Flera olyckor med dödlig utgång har inträffat ombord fartyg med laster av träpellets, träflis eller timmer. På land har olyckor skett i förråd med träpellets. För varje allvarlig olycka kan man misstänka att det finns ett flertal icke rapporterade tillbud. I tabell 1 har vi sammanställt de olyckor i Europa som vi känner till med dödlig utgång sedan 2002.

Tabell 1 Kända dödsolyckor med anslutning till lagring eller transport av träpellets, flis och timmer i Europa 2002-2010.

2002	Rotterdam	En stuveriarbetare dog på fartyget Weaver Arrow. Gick ner i trapphus intill lastrum med pellets. <i>Källa: 1st World Pellet Conference 2002, Stockholm</i>
2005	Gruvön	En matros dog på fartyget Eken. Gick ner i trapphus intill lastrum med massaved. <i>Källa: Transportstyrelsen, Sjöfartsverkets rapportserie B 2006-2.</i>
2006	Helsingborg	En matros dog på fartyget Saga Spray. Gick ner i trapphus intill lastrum med pellets. En stuveriarbetare blev allvarligt skadad, flera i räddningspersonalen fick lättare skador. <i>Källa: Transportstyrelsen, Sjöfartsverkets rapportserie B 2007-1</i>
2006	Skelleftehamn	En matros dog på fartyget Noren. Gick ner i trapphus intill lastrum med träflis. <i>Källa: Svensk Sjöfartstidning nr 1-2007.</i>
2007	Timrå	Två personer, en matros och kaptenen dog på fartyget Fembria. Gick ner i trapphus intill lastrum med timmer. <i>Källa: Sjöfartstidningen juni 2007.</i>
2007	Finland	En person dog. Gick in i mindre pelletsförråd på land, ca 10 ton <i>Källa: Vasa arbetarskyddsdistrikt, Finland</i>
2008	Finland	En person dog. Gick in i mindre pelletsförråd på land, ca 10 ton <i>Källa: Vasa arbetarskyddsdistrikt, Finland</i>
2009	Bornholm	Två besättningsmän dog på fartyget Amirante. Gick ner i trapphus intill lastrum med pellets, lastat dagen före. <i>Källa: Polismyndigheten på Bornholm, Rönne</i>
2010	Tyskland	En person dog. Gick in i landförråd med 150 ton pellets. <i>Källa: Propellets, Österrike</i>
2010	Irland	En person dog. Gick in i villaförråd med 7 ton pellets <i>Källa: Health & Safety Authority, Dublin, Ireland</i>
2011	Schweiz	En gravid kvinna dog. Gick in i landförråd avsett för 100 ton pellets. <i>Källa: Neue Luzerner Zeitung 9 feb 2011</i>

Tretton döda på nio år, finns det fler? En genomgång av olyckor i internationell sjöfart, utförd av Marine Accident Investigators' International Forum (MAIIF) visar på 93 rapporterade dödsfall i slutna utrymmen sedan 1998. Bedömningen är dock att mörkertalet är stort då ett flertal länder inte rapporterat (MAIIF, 2010). Det är svårt att få en samlad bild och i synnerhet kring olyckor på fartyg, då det är varje enskilt flaggningsstat som har det yttersta ansvaret att utreda olyckor oberoende var i världen de sker.

I Sverige ska alla olyckor och tillbud utredas som sker på svenskt territorialvatten, även ombord utländska fartyg. Det är Statens haverikommission som oberoende instans gör dessa utredningar. Haverikommissionen utreder dock endast vissa allvarliga eller principiellt intressanta sjöolyckor. Arbetsmiljöverket har inget tillsyns- eller utredningsansvar ombord ett utländskt flaggat fartyg i svensk hamn om inte svensk landanställd personal är inblandad, men kan ändå vara behjälpliga vid utredningar. Finns ingen misstanke om brott är det inte säkert att det görs en polisutredning. All tillgänglig ursprunglig information samlas dock i Transportstyrelsens sjöfartsavdelnings SOS (SjöOlycksSystemet).

Från och med 17 juni 2011 gäller skärpta krav att flaggstaten inom 12 månader ska utreda och rapportera alla allvarliga olyckor enligt EU Directive 2009/18/EC. Rapporterna ska därefter registreras i FNs Sjöfartsorgan IMOs databas GISIS (Global Integrated Shipping Information Service, <http://gisis.imo.org>). Inom EU ska rapporten registreras i EMCIP (European Marine Casualty Information Platform, www.emsa.europa.eu).

Vissa olyckor, även allvarliga, kanske inte blir ordentligt utredda och ibland kan man få intrycket att en del olyckor aldrig har hänt. Fortfarande är det svårt att få fram information om olyckan på Weaver Arrow i Rotterdam år 2002. Varken den, eller olyckan på Fembria i Timrå 2007 är registrerade i GISIS eller EMCIP. I EMCIP, under rubriken "Occupational accidents" är det endast Saga Spray-olyckan som är registrerad av de olyckor som har skett i Sverige.

För att information och kunskap om risker snabbare ska kunna spridas har ett databassystem INSJÖ utvecklats av Sveriges Redareförening och Transportstyrelsens sjöfartsavdelning i samarbete med berörda fackföreningar. Systemet kan larma rederier och fartyg direkt om speciella risker och farliga situationer och har en sökbar erfarenhetsdatabank (www.insjo.org). Förhoppningen är att systemet ska utökas till ett gemensamt system för de nordiska länderna.

Sex av olyckorna i tabell 1 med sammanlagt åtta döda inträffade ombord på fartyg, medan de övriga med totalt fem döda ägde rum i förråd på land. Olyckorna i landförråd i Finland och den i november 2010 i Irland visar på att faror även finns i mindre förråd. Vid olyckan i Irland kollapsade hustrun och grannen till den omkomne när de försökte rädda honom genom den lilla öppningen i förrådet. Även räddningstjänsten drabbades lindrigt. I dessa tre olyckor har personerna klättrat in i förrådet för att utföra någon slags service. Omständigheterna kring olyckan i Tyskland och den senaste i Schweiz är inte kända i detalj.

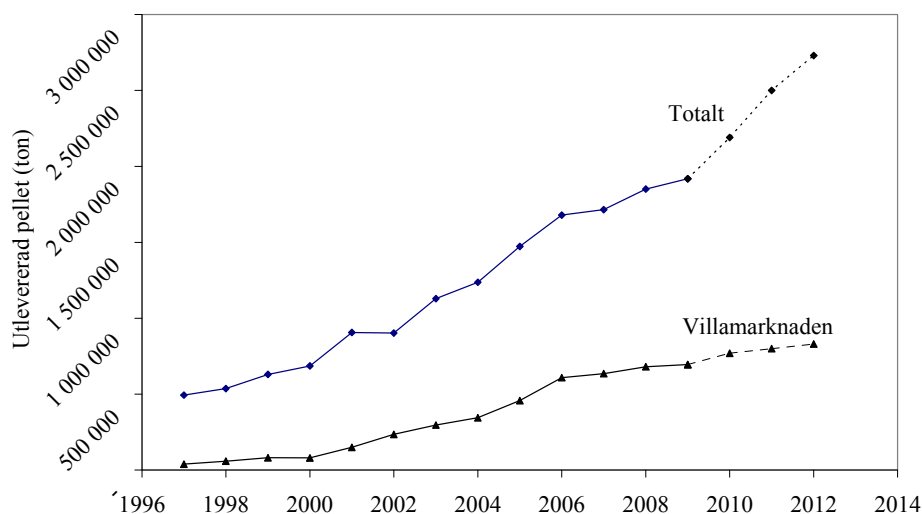
Ofta är det svårt att få fram information med hänvisning till pågående rättsliga processer. Det var först vid olyckan ombord Saga Spray i Helsingborg 2006, som de inblandade agerade föredömligt och tillät en mer öppen granskning av omständigheterna. Detta har medfört att ny kunskap kring riskerna framkommit som förhoppningsvis kan förhindra framtida olyckor. Statistiken i tabell 1 talar dock sitt tydliga språk – informationen har inte nått ut till alla.

Trädbränsle i Sverige

Den totala energimängd som tillfördes det svenska samhället under 2008 var 612 TWh. Biobränslen och torv med mera utgjorde cirka 20 % av totala energimängden. Sågspån, träflis och bark, de dominerande formerna av trädbränslen, utgjorde 24,1 TWh medan förädlad trädbränsle såsom träpellets utgjorde 6,5 TWh. Det mesta används för industriella energibehov och i fjärrvärmeanläggningar (Skogsstyrelsen, 2011).

Sverige är en av världens största producenter av träpellets och konsumerar ca 20 % av den globala produktionen. År 2009 levererades drygt 1.9 miljoner ton pellets till den svenska marknaden (PiR, 2010). Av figur 1 framgår att denna volym nästan är en fyrdubbling jämfört med år 1997. Den prognostiserade volymen för 2012 uppgår till 2,7 miljoner ton. Cirka en 1/3 av leveranserna går till villamarknaden. År 2009 importerades cirka 900 000 m³ träpellets medan 143 000 m³ exporterades.

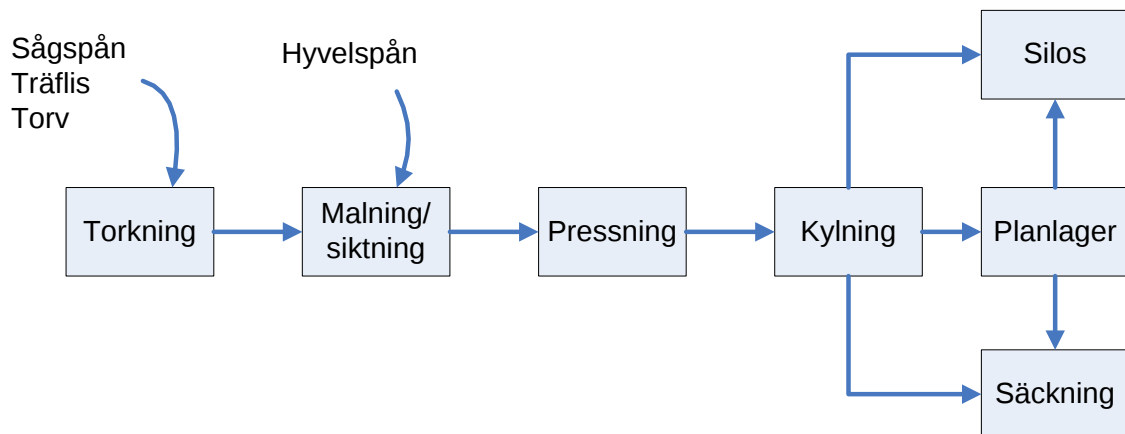
Från 2002 till 2007 steg konsumtionen av träflis bland småhusägare från 571 000 till 975 000 m³. År 2009 importerades 1,5 miljoner m³ träflis medan 325 000 m³ exporterades, det mesta med sjötransport. Timmer är inte i första hand ett trädbränsle men omfattas av den här rapporten då det ur arbetsmiljöperspektiv har liknande egenskaper som träflis. 4,7 miljoner m³ rundtimmer importerades till Sverige år 2009 medan 1,3 miljoner m³ exporterades. Importen bestod till 91 % av massaved. Sammanlagt två miljoner ton rundtimmer gick med sjötransport (Skogsstyrelsen, 2011).



Figur 1. Utleverade mängder pellets från svensk pelletsindustri (PiR, 2010).

Tillverkning av träpellets

Träpellets tillverkas främst av sågspån, träflis och kutterspån - biprodukter från trä- och skogsindustrin. I huvudsak används de mjuka träslag tall och gran som råvara. Vissa pelletskvaliteter kan ha inblandning av bark eller torv. Även ren torvpellets förekommer. En detaljerad beskrivning över pelletstillverkning återfinns i The Pellet Handbook (Obernberger and Thek, 2010). Tillverkningsprocessen skiljer mellan olika fabriker men huvudprincipen är densamma och återspeglas i flödesschemat i figur 2. Råvaran mals och torkas till en fukthalt på ca 8 %. Kutterspån från hyvlerier behöver inte nödvändigtvis genomgå ytterligare torkning.



Figur 2 Förenklat flödesschema över pelletstillverkningen och lagring

Efter torkningen siktar råvaran för att därefter under högt tryck pressas till pellets med 6 eller 8 mm diameter och 25–40 mm längd. Ligninet i träet smälter i processen och ”limmar” ihop pelleten och ger den en hård och glansig yta. Inga tillsatser behövs vid tillverkningen. Torrhalten, andel tillåten finfraktion, energiinnehåll och andra fysikaliska parametrar varierar med kvalitetsklassningen, specificerad i Svensk Standard SS 18 71 20. En ny Europastandard, EN 14961-2, kommer snart att ersätta tidigare nationella standarder (www.cen.eu).

Pelletsen paketeras därefter i smäsäckar på 16–25 kg, i storsäckar på 600–650 kg (1 m³) eller lagras löst i stora planlager eller i silos på fabrikerna, varifrån transport av pellets till kund sker med bulklastbil. Cirka 40 % av den globala produktionen av pellets transporteras kortare eller längre sträckor på lastfartyg (Melin, 2007).

Ett löpande arbete pågår att förbättra produktens olika egenskaper, t ex. genom att tillföra tillsatser, och i framtiden kan sammansättningen av träpellets se annorlunda ut. Det pågår även utveckling av metoder som inbegriper torrefaction, det vill säga upphettning under frånvaro av syrgas, i syfte att öka det specifika energiinnehållet i pelletsen (Obernberger and Thek, 2010).

Arbetsmiljörisker

Trots att träpellets, flis och timmer i sig utgör ofarliga produkter finns risker i samband med transport och lagring som motiverar en fördjupad analys. Riskerna kan grovt indelas i a) gaser, syrebrist, b) damm c) brandrisker. Vi behandlar dessa risker under rubrikerna nedan. Fokus i denna rapport ligger på riskerna med gasformiga emissioner och syrebrist, då dessa varit orsaken till de allvarligaste olyckorna. Riskerna med damm, brand och dammexplosioner behandlas översiktligt men ska inte för den skull underskattas.

Nya produktionsmetoder kan innebära att arbetsmiljöriskerna som de beskrivs i denna rapport i framtiden påverkas både positivt och negativt. Mot bakgrund av de olyckor som förekommit är en fortsatt vaksamhet kring eventuella risker med nya produktions-transport- och lagringsmetoder i hög grad motiverat.

Yrkeshygieniska gränsvärden

Arbetsmiljöverket publicerar kontinuerligt en förteckning över aktuella svenska gränsvärden för högsta tillåtna yrkesmässiga exponering av luftburna kemiska ämnen (Arbetsmiljöverket, 2005). De som har relevans för denna rapport listas nedan i tabell 2. Något gränsvärde för syrgashalt finns inte, däremot anges det i föreskrifterna för slutna utrymmen att den bör vara mellan 20–22% (Arbetarskyddsstyrelsen, 1993).

Tabell 2 Yrkeshygieniska gränsvärden.

Ämnen	NGV	KTV
CO	35 ppm	100 ppm
CO ₂	5 000 ppm (0,5%)	10 000 ppm (1%)
Aceton	600 mg/m ³	1 200 mg/m ³
Metanol	250 mg/m ³	350 mg/m ³
Hexanal	Finns ej	
Pentanal	Finns ej	
Terpener	150 mg/m ³	300 mg/m ³
Trädamm	2 mg/m ³	

NGV yrkeshygieniskt nivågränsvärde (8 timmar)

KTV yrkeshygieniskt rekommenderat korttidsvärde (15 min)

Gaser och syrebrist

Organiska material och produkter kan genomgå naturliga nedbrytningsprocesser som förbrukar syre och avger giftiga gaser. Ull, bomull, trä, papper, latex har således visat sig avge kolmonoxid vid rumstemperatur (Levitt et al., 1995). Studier av pressrester av rapsfrön (canola) visade på snabb bildning av höga halter kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO₂), i slutna kärl upp mot 10 000 ppm CO, och i stora silos i fält upp till 1 000 ppm CO. (Reuss and Pratt, 2000). I fältstudier har halter upp till 1 000 ppm CO uppmätts i förråd med vete, havre, ärtor och ris (Whittle et al., 1994). Den första studien som rapporterar emission av CO och aldehyder från träpellets genomfördes i planlager på pelletsfabriker (Svedberg et al., 2004). I experimentella studier har man därefter visat att emissionen framförallt är temperaturberoende men även att tillgången av syrgas och i viss mån den relativa luftfuktigheten har betydelse (Kuang et al., 2008, Kuang et al., 2009a, Kuang et al., 2009b).

De syreförbrukande egenskaperna delar träpellets med flera andra organiska produkter. Inom sjöfarten är syreförbrukande laster uppmärksammade. International Maritime Organisation (IMO) publicerar riktlinjer vid bulktransport för ett 20-tal olika syreförbrukande produkter i den så kallade BC-koden (Code of safe practice for solid bulk cargoes) (IMO, 2005). Av listade träprodukter återfinns träpellets, träflis och sågspån. En nyligen publicerad studie visar att även timmerstockar medför snabb syreförbrukning när de lagras i slutna lastrum (Svedberg et al., 2009). Med anledning av detta kommer BC-koden att revideras. I ett appendix till BC-koden finns en rekommendation med riktlinjer för tillträde till slutna utrymmen. Även denna rekommendation kommer att stramas upp efter den senaste tidens olyckor. Trots att sjöfarten är den bransch där detaljerade anvisningar existerar, är det just inom denna bransch de flesta olyckorna inträffat.

Monoterpener, såsom alfa- och betapinen, limonen och 3-karen förekommer naturligt i alla trädslag och ger trä dess karaktäristiska doft. I högre koncentrationer orsakar de flyktiga terpenerna luftvägsbesvär, irritation i ögon och slemhinnor och kan orsaka allergiskt och icke allergiskt kontakteksem vid hudkontakt (Eriksson et al., 1996) (Eriksson et al., 1997). De halter av monoterpener som uppmätts i pelletslager är dock låga. I en studie där 49 stationära mätningar av terpener gjordes i olika delar av pelletproduktionen erhöles ett medelvärde på 11 mg/m³, det högsta värdet var halva nivågränsvärdet (Edman et al., 2003). Vi gör bedömningen att terpener i huvudsak avgår i torksteget vid pelletsproduktionen. Någon fördjupad beskrivning av riskerna med terpener görs inte i denna rapport.

Mätningar i planlager med pellets

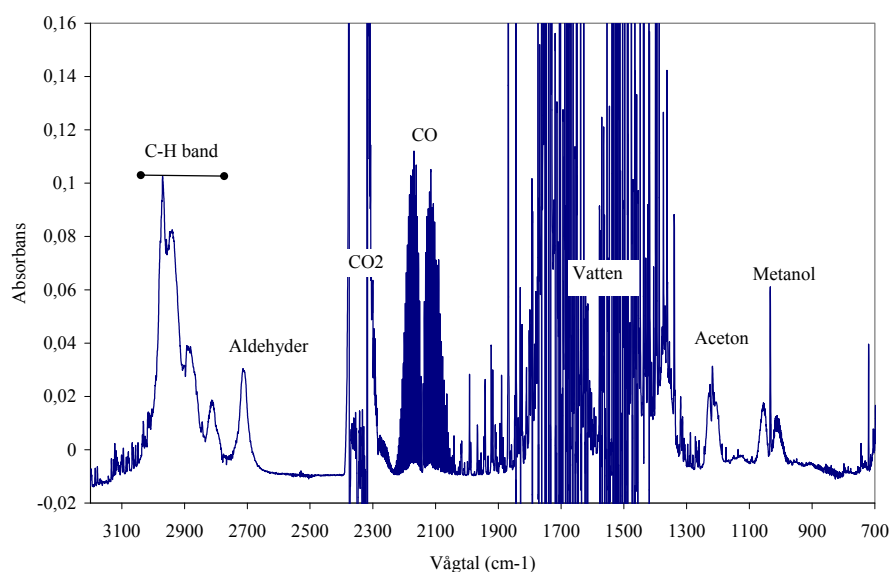
Emissionerna av CO och aldehyder i ett planlager är starkt kopplade till temperaturen i pelletsstacken. Det finns normalt en vertikal koncentrationsgradient då värmen från stacken för gaserna uppåt. Det är viktigt att beakta detta vid miljömätningar i planlager.



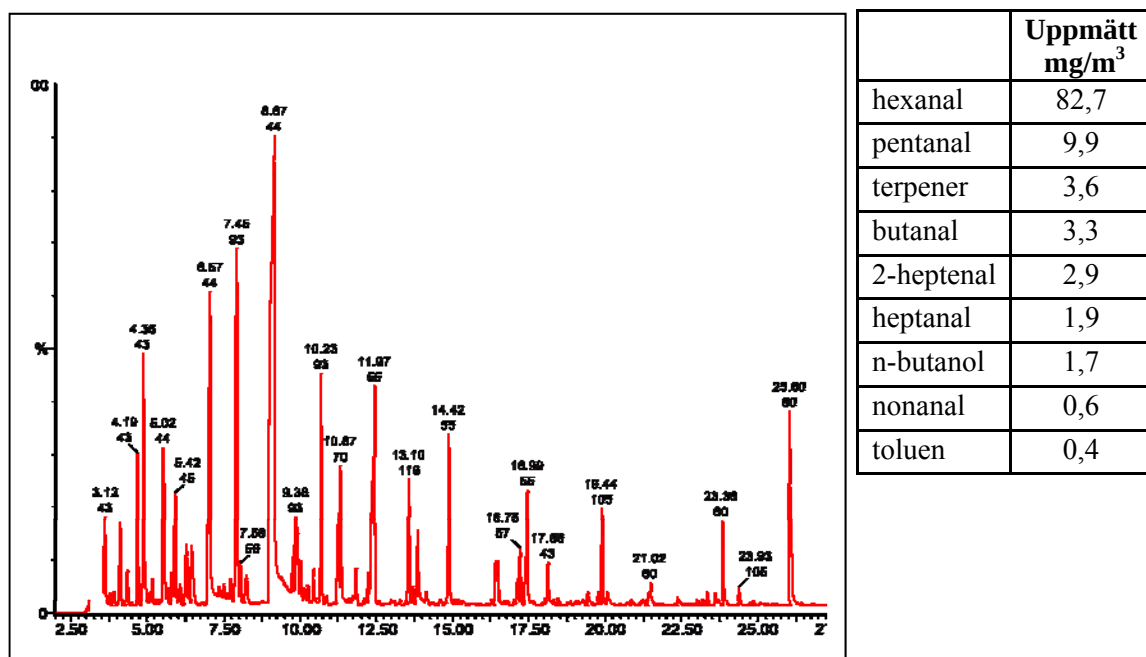
Bild 1 Servicebrygga ovan pelletstack i planlager.

I ett försök att beskriva halterna i de mest utsatta positionerna i ett pelletslager utfördes en septemberdag en kontinuerlig mätning under 18 timmar på servicebryggan ovan pelletsstacken visad i bild 1. Mätmetoden, baserad på FTIR-teknik (Fourier Transform Infrared) registrerar ett sammansatt infrarött spektrum av förekommande gaser. Temperaturen i pelletsstacken var 88 °C på ett djup av 0.2 m från toppen, 67 °C på 1,5 meters djup och 54 °C på 2 meters djup. Uppmätta halter: kolmonoxid 48 ± 3 ppm (medelvärde $\pm$ standardavvikelsen), aldehyder 111 ± 32 mg/m³, aceton 83 ± 24 mg/m³ och metanol 18 ± 7 mg/m³ (Svedberg et al., 2004). Ett representativt FTIR-spektrum från denna mätning presenteras i figur 3. Vid mättillfället kontrollerades även den vertikala gradienten som uppvisade 6 ppm CO vid foten av pelletstacken och 46 ppm på servicebryggan, provtagit inom loppet av några minuter (opublicerade data).

Ett adsorbentprov insamlat på Tenaxrör parallellt med FTIR-provet i figur 3, och analyserat med GC-MS, ger en detaljerad bild av förekommande ämnen enligt figur 4. Analysen visar att aldehyderna domineras av hexanal och pentanal. Tenaxprovet missar dock ämnen med låg molekylvikt såsom CO och metanol.



Figur 3 FTIR-spektrum av luften i planlager med pellets. Spektrumet ger en ögonblicksbild av ämnen i gasfas. Genom att samla flera spektra efter varandra går det att följa hur koncentrationerna varierar för varje enskilt ämne över tid.



Figur 4 Luftprov i pelletslager (Tenax, GC-MS), insamlat parallellt med FTIR provet i figur 3.

Ämnen och ämnesgrupper med respektive retentionstid: kolväte 4.19, aceton 4.36, butanal 5.02, isopropanol 5.42, pentanal 6.57, a-pinen 7.45, n-hexanal 8.67, b-pinen 9.38, karen 10.23, heptanal 10.87, kolväte (?) 11.97, methyl-isopropylbensen 13.10, oktanal 13.25, 2-heptenal 14.42, nonanal 16.00, 2-oktenal 16.99, bensaldehyd 19.44, en syra 21.02, pentansyra 23.38, hexansyra 25.60.

Mätningar på fartyg med pellets

Luften i lastrum och trapphus undersöktes i Helsingborgs hamn på fem fartyg lastade med pellets som transporterats 7–9 veckor från Canada. Resultatet visade på mycket höga halter av kolmonoxid, mellan 1 500–15 000 ppm, kraftigt sänkta syrgashalter, som minst 0,8 % och måttligt förhöjda koldioxidhalter mellan 0,3–2,1 % (Svedberg et al., 2008). Studien initierades med anledning av olyckan på M/S Saga Spray som skildras i inledningen och är den första som beskriver dessa risker i slutna utrymmen. Olyckan på fartyget Amirante utanför Bornholm visar att en dödlig atmosfär med kolmonoxid kan bildas knappt ett dygn efter att lastning av träpellets skett.

Mätningar i mindre pelletsförråd

Det saknas väsentligen publicerade studier av gaser i små och mellanstora pelletsförråd. I ett österrikiskt forskningsprojekt har CO-halterna i 15 mindre förråd med mellan 3 och 20 ton pellets (medelstorlek 7 ton) undersökts. Tio av förråden var försedda med ventilerade lock över påfyllnings- och avluftningsrören och fem var försedda med täta lock. Den maximala CO-halterna uppnåddes efter 1-3 dagar efter leverans av pellets, med medelhalt av 150 ppm CO, (0–507 ppm). Vid avslutad mätning efter 7–10 dagar uppmättes en medelhalt av 160 ppm (20–285 ppm) i förråden med täta lock och knappt 30 ppm (0–140 ppm) i förråd med ventilerade lock (personlig kommunikation; Christian Rakos, proPellets, Österrike).

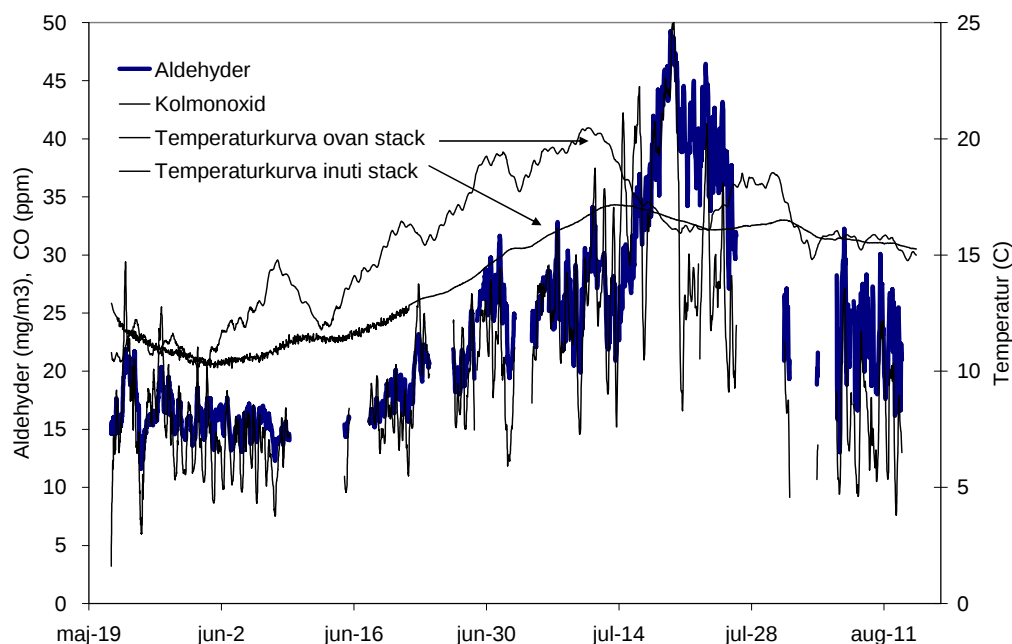
Under 2010 har vi i en mycket begränsad pilotstudie undersökt i enstaka mätningar sex mindre villaförråd av olika typ avsedda för bulklastning. I två av villaförråden registrerades 44 respektive 46 ppm CO, i övriga noterades inga förhöjda halter. Mätningarna gjordes när pelletsnivån sjunkit mot slutet av eldningssäsongen. Vi undersökte även fyra mellanstora förråd i lite större fastigheter vid olika tillfällen över året, tabell 3. Fyllnadsgraden varierade från nästan tomma till helt fulla förråd. Resultatet visade att i de flesta fall låg CO-halterna betydligt under korttidsgränsvärdet (KTV) på 100 ppm. Vid tre tillfällen tangerade eller överskreds dock KTV. Slutsatsen är att betydligt mer mätdata krävs för att med god säkerhet bedöma sannolikheten för livsfarliga halter av kolmonoxid.

Tabell 3 CO-halter i fyra olika mellanstora förråd.

Förråd id	Medelhalt ppm	Intervall ppm	Antal prover
1	7	0-14	2
2	0		1
3	20	0-64	4
4 Silo 1	72	0-164	5
4 Silo 2	54	0-164	5
Medel	29	0-164	17

De faktorer som påverkar halterna i ett förråd är främst ventilationen i förrådet och temperaturen i pelletsstacken. I en tidigare studie undersöktes under tre månader halterna av CO och aldehyder samt temperatur i luften och i stacken i ett villaförråd med fem ton pellets (Svedberg et al., 2004). Förrådet var ett slutet bulkförråd men

naturligt ventilerat genom påfyllnings- och avluftningsrören. Under hela försöket mättes temperaturen i mitten av pelletsstacken och i luften ovanför. Den 21 maj levererades fem ton nyproducerad pellets. Under mätperioden fram till 12 augusti låg pelletsstacken orörd då endast försumbar pelletsförbrukning förekom. Resultatet visade att halterna av CO och aldehyder nådde de högsta halterna cirka två månader efter leverans, figur 5. Temperaturen i pelletsstacken var högst veckan dessförinnan, dock måttliga 17 °C, vilket är betydligt mindre än de 90 °C som noterats i industriella planlager. Resultatet visar att toppemissionerna kan vara förskjutna i tid på grund av låga initiala temperaturer. Pellets som producerats under den kalla årstiden och förvarats i kalla planlager kan därmed avge CO och aldehyder i större mängd först vid leverans till ett förråd som står varmare. Luftomsättningen bestämdes med spårgas vid tio tillfällen under provtagningsperioden. Den genomsnittliga luftomsättningen var 0.14 ± 0.09 omsättningar per timme. Teoretiskt är inte förrådets storlek avgörande om farliga nivåer bildas eller inte, utan den helt avgörande faktorn är ventilationen.



Figur 5 Långtidsmätning av CO och aldehyder samt temperatur i villaförråd med 5 ton pellets (Svedberg et al., 2004).

Uppkomst och hälsorisker av kolmonoxid, CO

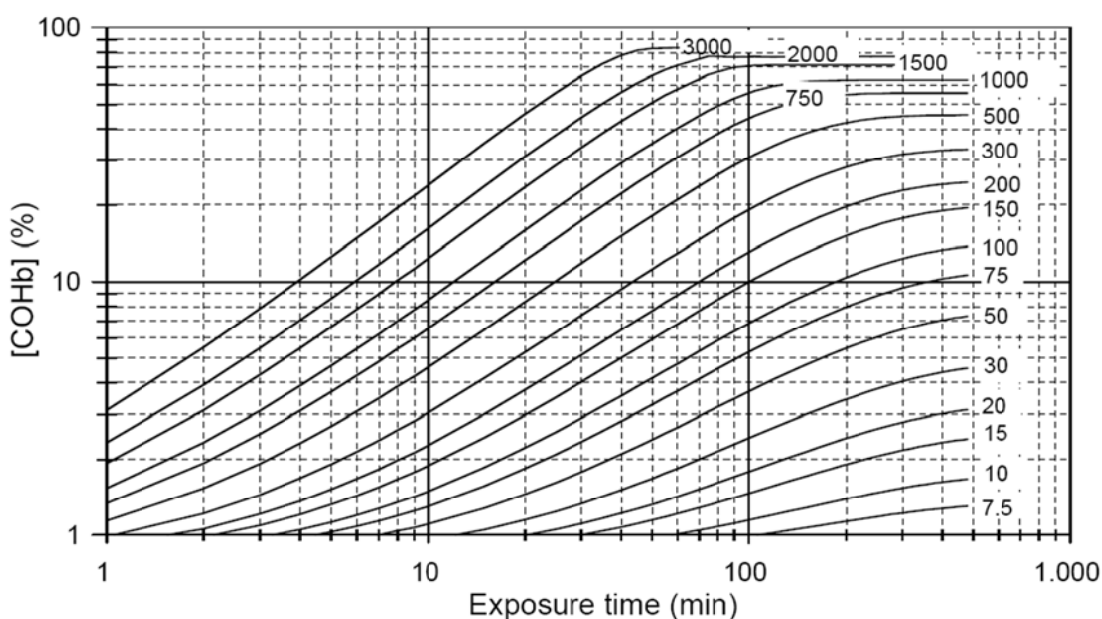
Kolmonoxid (koloxid, kolos, gengas) består av en kolatom och en syreatom och har den kemiska formeln CO. Den är en giftig, färg- och luktlös gas som i utspädd är något lättare än luft (Windholz, 1983). I den stillastående luften i ett slutet utrymme förekommer dock ingen skiktning utan CO är genom diffusion jämt fördelat i det tillgängliga utrymmet. Den gradient som uppstår i ett planlager beror på en ventilationseffekt och inte en densitetsskillnad. Kolmonoxid bildas vid ofullständig

förbränning (ofullständig oxidation) av kolhaltiga material, till exempel i förbränningsmotorer, gengasaggregat, vedspisar, kaminer och öppna eldar, där ett underskott av syrgas eller andra faktorer inte tillåter fullständig oxidation till koldioxid (CO_2). I starkt trafikerade miljöer har upp till 50 ppm rapporterats medan användning av gasspis, fotogenkök, eldning i vedspisar och kaminer kan ge bakgrundshalter upp mot 35 ppm. (NAC/AEGL, 2008).

Även den CO som bildas vid lagring av träpellets har sitt ursprung i en ofullständig oxidationsprocess, dock utan att vara orsakad av brand. Mekanismerna hur CO bildas i träprodukter i temperaturintervallet upp till 100°C är inte klarlagda och några referenser i litteratur har vi inte funnit. I experimentella studier har man visat att bildningen av CO från pellets främjas av ökad temperatur, slutnivån blir högre och nås snabbare (Kuang et al., 2008).

Hälsorisker – kolmonoxid

Kolmonoxid binder till blodets röda blodkroppar (hemoglobinet) och bildar komplexet carboxyhemoglobin (COHb). Kolmonoxid binder in till samma position som luftens syre men drygt 200 gånger starkare och hindrar därmed den normala transporten av syrgas från lungorna till kroppens vävnader. Det är framförallt syrekrävande organ som hjärta och hjärna som är känsliga. Halten CO i blodet uttrycks som % COHb. Vid 100 % är alla syrets platser i hemoglobinet blockerade av CO-molekyler. Förutom att det finns en individuell variation är COHb-värdet beroende av exponeringstiden, CO-koncentrationen i luften, hur lång tid som förflutit efter exponeringen och ifall det fanns en samtidig syrebrist. Det är därför viktigt beakta alla dessa faktorer vid en exponeringsbedömning. I figur 6 presenteras en modell hur COHb-värdet förändras över tid vid olika exponeringsnivåer (NAC/AEGL, 2008). Modellen förutsätter normal syrgashalt.



Figur 6 Modell för förväntad %COHb vid olika CO-koncentrationer (ppm) och exponeringstid hos en 70 kg man (NAC/AEGL, 2008).

I tabell 4 listas symptom och effekter som kan förväntas vid olika halter % COHb (ILO, 1998). Man bör vara uppmärksam på att känsliga individer, främst de med hjärt-kärlssjukdomar, kan få symptom vid lägre nivåer än de som framgår i tabellen. De som omkom i olyckorna med pellets hade alla COHb-värden över 50 %. En viss mängd CO bildas naturligt i kroppens biokemiska processer.

Tabell 4 Symptom vid olika COHb-värden.

Omarbetad från ILO Encyclopaedia of Occupational Health and Safety (ILO, 1998).

COHb (%)	Huvudsakliga symptom
0.3-0.7	Normal nivå
2.5-5	Inga symptom. Kompensatorisk ökning av blodflödet till vissa vitala organ. Patienter med svår kardiovaskulär sjukdom kan sakna kompensatorisk reserv. Bröstsmärta hos patienter med kärlkramp provoceras av mindre ansträngning.
5-10	Försämrat mörkerseende.
10-20	Lätt huvudvärk. Möjligen lätt andfäddhet vid ansträngning. Kan vara dödligt för foster. Kan vara dödligt för patienter med svår hjärtsjukdom.
20-30	Lätt eller måttlig bultande huvudvärk. Rodnad. Illamående. Finmotorik i fingrar försämrade.
30-40	Svår huvudvärk, yrsel, illamående och kräkningar. Svaghet. Irritabilitet och försämrat omdöme. Svinningsrisk vid ansträngning.
40-50	Samma som ovan, men mer allvarliga och med större risk för kollaps och svimning.
50-60	Möjligen koma med oregelbundna kramper och Cheyne-Stokes andning.
60-70	Koma med oregelbundna kramper. Försämrade andning och hjärtverksamhet. Eventuellt död.
70-80	Svag puls och långsam andning. Död.

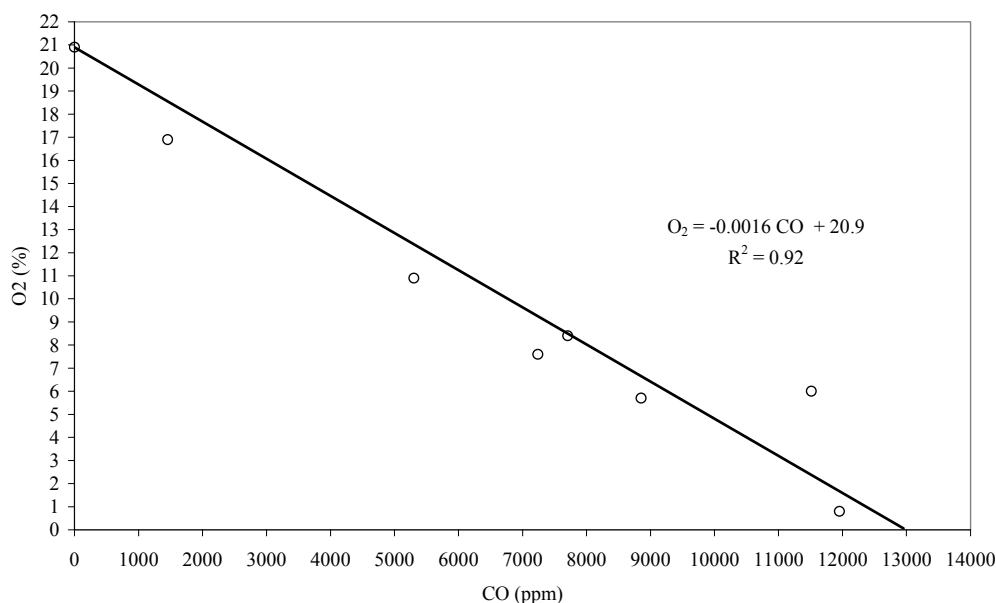
I utrymmen där syrgashalten är sänkt samtidigt som det föreligger förhöjda CO-halter, uppstår en kombinerad toxisk effekt. Vid studien i lastrum med träpellets på fartyg mättes CO och syrgashalter parallellt (Svedberg et al., 2008). När sammanhörande värden av syrgashalt och CO avsätts i en x-y graf framgår att halten CO ökar efterhand som syrgashalten sjunker, figur 7. När allt syre är förbrukat är CO-halten cirka 13 000 ppm, eller 1,3 %.

Den syrgas som inte bildat CO, har dels ingått i fortsatt oxidation till CO₂, dels förmodas ha reagerat med eller adsorberats till trästrukturen i pelletsen utan att generera andra gasformiga ämnen. Av figur 7 framgår att redan vid måttligt sänkta syrgashalter finns risk för skadliga nivåer av CO. Vid 19 %, finns en risk att CO-halten ligger på 1000 ppm, tio gånger korttidsgränsvärdet.

Av figur 6 framgår att efter cirka 80 minuters vistelse i 1000 ppm har COHb-värdet uppnått 50 %, en dödlig nivå. Att syrgashalten samtidigt är reducerad innebär dessutom

att 50 % COHb uppnås ännu snabbare. Detta åskådliggör betydelsen av att mäta CO innan man träder in i ett slutet utrymme med träpellets. Det räcker inte att enbart förlita sig på mätning av syrgashalten, då en något felkalibrerad syrgasmätare kan ge ett falskt intryck av att atmosfären är säker att vistas i.

Amerikanska NIOSH har satt ett IDLH-värde (Immediately Dangerous to Life or Health) för CO till 1200 ppm (NIOSH, 1994). Detta utgör den koncentration som bedöms utgöra en omedelbar livsfara och kan påverka möjligheten att avlägsna sig från den farliga miljön, men att 30 minuters vistelse utan andningsskydd ska vara möjlig och ge nödvändig tidsmarginal att avlägsna sig.



Figur 7 Plot av sammanhörande värden av CO och syrgas från mätningar i fartygslaster med träpellets. Linjen visar en bästa möjlig linjär anpassning till punkterna när man låter den skära y-axeln vid den naturliga syrgashalten 20,9 % (Svedberg et al., 2008).

Behandling av CO-förgiftning.

En CO-förgiftning behandlas primärt med syrgas och snabb behandling är väsentlig för att minska skaderisken. Halveringstiden för COHb vid inandning av normal luft är 5 timmar och 20 minuter. Inandning av ren syrgas minskar halveringstiden till 1 timma och 20 minuter. Genom att höja syrgastrcket i en tryckkammare kan man ytterligare minska halveringstiden till cirka 23 minuter (uppgift från www.helsingborgslasarett.se). Tillgång till tryckkammare finns vid Helsingborgs lasarett, Östra Sjukhuset i Göteborg, Uddevalla Sjukhus, Karolinska Sjukhuset i Stockholm samt vid Blekinge läns sjukhus i Karlskrona. I Norrland finns ingen aktiv enhet men en utrustning finns vid Sunderbyns Sjukhus, Luleå. En lista på aktiva tryckkammarenheter finns på www.oxynet.org.

Kolmonoxidförgiftning kan resultera i sena neuropsykiatriska symptom. I litteraturen varierar incidensen mellan 3 % och 30 % (Ku et al., 2010). Symptomen brukar komma inom 1-3 veckor efter förgiftningstillfället, men det kan dröja längre tid. Vanliga symptom är delirium, minnesproblem, kognitiv dysfunktion, inkontinens, gångstörning,

Parkinsonliknande symptom och depression. Man har inte kunna påvisa att risken för sena neuropsykiatriska symptom korrelerar med koncentrationen av kolmonoxid i blod (COHb) (Cevik et al., 2006). Däremot har man funnit att Glasgow Soma Scale och Folstein Mini-Mental Status Examination predicerar risken (Ku et al., 2010). Även datortomografisk undersökning och magnetröntgen kan användas för att predicera risken för sen symptomutveckling (Zagami et al., 1993).

Man vet inte orsaken till att COHb inte är en prediktor för utveckling av sena neuropsykiatriska symptom. Det är möjligt att den neurologiska skadan inte enbart beror på syrebrist orsakad av COHb utan att andra mekanismer kan spela in, t.ex. störd autoreglering av det cerebrala blodflödet eller induktion av en inflammatorisk process (Cevik et al., 2006). Viktigt är att personer som råkat ut för kolmonoxidförgiftning undersöks vid upprepade tillfällen under många månader efter händelsen.

Uppkomst och hälsorisker av koldioxid, CO₂

Koldioxid har en kolatom och två syreatomer och den kemiska formeln CO₂. Den förväxlas ofta med CO. Även CO₂ är lukt- och färglös men inte alls lika giftig som CO. Koldioxid förekommer normalt i atmosfären i halter runt 0,038 % (380 ppm). CO₂ är utspädd tyngre än luft men liksom CO jämt fördelat i de miljöer som beskrivs i denna rapport. Vid fullständig förbränning av organiska material bildas förenklat endast CO₂ och vatten samt restmängder obrännbart material, aska. Den luft vi andas ut innehåller cirka 4 % CO₂ och 16 % syrgas som ett resultat av den biokemiska celledandning som sker i levande varelser enligt formeln $C_6H_{12}O_6$ (socker) + $6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$ + energi. Koldioxid bildas även vid mikrobiell aktivitet, se avsnittet nedan om mikroorganismer.

Hälsorisker – koldioxid

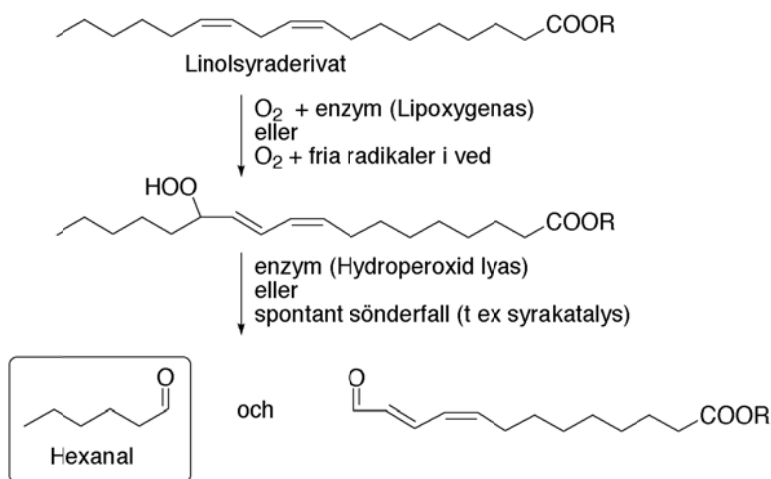
Det svenska yrkeshygieniska korttidsvärdet är satt till 1 % (10 000 ppm). Förhöjda koldioxidnivåer i blodet påverkar syra-bas balansen i blodet och utlöser en ökad andningsfrekvens i syfte att ventilerar ut överskottet av CO₂. En halt av 2 % CO₂ i inandningsluften medför måttligt ökad andningsfrekvens som vid 4 % blir kraftigt ökad (Bingham et al., 2001). Livsfarliga tillstånd och medvetslöshet inträder efter några minuters exponering vid 7–10 %. Amerikanska NIOSH har satt IDLH-koncentrationen till 4 % (NIOSH, 1994). Gränserna ovan förutsätter normal syrgashalt. I slutna utrymmen med träflis och timmer förekommer ofta en kombination av syrgasbrist och förhöjda CO₂-halter.

Hälsorisker – syrgasbrist

Syrgasbrist som enskild faktor utgör en allvarlig hälsorisk. Vid havsnivån är den naturliga syrgashalten cirka 21 %. Den sjunker med stigande höjd och vid 2 200 meters höjd är den cirka 16 %. Det innebär ingen hälsorisk att vistas på dessa höjder men är man inte acklimatiserad kan man uppleva symptom som huvudvärk, pulsökning, trötthet, yrsel, andfåddhet och illamående. Vid ännu lägre syrgashalter blir effekterna allvarligare och under 6 % syrgashalt medför död inom några minuter (Bingham et al., 2001). Den individuella känsligheten för syrgasbrist varierar stort. Enligt AFS 1993:3, Arbetsmiljöverkets föreskrifter för arbete i slutna utrymmen, bör syrgashalten vara mellan 20–22 % (Arbetsarkyddsstyrelsen, 1993).

Uppkomst och hälsorisker av aldehyder

Den dominerande aldehyden i pelletslager är hexanal som har sex kolatomer. I naturen uppstår aldehyder och alkoholer med kedjelängden 6 och 9 kolatomer genom nedbrytning av linolen- och linolsyra, bundna i fett som triglycerider. I växter kan nedbrytningen ske både genom auto-oxidation eller via enzysystem och det bildas mindre beståndsdelar såsom hexanal (Back and Allen, 2000, Schieberle and Grosch, 1981, Frankel et al., 1989, Noordermeer et al., 2001). Då pellets tillverkas under högt tryck och temperatur som troligtvis förstör de biologiska enzysystemen är en auto-oxidation den mest troliga mekanismen. Ett förslag på hur dessa mekanismer kan se ut presenteras i figur 8 (Svedberg et al., 2004).



Figur 8 Förslag på enzymatisk och autooxidativ mekanism för bildning av hexanal ur fettsyror i trämaterial (Svedberg et al., 2004).

Experimentella studier har visat att halten av fett och hartssyror i pellets minskar med cirka 40 % efter 4 veckors lagring (Arshadi et al., 2009). Högre temperatur vid tillverkningen påskyndade nedbrytningen på samma sätt som bildning av CO och CO_2 främjas av högre temperatur. Pellets med oangenäm doft avger främst aldehyderna

hexanal och pentanal (Arshadi and Gref, 2005). Efter 2–3 månader kvarstår dock endast låga restemissioner av hexanal från pellets (Granström, 2010).

En kammarstudie med frivilliga försökspersoner som undersökte de akuta hälsoeffekterna vid exponering för n-hexanal, visade endast på lindriga besvär i de nivåer som förekommer i pelletsförråd (Ernstgard et al., 2006). Två timmars exponering för 10 ppm (41 mg/m^3) n-hexanal orsakade mild ögonirritation. Inga besvär rapporterades vid 2 ppm (8 mg/m^3). Det finns för närvarande inget yrkeshygieniskt gränsvärde för hexanal. Besvären i studien motsvarar inte styrkan i de subjektiva besvär som kan upplevas i pelletslager. Det är därför troligt att trots lägre koncentrationer, att ett eller flera av övriga förekommande ämnen, ensamt eller i kombination, orsakar besvären i pelletslagren. De irriterande egenskaperna hos aldehyder ökar ju kortare kolkedjan är och i en uppföljande studie torde pentanal var den mest intressanta kandidaten att studera närmare.

Träpellets – damm

Vid hanteringen av träpellets bildas en finfraktion av damm som lätt blir luftburet och kraftig damning har rapporterats i produktionsanläggningarna (Edman et al., 2003, Hagstrom et al., 2008a). Dammet kan orsaka akuta och kroniska luftvägs- och hudbesvär. I Sverige tillverkas träpellets nästan uteslutande av tall och gran som båda tillhör de så kallade mjuka träslagen (engelskans; soft wood) Exponering för trädamn från tall och gran i halter mellan $0,1\text{--}6,3 \text{ mg/m}^3$ orsakar irritation av ögon och övre luftvägar och långvarig exponering i halter runt 1 mg/m^3 kan påverka lungfunktionen. Hudkontakt av trädamn kan orsaka både irritativt och allergiskt kontakteksem (Eriksson and Liljelind, 2000).

I en studie av 44 anställda i produktionen vid fyra pelletsfabriker överskreds nivågränsvärdet för inhaledbart trädamn (2 mg/m^3) i en tredjedel av de sammanlagt 68 personburna proverna (medel $2,4 \text{ mg/m}^3$, intervall $<0,6\text{--}12 \text{ mg/m}^3$) (Hagstrom et al., 2008a, Hagstrom et al., 2008b). De högsta dammhalterna uppmättes vid maskinskötsel, säckning, inlastning av råmaterial, sopning och vid rengöring med tryckluft. Tolv stationära prover i pelletslager visade på aritmetisk dammhalt på $1,2 \text{ mg/m}^3$ ($<0,1\text{--}6,5 \text{ mg/m}^3$) I samma studie noterades även exponering för hartssyrorna 7-oxodehydroabietinsyra och dehydroabietinsyra, upp till $\frac{3}{4}$ av nivån för det brittiska gränsvärdet på $50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ för kolofonium, som i huvudsak består av just hartssyror. Exponering för hartssyror kan orsaka astma och kontaktdermatit.

Trädamn har en cancernotering i Arbetsmiljöverkets gränsvärdeslista (Arbetsmiljöverket, 2005). Vid exponering av damn från hårda träslag (inte tall och gran) finns risk för utveckling av adenocarcinom i näshålan och bihålorna (IARC, 1997, Klintenberg et al., 1984). Incidensen i Sverige av adenocarcinom i näshålan och bihålorna är dock mycket låg, mellan åren 1970–2008 i genomsnitt 0,1 fall per 100 000 personer/år, sett över alla åldrar (Socialstyrelsen, 2010). Vår bedömning är därför att risken att utveckla cancer på grund av damn från pellets av gran och tall är obefintlig eller mycket liten.

Träpellets – mikroorganismer

I allt organiskt material finns mikroorganismer i större eller mindre omfattning. I den fuktiga råvaran till pellets, som sågspån och flis, finns naturligt stora mängder mikroorganismer. I den färdiga pelletsen finns däremot, beroende på upphettningen vid tillverkningen, endast små mängder levande mikroorganismer. Pellets är därmed från början steriliserad och genom sin låga fukthalt en icke attraktiv miljö för mikrobiell tillväxt. Fuktig pellets faller sönder i en finfraktion som återigen kan bli en attraktiv grogrund för mikroorganismer. Renhållning och avlägsnandet av fuktigt damm kan därför förebygga besvär orsakade av mikroorganismer.

Det är sedan länge känt att arbete med fuktigt hö, halm och säd kan ge en lungsjukdom som kallas *allergisk alveolit*. Orsaken till denna sjukdom är att man inandas sporer från mikroorganismer som växer i gräs eller annat organiskt material. Även arbete i utrymmen som innehåller fuktigt träflis eller sågspån kan ge denna sjukdom. Den brukar då benämnas *fliseldarsjuka*. Akuta symptom är feber, huvudvärk, svettningar, muskelsmär, illamående och andnöd, som kommer inom 4–8 timmar efter det att man utsatts för de mikrobiella ämnena. Om exponeringen upphör så försvinner symptomen inom ett par dygn. Upprepade akuta sjukdomssymptom kan på sikt leda till allergisk alveolit. Det är en kronisk sjukdom, som medför permanent skada på lungorna. Det mest typiska symptomet är andfåddhet vid ansträngning. I takt med att lungornas funktion försämras blir symptomen svårare och svårare. Skadan på lungvävnaden anses bero på en allergisk reaktion mot de mikrobiella agens man utsatts för (Lacasse and Cormier, 2005).

Vi har undersökt halten mikroorganismer dels i färsk flis och bark, dels i ca två dagar gammal pellets samt i den fuktiga finfraktionen på pelletsstackens yta, också den cirka två dagar gammal. Resultatet redovisas i tabell 5, där det framgår att varken träpellets eller fuktig finfraktion visade på mätbara nivåer av mikroorganismer medan färsk bark och träflis hade förväntat höga halter (Svedberg et al., 2009). Mätningar av mikroorganismer i luften i pelletsfabriker har i en tidigare studie undersökts, dock ej i lagerbyggnaden (Alvarez de Davila, 2002). Resultatet visade på normala halter i nivå med bakgrundsvärdena utomhus. För att förhindra tillväxt i pelletslager rekommenderas att lagring sker i väl ventilerade utrymmen och om möjligt vid låg temperatur (Alvarez de Davila, 1999).

Tabell 5 Jämförelse av halten mikroorganismer.

Prov	Bakterier cfu/g	Svampar cfu/g
Torra träpellets	<9	<9
Fuktig finfraktion av träpellets	<13	<13
Nyproducerad träflis	9.4×10^5	7.1×10^5
Färsk bark	5.7×10^6	4.9×10^6

cfu/g = kolonibildande enheter per gram

Lagring av träpellets

Det saknas idag formella riktlinjer om hur pelletsförråd ska konstrueras. Då förutsättningarna skiljer sig åt mellan olika typer av pelletsförråd är det nödvändigt att ta upp dem var och en för sig. Vi har valt att under separata rubriker beskriva lagring av pellets i planlager, i storsilos, i medelstora respektive mindre förråd för bulklastning, samt vid frakt i lastrum på fartyg. Vi har för varje förrådstyp valt att kommentera vad som är viktigt att tänka på ur ett säkerhetsperspektiv, främst ventilationsaspekter.

Planlager

I pelletsfabrikerna transporteras de nypressade pelletsen till ett planlager, bild 2. Vid pressningen blir pelletsen varm, närmare 100 °C och passerar därför kylzoner på sin väg till lagret. Planlager kan innehålla många tusen ton pellets. Pelletsen är skyddad från regn genom att lagren är täckta.



Bild 2 PVC-hall med träpellets.

Ventilation av planlager

Avsevärda mängder CO och aldehyder kan tidvis bildas i större planlager och måste ventileras bort för att miljön ska bli acceptabel för arbetstagarna. Störst risk för höga halter är under den varma årstiden. Ventilation är också viktig för att transportera bort fukt och kyla ner pelletsen. Ett planlager bör inte vara tätt utan naturligt ventilerat genom portar, taköppningar, luftspalter i väggar, etc.

I ett större planlager med en volym på cirka 93 000 m³ har vi med spårgasmetoden uppmätt 0,8 och 1,4 luftomsättningar per timme vid två mätningar med 3 timmars mellanrum. Lagerportarna var stängda under försöket. Förrådet var naturligt ventilerat med självdrag. Ventilationen påverkades därmed av vindriktning och vindstyrka. Vid mättillfället blåste cirka 3 m/s, vindriktningen ändrades dock något mellan mätningarna och kan förklara skillnaden i luftomsättning. Temperaturen var -12 grader. CO-halterna var under mätningen 15 ±1,5 ppm. En genomsnittshalt på cirka 48 ppm CO uppmättes i

samma lager under en 18 timmars mätning under september månad, även då med stängda portar.

Självdraagsventilation är dock inte pålitligt i alla lägen då den förutsätter ett vindtryck för att bli effektiv. Installation av fläktar kan vara nödvändigt om självdraget inte räcker till. Styrningen av ventilationen kan kopplas till stationära CO-givare. Som en grov tumregel, baserad på de begränsade mätningar som vi utfört i planlager, bör ventilationen dimensioneras så att två luftomsättningar per timme kan åstadkommas vid maximalt behov. Vid kontrollmätning av temperatur i stacken samt vid arbeten längs servicebryggan är man tvungen att vistas ovanpå eller ovanför stacken. Dessa arbetsmoment ger de högsta exponeringarna av CO och aldehyder och bör vara de som styr dimensioneringen av ventilationen.

Man kan lätt förledas att tro att ett planlager i kraft av sin rymd är en säker miljö. Ett tillbud i oktober 2010 i en ca 13 000 m³ tälthall av PVC (bild 2) på en pelletsfabrik visar dock att riskerna med kolmonoxid inte är försumbara i alla typer av planlager. En person rensade byggrester i lagret och blev efter ca en timmes arbete yr, trött och slö och arbetet avbröts. På natten drabbades han av kräkningar, yrsel, huvudvärk och sömnlöshet. Det finns inga uppgifter om vilka CO-halter som rådde vid tillfället och personen ifråga uppsökte inte läkarvård. Två veckor efter tillbudet uppmättes drygt 140 ppm CO i markplan i det aktuella lagret. Misstanken att det vara fråga om CO-förgiftning är därmed stark och att halterna var högre vid olyckstillbudet. Mannens symptom motsvarar 20–30 % COHb-värde enligt tabell 4, en nivå som uppnås efter en timmes vistelse i 500–750 ppm, enligt modellen i figur 6.

Användning av lagerhallar med PVC-duk kan vara lockande när lagringskapaciteten snabbt behöver utökas. Halltypen kan dock bli tät med begränsad luftväxling vilket kan ge problem med kondensbildning mot PVC-duken och risk för mikrobiologisk tillväxt. Vid det tillbud i en PVC-hall som beskrivs ovan var hallen fylld med endast några hundra ton pellets. En avfuktungsanläggning var installerad med nominell luftutbyteskapacitet på cirka 1 400 m³/h, vilket motsvarar cirka 0,1 luftomsättningar per timme i den aktuella hallen. Den avfuktade tilluften spreds i ett rörsystem längs hallens tak. Ett frånluftspjäll var monterat i marknivå på ena kortsidan. Efter incidenten höjdes kapaciteten på avfuktaren till motsvarande cirka 0,2 luftomsättningar/h. Fortfarande är detta betydligt mindre än vad naturlig självdraagsventilation kan ge med öppna portar, luftspalter, etc. Avfuktning kräver en tät hall vilket dock är kontraproduktivt för att avlägsna giftiga gaser. Om grundventilationen är tillräcklig torde ej avfuktning behövas.

Storsilos

Lagring av pellets i storsilos är ett tilltalande alternativ. Både lastning och lossning kan göras smidigt. Lagringskapaciteten i en enstaka silo kan vara flera tusen ton. Att ventileras en silo direkt genom pelletsbädden för att kyla ner pelletsen eller vädra bort kolmonoxid är inte ett alternativ då den ökade syresättningen istället driver oxidationen och temperaturhöjningen till en punkt där självantändning kan ske. Den syrebrist som skapas i en tät silo är i sig ett skydd mot självantändning.

En silo kan även ha slutna utrymmen ovan och under silocisternen som kan ha visst luftutbyte med själva lagerutrymmet. Dessa utrymmen måste ventileras och säkerställas

innan någon ges tillträde. De ska hållas låsta för att förhindra att obehöriga att gå in. Om utrymmena ventileras genom att dörrarna öppnas kan ett rep, kedja eller gallergrind över dörröppningen med en varningsskylt förhindra att någon ovetandes eller genom lek går in.

Små pelletsförråd för villor

Ett mindre pelletsförråd byggt i lösvirke och några exempel på färdigproducerade förråd lämpliga för mindre fastigheter och villor är illustrerade i figur 9. Principen är enkel och är samma som för de mellanstora förråden. Pellets fylls på från en bulklastningsbil genom att pellets blåses genom ett bulklastningsrör i övre delen av förrådet. Ett avluftningshål säkrar att överskottsluften vid lastningen inte trycker sönder förrådet. Lastningen innebär att stora mängder damm bildas. För att dammet inte ska spridas till omgivningen placeras en dammuppsamlare filtersäck över avluftningshålet. En matningsskruv i botten transporterar pelletsen antingen till ett internt mellanförråd eller direkt till brännaren. Förråden måste vara täta mot bostadsutrymmet för att hindra att damm sprids till omkringliggande rum vid lastningen.



Figur 9. Exempel på ett pelletsförråd byggt av lösvirke, i galvad plåt (MAFA AB), i PVC-väv (Janfire). I nedre raden återges bilder av förråd med textilmät (bilder från Deutscher Energie-Pellet-Verband e.V. (DEPV)).

En inspektionslucka eller öppning gör det möjligt att kontrollera pelletsnivån men även att krypa in i förrådet för att utföra service av till exempel skruven, avlägsna finfraktion av pelletsdamm som ofta ackumuleras i botten av förrådet eller för att skyffla ner pellets då den börjar sina. Detta sista moment kan i många fall utföras med hjälp av en skrapa utan att krypa in i förrådet. Man ska i det längsta försöka undvika förråd med mindre rasvinkel än 45 grader. I många villor där man byggt förråd där oljetanken tidigare var

placerad, är det vanligt att man bibehåller det plana golvet eller har liten rasvinkel. Pelletsen kommer då att ta slut vid matningsskruven innan förrådet är tomt och stora mängder pelletsen kan ligga kvar längs kanterna av utrymmet. Detta innebär att man ofta måste skyffla in pellets mot skruven, bild 3.

Placeringen och storleken på inspektionsluckan är viktig ur säkerhetssynpunkt. Luckan bör ha tillräcklig storlek för att man enkelt ska kunna ta sig in och ut ur förrådet. Den måste dock alltid vara låst eller förseglad så att obehöriga, till exempel barn, inte kan ta sig in.

I förråd med matningsskruv i botten finns en klämrisk om den automatiskt skulle starta. Det är därför viktigt att stänga av strömmen till skruvmatningen innan man går in i förrådet.



Bild 3 När pelletsen samlas i förrådet blir matningsskruven synlig. Risk för CO-exponering vid inträde. (Foto U. Svedberg)

Ventilation av små pelletsförråd

Den bästa placeringen av förrådet är i ett utrymme separerat från bostaden. Många villaägare bygger sina förråd i källarplanet. Placeringen centralt i huset med risk för luftutbyte med bostadsutrymmet kräver att förrådet är tätt så att damm och irriterande lukt av aldehyder inte letar sig in i bostaden. Det är dock väsentligt att förrådet ventileras till uteluften. En del kommersiella förrådsmodeller är helt eller delvis konstruerade av en finmaskig väv som tillåter att luften ventileras samtidigt som det stoppar dammet vid fyllning, figur 9. I dessa fall måste man se till att rummet där förrådet är placerat ventileras väl.

Gå aldrig in i ett oventilerat förråd! Öppna alltid ingångsluckan i god tid före tillträde, men se samtidigt till att obehöriga inte kan komma in. Lämna bulklastningsröret och avluftningsröret öppna erhålls viss naturlig ventilation som borde räcka i de flesta fall. Effektiviteten av denna är dock beroende på öppningarnas placering. Den bästa effekten uppnås om de är placerade på motsatta sidor av förrådet så att skillnaderna i vindtryck kan driva ventilationen. Ett ventilerat lock eller nät över röröppningarna kan säkra ventilationen samtidigt som det förhindrar att djur kryper in.

Man bör vara uppmärksam på att vid bulklastning blir luften i förrådet väldigt dammig och det finns risk för dammexplosion om en elektrisk gnista alstras. En riskbedömning i enlighet med Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbete i explosionsfarlig miljö kan vara aktuell (Arbetsmiljöverket, 2003). Bulklastningsröret bör jordas med lastbilen vid lastning. Ingen elektrisk utrustning eller belysning bör finnas i bulklastningsförråden.

Mellanstora pelletsförråd

Mellanstora förråd återfinns till exempel vid fjärrvärmeanläggningar, skolor och flerfamiljshus där pelletsförbrukningen är större. De har olika design och några exempel visas i figur 10. De två förråden till vänster i figuren är av en stående silokonstruktion med utanpåliggande matningsskruv monterad i botten. Då skruven kan servas utifrån och rasvinkeln är stor gör att det sällan finns anledning att gå in i denna typ av förråd. Förrådet ventileras via påfyllningshålet i toppen.

Inspektionsluckorna är i många fall små och högt placerade vilket kan medföra onödigt besvärliga arbetsställningar och farliga arbetsmoment vid de tillfällen man trots allt måste gå in. Olyckorna i Finland där två personer dog inträffade i stående mindre förråd. I ett av fallen var rasvinkeln endast 28 grader. En liten rasvinkel gör att en krater bildas runt skruven och man kan behöva gå in i förrådet för att skyffla ner resten.

Det tredje förrådet i figur 10 är av en liggande typ där matningsskruven ligger i botten i hela förrådets längd. Rasvinkeln är 45 grader men risken är betydligt större än i ett stående förråd att man tvingas gå in för service och underhåll. Denna typ av förråd återfinns ofta inomhus då de kan installeras även då takhöjden är begränsad, se bild 4. Långa bulklastning- och avluftningsrör ger begränsad naturlig ventilation och riskerna ökar för höga halter av giftiga gaser. Flera av de råd som vi angett för de mindre förråden gäller även denna typ av mellanstora förråd, t ex ventilation, skyltning, säkring av ingångsluckor, mm.



Figur 10. Exempel på förråd för anläggningar med ett effektuttag >50 kW. De två till vänster har externa skruvar, den tredje har liggande skruv internt (Mafa AB). Förrådet längst till höger är av äldre konstruktion, klätt med träpanel och med extern skruv (Foto U. Svedberg).



Bild 4 Pelletsförråd i källarutrymme i en skola. (Foto U. Svedberg).

Lastrum med pellets på fartyg

I figur 11 återges en schematisk bild över ett typiskt lastrum med tillhörande trapphus på ett lastfartyg. De olyckor ombord fartyg som vi har nämnt har alla skett i trapphuset. Källan till de farliga atmosfärerna är dock lasten i lastrummet. Är lastrumsluckan (hatch cover i figuren) stängd är det praktiskt omöjligt att gå ner i lastrummet utan att först passera trapphuset. När väl lastrumsluckan är avlägsnad sker en snabb naturlig ventilation av lastrummet. Det finns dock en kvardröjande risk att gå ner i trapphuset så länge inte detta är ventilerat. Det gäller särskilt när trapphuset är förseglat, eller till synes förseglat mot lastrummet. I olyckan på Saga Spray fanns det tre dörrar mellan trapphuset och lastrummet, alla försedda med gummilister. Att de inför lastningen av pellets även tejpades visar på att gummitätningarna inte höll tätt.

De gaser som bildas och den kvarvarande syrgasen i lastrummet strävar att fördela sig jämt i det tillgängliga utrymmet. Även ett mycket litet hål mellan trapphuset och lastrummet gör att halten med tiden blir densamma i båda utrymmena.

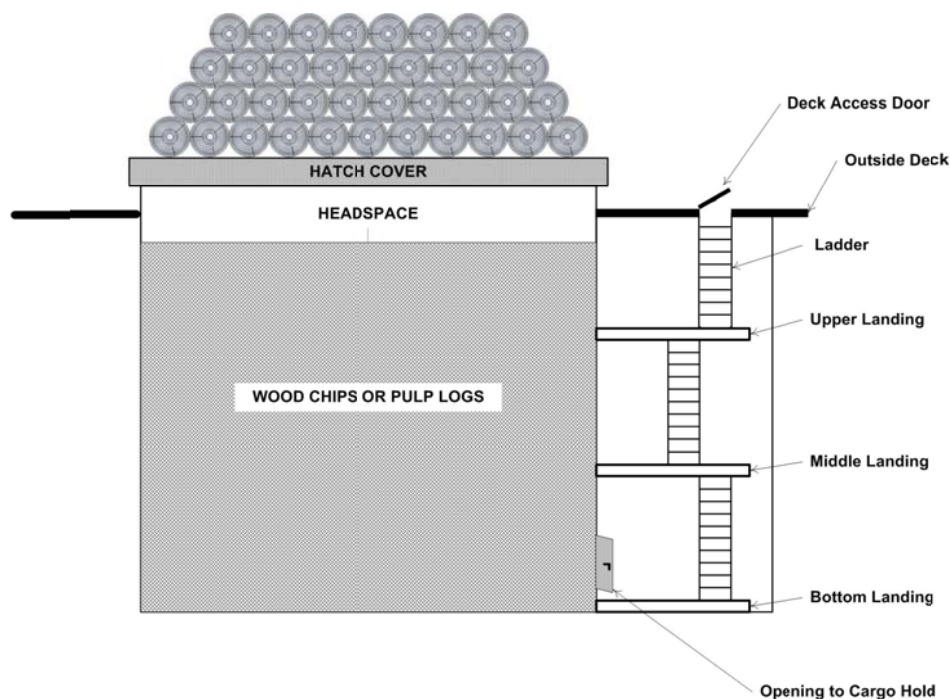
Ventilation av trapphus på fartyg

I studien av pelletsfartygen i Helsingborgs hamn utfördes även en mätning av ventilationen i ett av trapphusen. En provtagnings slang var monterad mellan botten av trapphuset och däck, 14 meter upp. Provtagning kunde göras med stängd trapphuslucka. Lossning pågick i lastrummet. En initial stabil nivå av 11 500 ppm CO uppmättes i botten av trapphuset när luckan till trapphuset var stängd. Därefter öppnades luckan för att simulera ventilering på det sätt som är brukligt på fartygen. Den avklingning som uppmättes under de följande två timmarna visade att det skulle kräva drygt 20 timmas självdragsventilation för att halterna på bottenplanet skulle nå ner till acceptabla 100 ppm (KTV). Vid olyckan på Saga Spray hade man ventilerat på detta sätt dagen innan och även några timmar på morgonen, dagen för olyckan. Under natten lades luckan tillbaks på glänt, vilket begränsade ventilationen, och halterna kunde återigen stiga genom inläckage från lastrummet som nu också var stängt.

Det primära problemet är att designen på trapphusen tillåter att luft från lastrummen tränger in. Installation av mekanisk deplacerande ventilation, som blåser frisk luft ner i botten av trapphuset och lyfter den förorenade luften uppåt, och därigenom snabbt ventilerar trapphuset, borde vara den enklaste och mest effektiva lösningen på detta

problem. Att suga luft från botten av trapphuset kan medföra att förorenad luft från lastrummet istället sugas in i trapphuset.

Varje fartyg bör ha en inövad rutin inför tillträde till riskutrymmen och endast behöriga personer bör ges tillträde. Alla ingångsluckor och dörrar till slutna utrymmen med farlig atmosfär bör vara låsta och skyltade. En öppen lucka eller dörr är en invitation att gå in. När ventilerings pågår och trapphusluckan står öppen, kan ingången säkras genom ett rep, kedja eller gallergrind med varningsskylt. Man bör även betänka att varningsskyltar som sitter på ovansidan av en ingångslucka eller utsidan på en dörr, döljs när dessa öppnas eller avlägsnas. Varningstext bör därför även finnas så att den blir läslig när luckan är öppen.



Figur 11 Schematisk bild över lastrum och trapphus på fartyg. Last med timmer är symboliserad ovanpå lastrumsluckan.

Brandrisker i pelletslager

Brand orsakad av till exempel gnistbildning i elektriska installationer, överhettning i fläktar och transportsystem, rökning, fordonsrelaterade bränder, kan utgöra en risk i både små och stora pelletsanläggningar. I bild 5 syns resultatet av en brand som uppstod i ett transportrör i en mindre anläggning i en skola. Orsaken är inte utredd.

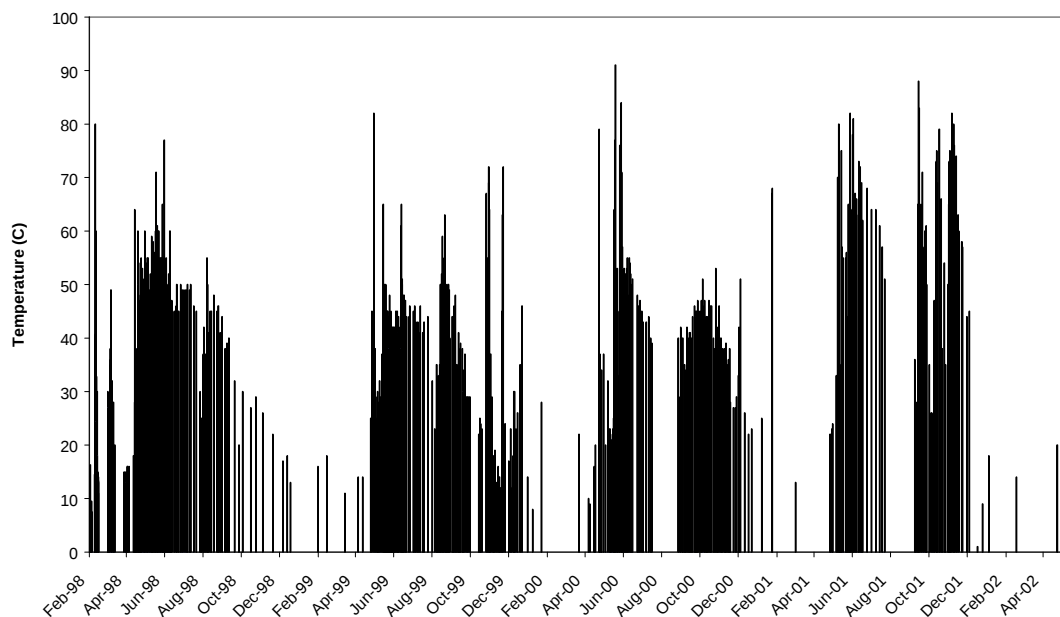


Bild 5 Rester av nedsmält transportrör och söndervriden pelletsskruv. Felet orsakade brand som kunde släckas innan större skada uppstod. (Foto U. Svedberg).

Självantändning är sedan gammalt ett välkänt fenomen i flisstackar, halm och hö och även i silos där jordbruksprodukter förvaras (Ramirez et al.). Orsaken till självantändning i fuktiga material som hö och träflis är initialt orsakat av mikrobiologiska processer som medför uppvärmning och uttorkning av materialet. Därefter tar kemiska oxidationsprocesser över som medför ytterligare temperaturhöjning och slutligen driver systemet till en punkt där materialet självantänds (Lönnermark et al., 2008). I pelletslager är det primärt den kemiska oxidationsprocessen som dominerar. Risken för självantändning i små pelletsförråd bedömer vi dock som liten. Erfarenheten säger att riskerna är störst i planlager och silos.

Trots strävan att kyla pelletsen efter pressningen är det inte ovanligt att man får varmgång i pelletsstackarna vilket i värsta fall kan leda till självantändning. Flera bränder har inträffat där hela pelletslager brunnit upp. För att kontrollera värmeutvecklingen i stackarna mäts temperaturen med givare som sticks in cirka 2 meter ifrån toppen av stacken. Syns tecken på stigande temperaturer måste åtgärder vidtas. Sådana kan till exempel vara omflyttning, utjämnning och luftning av stacken. Risken är dock att luften syresätter en begynnande glödbrand som därmed kan utvecklas till en kraftig brand. Den insatstemperatur man väljer avgör den säkerhetsmarginal som uppnås.

Temperaturen i pelletsstackarna vid Bio Energi i Luleå AB har mätts nästan dagligen sedan start av anläggningen. I figur 12 visas den högsta uppmätta temperaturen i ett magasin mellan åren 1998-2002. Sammanhängande perioder med höga temperaturer inleds i maj månad för att sedan åter avta i november – december. Periodvis är nivåerna av pellets i magasinen låga vilket påverkar temperaturen. När temperaturen stigit upp mot 70–80 grader har man, för att sänka temperaturen, rutinmässigt jämnat ut pelletstacken med en bandtraktor.



Figur 12 Högsta uppmätta temperatur i pelletsstacken i magasin 1 vid Bio Energi i Luleå AB.

Rutiner för hantering av förhöjda temperaturer och strategier vid glödbbrand bör finnas vid varje större pelletslager. Ett välfyllt lager med dålig ventilation kan vara svårt att hantera, främst med tanke på farliga CO-halter men även att det kan vara svårt att effektivt flytta runt pelletsen. Slår lågor ut kan en lagerhall av PVC vara en dödsfälla med tanke på de giftiga gaser som bildas då PVC brinner.

Förutom att en brand i ett planlager och silo är en utmaning rent släckningstekniskt, finns även en överhängande risk för sekundär dammexplosion. Dammexplosioner uppstår när finfördelat damm kommer i kontakt med luftens syre och en antändningskälla. Risken för dammexplosion ökar med torrheten och ju finare dammet är. SP – Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås har gjort långtgående studier om släckning av silobränder och även hur silos kan inerteras med till exempel kvävgas för att förebygga och bekämpa bränder (Persson and Blomqvist, 2004, Persson et al., 2009).



Bild 6 Brand i pelletsilo orsakad av självtändning (Foto: Räddningstjänsten).

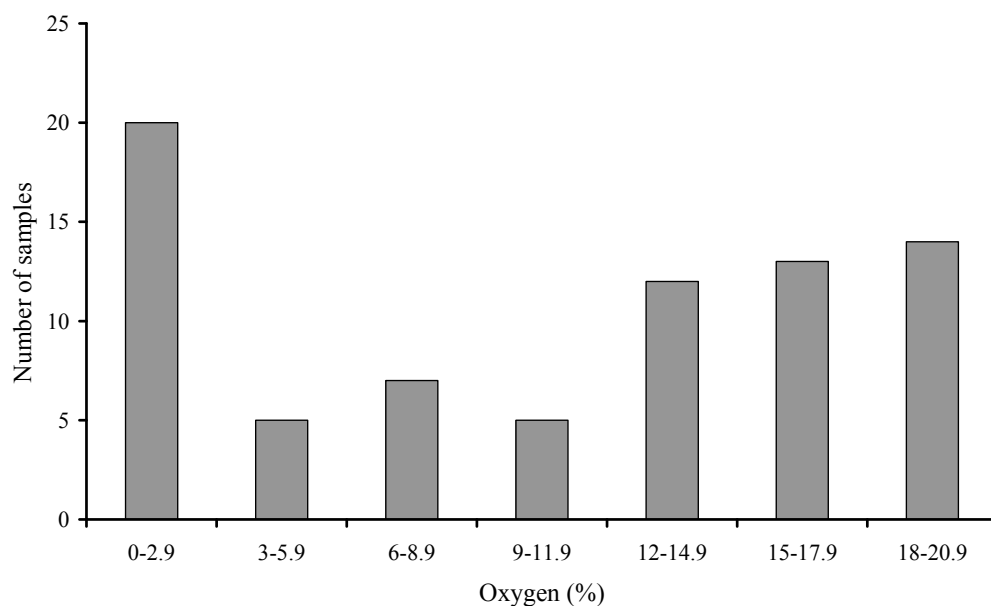
Lagring av träflis och timmer

Problemen som är beskrivna vid lagring av träpellets i slutna utrymmen kan i stora stycken även gälla för träflis och timmer, främst vid transport i lastrum på fartyg, men även till exempel i flisfickor. När träflis och timmer förvaras i slutna utrymmen kan en mycket snabb mikrobiell syreförbrukning äga rum under samtidig bildning av höga halter koldioxid. Den rikliga förekomsten av mikroorganismer i bark och flis visades i tabell 5. Den allvarliga hälsorisen här är syrebristen i kombination med koldioxid, inte kolmonoxid som med träpellets.

Mätningar i lastrum på fartyg med träflis och timmer

Efter dödsolyckan i hamnen i Timrå år 2007 då två personer dog i trapphuset invid ett lastrum med massaved, initierades en studie av fartyg som fraktade massaved och träflis av både löv- och barrskogsträd (Svedberg et al., 2009). Under loppet av ett år undersöktes sammanlagt 76 trapphus på 41 inkommande laster på tio olika fartyg. Designen av lastrummen på denna typ av fartyg är snarlik den som tidigare beskrevs på pelletsfartygen, förutom att trapphusen ofta är öppna in till lastrummen. Lastning hade skett ca 48 timmar dessförinnan i olika hamnar runt Östersjön och lossningen gjordes i hamnar i Västernorrland.

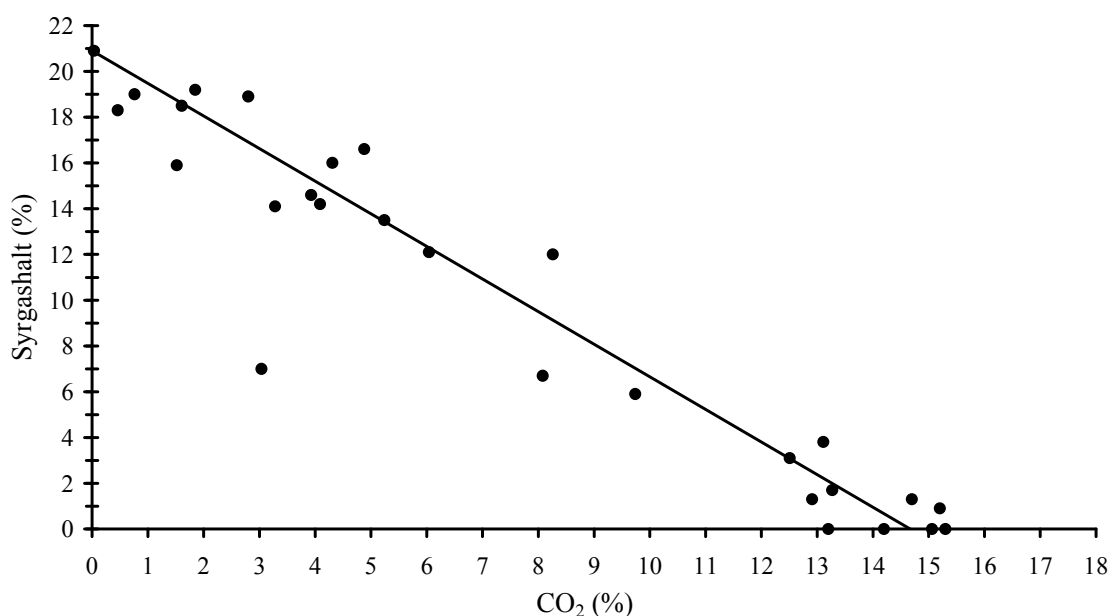
Luften i trapphusen undersöktes innan lastrumsluckorna öppnades. Mätningar gjordes dels med direktvisande utrustning för syrgashalt, dels togs påsprover för analys med FTIR. Resultatet av syrgasmätningarna återges i figur 13 och visade på halter under 18 % i drygt 80 % av trapphusen. Medelvärdet var $10 \pm 7,3$ %. I drygt 20 % av trapphusen fanns inget syre kvar överhuvudtaget. Inga nollvärden noterades under den kalla årstiden, vilket förklaras med låg mikrobiell aktiviteten. Nivåerna av koldioxid (CO_2) var kraftigt förhöjda och varierade mellan 0,5–15 %. Medelhalten var $7,5 \pm 5,2$ %, vilket är långt över den naturliga bakgrundsnivån på $\sim 0,038$ %.



Figur 13 Frekvenstabell över syrgashalter i trapphus på fartyg med träflis och timmer. (Svedberg et al., 2009).

När sammanhörande värden på CO₂ och syrgashalt plottas i en x-y graf (figur 14) framgår det att låg syrgasnivå korrelerade med hög koldioxidhalt. Vidare kan man utläsa att ca 2/3 av syreförbrukningen kan förklaras med bildning av CO₂. Figur 14 visar även att vid måttligt sänkta syrgashalter runt 19 %, uppmättes CO₂-halter runt 2 %, dubbla korttidsgränsvärdet på 1 % (10 000 ppm). Livsfarligt höga halter av CO₂ uppmättes då syrgashalten sjunkit till cirka 12 %. Ingen skillnad noterades på uppmätta halter mellan olika trädslag.

I sammanhanget låga halter av kolmonoxid (CO) uppmättes. Medelhalten (CO) var 47 ppm och varierade mellan 0 och 147 ppm.



Figur 14 Plot av sammanhörande värden av syrgas och CO₂-halter i 26 olika prover i trapphus ombord fartyg med laster av träflis och timmer. Regressionslinjen är forcerad genom normalhalten 20,9 % syrgas och 0,038 % CO₂. (Svedberg et al., 2009).

Förslag till förebyggande åtgärder

Den bästa förebyggande åtgärden är att redan vid ritbordet eliminera de konstruktioner som innebär att slutna utrymmen uppkommer och som kräver att man behöver gå in i dessa. De förrådstyper som vi beskrivit ovan, vare sig det är landförråd eller på fartyg, är främst designade utifrån produktionstekniska krav utan att större hänsyn tagits till arbetsmiljön. De regelverk och rekommendationer som omgärdar arbete i slutna utrymmen blir därmed krångliga och omfattande med stora risker att misstag begås. I många fall är de tekniska förändringar som krävs för att förbättra en dålig design förvånansvärt enkla, men viljan saknas allt som oftast att starta ett tekniskt förändringsarbete.

Utbildning

Utbildning av personer som ges behörighet till slutna utrymmen är grundläggande men ersätter inte tekniska skyddsåtgärder. Utbildning ska vara återkommande. Inom sjöfarten är det vanligt med hög personalomsättning och utbildningsmöjligheter måste beredas närhelst man startar sin tjänstgöring ombord. Av landpersonal är det hamnarbetare, räddningstjänst, tullpersonal och kustbevakning som behöver utbildning om dessa risker ombord fartyg. Vad gäller landförråd är det oftast anställda som har ansvar för service och drift av värmecentraler som kan bli tvungna att gå in i förråd. Idag saknar de flesta av dessa nödvändiga kunskaper om eventuella risker.

Ventilation

Den viktigaste och mest kostnadseffektiva förebyggande åtgärden är att ventileras ordentligt innan tillträde beviljas till ett slutet utrymme. Om ventilation sker genom att luckor och dörrar öppnas kan det vara nödvändigt att förhindra att någon av misstag går in i utrymmet genom att montera mekaniska barriärer, rep, kedjor eller gallergrindar över öppningen. Skyltning och låsning av ingångsluckor och dörrar är väsentligt då förrådet är stängt.

Skyddsvakt

Man bör undvika att gå in i ett slutet förråd ensam. En skyddsvakt kan placeras i förrådets öppning som upprätthåller en kommunikation (till exempel radiokommunikation) med den som går in. Vakten ska ha en plan hur man bäst assisterar vid ett olyckstillbud. Det är viktigt att vakten inte själv går in utan skyddsutrustning för att hjälpa till om det finns misstanke om giftiga gaser. Många pelletsförråd har en ofördelaktig placering av ingångsluckorna och det kan vara mycket svårt eller omöjligt att lyfta ur en medvetslös person på egen hand.

Mätutrustning för gaser i pelletslager och förråd

Mätning av CO är det enskilt säkraste sättet att avgöra om luften är farlig eller ej i ett pelletslager och förråd. Då pellets hela tiden avger CO till luften kan det vara svårt att beräkna hur mycket ventilation som krävs. En enklare mätutrustning räcker för det mindre förrådet där man sporadiskt behöver gå in. Ett exempel är en handpump som drar luften genom ett reagensrör (typ Dräger) som ger färgutslag vid förhöjda CO-halter. Med denna typ av mätinstrument kan man kontrollera luften innan man går in i förrådet. Metoden lämpar sig däremot inte för mätningar under vistelse i förrådet, då den inte avger någon varningssignal och provtagningen normalt tar några minuter.

Det finns flera tillverkare av direktvisande gasvarnare som man kan fästa på kläderna eller bära med sig under vistelsen i förrådet. De avger en ljud- och vibrationssignal när ett förinställt gränsvärde överskrids och kan inte stängas av förrän nivåerna har sjunkit tillbaks till normala. Denna typ av mätinstrument kräver normalt uppladdning och återkommande kalibreringar och lämpar sig för den som rutinemässigt går in i förråd.

I ett planlager kan det vara motiverat att installera fasta CO-mätare som går att fjärravläsa. I ett större avlångt planlager kan CO-halterna variera i olika delar av lagret och på olika nivåer, särskilt om lagret enbart är naturligt ventilerat med portar på en kortsida. Mätarna bör placeras där de högsta halterna kan förväntas, till exempel på servicebryggor ovan pelletstacken och i dåligt ventilerade sektioner.

Mätutrustning för gaser i lager med träflis och timmer

Ingen ska gå in i ett förråd om syrgashalten understiger 20 %. I ett lager med träflis och timmer gör vi bedömningen att syrgasmätning räcker i de flesta fall. Även om det kan förekomma höga halter av koldioxid (CO₂), sammanfaller de alltid med låga syrgashalter. En marginellt sänkt syrgashalt ska dock ses som ett varningstecken och det kan vara motiverat att mäta CO, eftersom, när träflis och timmer torkar avtar den mikrobiella aktiviteten och autooxidationen tar vid, liknande den hos träpellets.

Många multigasmätare har sensorer för syrgas, CO, H₂S (svavelväte) och explosionsgräns som grundbestyckning. Det finns även multigasmätare med CO₂-sensorer. De miljöer vi beskriver är extrema med mycket höga nivåer av gaser i kombination med syrgasbrist. Detta ställer även stora krav på mätutrustningen. Under våra studier noterade vi att två olika direktvisande multigasmätare med sensorer för svavelväte korsreagerade på terpenier och gav falskt positivt utslag för svavelväte (Svedberg et al., 2009). Under lång tid trodde vi därför att det fanns höga halter svavelväte i lastrummen. Terpenier förekommer främst i laster med timmer och träflis men även i mindre halter i lager med träpellets. Även sensorer för explosionsgräns har givit falskt utslag i förråd med träpellets. Man bör vara medveten om eventuell korskänslighet och låta utvärdera mätinstrumenten i de miljöer som de ska användas i. Hör även med instrumentleverantörerna om eventuell korskänslighet. Då utvecklingen av mätinstrument är snabb så har vi valt att inte göra en sammanställning i denna rapport.

Andningsutrustning

Inga andningsfilter skyddar mot kolmonoxid eller syrgasbrist. Finns behov att gå in i farlig atmosfär ska tryckluftsmatad andningsluft användas. En kolfiltermask kan ge en falsk känsla av säkerhet då den tar bort lukter av till exempel terpenier, aldehyder och andra dofter som man förknippar med träpellets och flis. Kolfilter är dock ett alternativ för att skydda sig mot irriterande aldehyder i ett pelletslager då CO-halterna inte är ett problem. Används en bärbar filterenhet med batteridrivna fläkt och friskluftshuva skyddas även ögonen.

I avvaktan på bättre rutiner och metoder för att minska dammexponering kan det vara nödvändigt att använda andningsskydd med partikelfilter. För att även skydda ögonen

mot damm kan en helmask användas alternativt friskluftshuva. Heltäckande arbetskläder skyddar mot hudkontakt av damm.

Skyltning av pelletsförråd och slutna utrymmen

Skyltning utgör ofta den första signalen om risker. Efter den senaste tidens dödolyckor i pelletsförråd har de svenska branschorganisationerna PiR och Pellsam, liksom deras motsvarigheter i Österrike och Tyskland, nyligen skärpt sina riktlinjer inför leverans av pellets, figur 15. Det tål att upprepas att varningsskyltar som sitter på ovansidan av en ingångslucka eller utsidan på en dörr, döljs när dessa öppnas eller avlägsnas. Varningstext bör därför även finnas så att den blir läslig när luckan eller dörren är öppen.



Figur 15. Varningsskylt för pelletsförråd framtagen av PiR och Pellsam (till vänster) och en framtagen av ProPellets, Österrike (till höger).

Säkerhetsdatablad

Kemikalieinspektionens förordning för klassificering, märkning och förpackning (CLP, Classification, Labeling and Packaging) anger inget krav på att säkerhetsdatablad ska överlämnas i anslutning till leverans av träpellets (Europaparlamentet, 2008). CLP-förordningen styrs i sin tur av REACH-dokumentet, där man i artikel 31 specificerar kraven på säkerhetsdatablad (Europaparlamentet, 2006). Sammantaget finns det en lucka i regelverket för varor, ämnen eller blandningar som i sig är ofarliga men vid förvaring i slutet utrymme avger ämnen eller förbrukar syre och ger upphov till atmosfärer som är farliga. Det är inte bara träpellets, träflis och timmer som har dessa egenskaper, utan även till exempel spannmål kan ge upphov till syrebrist och kolmonoxid.

Den kanadensiska organisationen WPAC (Wood Pellet Association of Canada) har tagit fram ett förslag till säkerhetsdatablad (MSDS) för träpellets både för bulkhantering och hantering i säckar. Dessa finns publicerade i The Pellet Handbook (Obernberger and Thek, 2010).

Arbetsmiljöverkets föreskrifter

Följande föreskrifter från Arbetsmiljöverket kan vara tillämpliga och ge vägledning i det förebyggande riskarbetet med gaser och kemikalier i slutna utrymmen:

Arbete i slutet utrymme, AFS 1993:3

Användning av personlig skyddsutrustning, AFS 2001:3

Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar, AFS 2005:17

Hamnarbete, AFS 2001:9

Arbete i explosionsfarlig miljö, AFS 2003:3

Gaser, AFS 1997:7

Kemiska arbetsmiljörisker, AFS 2000:4

Systematiskt arbetsmiljöarbete, AFS 2001:1

I AFS 1993:03 definieras ett slutet utrymme, som ett utrymme där det på grund av otillräcklig ventilation kan bildas farlig atmosfär, och där det är svårt att ta sig in och ut. Ett slutet utrymme är dessutom ofta en tillfällig arbetsplats. Definitionen stämmer i sin helhet in på de mindre förråd, silos och trapphus på fartyg som vi beskrivit, däremot inte för planlager, där arbete ofta sker under längre perioder och det även är lätt att ta sig ut. AFS 1993:03 beskriver vidare planering av arbetet, riskanalys, ventilering, skyddsvakt, tillträdestillstånd och skyddsutrustning.

Sjöfartsverkets föreskrifter

Sjöfartsverkets föreskrifter om lastning och lossning av bulkfartyg, SJÖFS 2003:10 är tillämpliga inom detta område, och kan utgöra vägledning i arbetet med att förebygga risker.

IMO

För sjöfrakter gäller BC-koden (Code of safe practice for solid bulk cargoes) (IMO, 2005). I ett appendix till BC-koden finns en rekommendation med riktlinjer för tillträde till slutna utrymmen.

Branschorganisationer – pellets

Pelletsindustrin omfattar tillverkare av pellets, brännare och pelletsförråd samt en omfattande distributionskedja. Det finns ett flertal organisationer som bevakar branschintressena och nedan följer en förteckning av de största. Informationen om respektive organisation är sammanfattad från deras hemsida.

PiR – Pelletsindustrins Riksförbund är en organisation för svenska företag som producerar och marknadsför pellets för energiändamål. Bland PiRs medlemmar finns 27 stora, medelstora och mindre företag som tillsammans står för över 80 % av den svenska produktionen. Hemsida: www.pelletsindustrin.org

Svebio – Svenska Bioenergiföreningen bildades 1980. Föreningen är ideell och öppen för alla som vill verka för att på saklig grund få till stånd en ökad användning av bioenergi. Inom Svebio finns representanter för bioenergianvändare, -producenter, -förädlare, övriga energiföretag, tillverkare och leverantörer av utrustning, forskare, utbildningsinstitutioner, konsumenter, entreprenörer samt planerande och reglerande myndigheter.

Hemsida: www.svebio.se (innehåller många länkar till andra organisationer)

SBBA – Swedish Heating Boilers and Burners Association, är en förening för tillverkare och leverantörer av värmepannor, vattenvärmare och brännare samt tillhörande produkter och tjänster. Hemsida: www.sbba.se

Pellsam – Pelletsintressenters samorganisation är en ekonomisk förening initialt bildat av tillverkare/agenter av pelletsrelaterad utrustning. Målsättningen är att utifrån ett konsumentperspektiv öka användningen av pellets och pelletsrelaterad uppvärmningsteknik. Hemsida: www.pellsam.se

NäPFo – Nätverket för pelletsforskare drivs på frivillig basis och har för närvarande ett 50-tal medlemmar vars forskning täcker många olika aspekter, allt ifrån systemaspekter, råvaror och produktion till förbränning och emissioner. Nätverket stöds ekonomiskt av PellSam, PiR och Svebio. Hemsida: www.svebio.se/pelletsforskning

Referenser

- ALVAREZ DE DAVILA, E. (1999) Arbetsmiljön vid hantering av träpellets för energiproduktion samt arbetsmiljöerfarenheter vid eldning av olivkross och halm. Stockholm, IVL Swedish Environmental Research Institute.
- ALVAREZ DE DAVILA, E. (2002) Miljöanpassad energiproduktion och arbetsmiljö. Tillverkning av träpellets. Stockholm, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- ARBETARSKYDDSSTYRELSEN (1993) *Arbete i slutet utrymme* AFS 1993:3, Solna, Arbetsarkyddsstyrelsen.
- ARBETSMILJÖVERKET (2003) *Arbete i explosionsfarlig miljö* AFS 2003:3, Solna, Arbetsmiljöverket.
- ARBETSMILJÖVERKET (2005) *Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar* AFS 2005:17, Solna, Arbetsmiljöverket.
- ARSHADI, M., GELADI, P., GREF, R. & FJALLSTROM, P. (2009) Emission of volatile aldehydes and ketones from wood pellets under controlled conditions. *Ann Occup Hyg*, 53, 797-805.
- ARSHADI, M. & GREF, R. (2005) Emission of volatile organic compounds from softwood pellets during storage. *Forest Prod. J*, 55, 132-135.
- BACK, E. L. & ALLEN, L. H. (2000) *Pitch control, wood resin and deresination*, Atlanta, Tappi Press.
- BINGHAM, E., COHRSEN, B. & POWELL, C. H. (Eds.) (2001) *Patty's Toxicology*, New York, John Wiley & Sons, Inc.
- CEVIK, A. A., UNLUOGLU, I., YANTURALI, S., KALKAN, S. & SAHIN, A. (2006) Interrelation between the Poisoning Severity Score, carboxyhaemoglobin levels and in-hospital clinical course of carbon monoxide poisoning. *Int J Clin Pract*, 60, 1558-64.
- EDMAN, K., LOFSTEDT, H., BERG, P., ERIKSSON, K., AXELSSON, S., BRYNGELSSON, I. & FEDELI, C. (2003) Exposure assessment to alpha- and beta-pinene, delta(3)-carene and wood dust in industrial production of wood pellets. *Ann Occup Hyg*, 47, 219-26.
- ERIKSSON, K., LEVIN, J., SANDSTRÖM, T., LINDSTRÖM-ESPELING, K., LINDEN, G. & STJERNBERG, N. (1997) Terpene exposure and respiratory effects among workers in Swedish joinery shops. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 23, 114-20.
- ERIKSSON, K. & LILJELIND, I. (2000) Consensus report for Wood Dust. IN MONTELIUS, J. (Ed.) *Scientific Basis for Swedish Occupational Standards XXI*. Solna, Arbetslivsinstitutet.
- ERIKSSON, K., STJERNBERG, N., LEVIN, J., HAMMARSTRÖM, U. & LEDIN, M. (1996) Terpene exposure and respiratory effects among sawmill workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 22, 182-90.
- ERNSTGARD, L., IREGREN, A., SJOGREN, B., SVEDBERG, U. & JOHANSON, G. (2006) Acute effects of exposure to hexanal vapors in humans. *J Occup Environ Med*, 48, 573-80.
- EUROPAPARLAMENTET (2006) Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1907/2006 - REACH Dokumentationshjälpmedel.
- EUROPAPARLAMENTET (2008) EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EG) nr 1272/2008 om klassificering, märkning och förpackning av ämnen och blandningar. *Europeiska unionens officiella tidning*, L353, 1-1355.
- FRANKEL, E. N., HU, M. L. & TAPPEL, A. L. (1989) Rapid headspace gas chromatography of hexanal as a measure of lipid peroxidation in biological samples. *Lipids*, 24, 976-81.
- GRANSTRÖM, K. M. (2010) Emissions of hexanal and terpenes during storage of solid wood fuels. *Forest Prod. J*, 60, 27-32.
- HAGSTROM, K., AXELSSON, S., ARVIDSSON, H., BRYNGELSSON, I. L., LUNDHOLM, C. & ERIKSSON, K. (2008a) Exposure to wood dust, resin acids, and volatile organic compounds during production of wood pellets. *J Occup Environ Hyg*, 5, 296-304.
- HAGSTROM, K., LUNDHOLM, C., ERIKSSON, K. & LILJELIND, I. (2008b) Variability and determinants of wood dust and resin acid exposure during wood pellet production: measurement strategies and bias in assessing exposure-response relationships. *Ann Occup Hyg*, 52, 685-94.
- IARC (1997) *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Wood Dust and Formaldehyde*, Geneva, World Health Organisation, International Agency for Research on Cancer
- ILO (1998) *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* Geneva, Switzerland, International Labour Organisation.

- IMO (2005) *Code of safe practice for solid bulk cargoes, 2004: BC Code*, London, International Maritime Organization.
- KLINTENBERG, C., OLOFSSON, J., HELLQUIST, H. & SOKJER, H. (1984) Adenocarcinoma of the ethmoid sinuses. A review of 28 cases with special reference to wood dust exposure. *Cancer*, 54, 482-8.
- KU, H. L., YANG, K. C., LEE, Y. C., LEE, M. B. & CHOU, Y. H. (2010) Predictors of carbon monoxide poisoning-induced delayed neuropsychological sequelae. *Gen Hosp Psychiatry*, 32, 310-4.
- KUANG, X., SHANKAR, T. J., BI, X. T., LIM, C. J., SOKHANSANJ, S. & MELIN, S. (2009a) Rate and peak concentrations of off-gas emissions in stored wood pellets--sensitivities to temperature, relative humidity, and headspace volume. *Ann Occup Hyg*, 53, 789-96.
- KUANG, X., SHANKAR, T. J., BI, X. T., SOKHANSANJ, S., LIM, C. J. & MELIN, S. (2008) Characterization and kinetics study of off-gas emissions from stored wood pellets. *Ann Occup Hyg*, 52, 675-83.
- KUANG, X., SHANKAR, T. J., SOKHANSANJ, S., LIM, C. J., BI, X. T. & MELIN, S. (2009b) Effects of headspace and oxygen level on off-gas emissions from wood pellets in storage. *Ann Occup Hyg*, 53, 807-13.
- LACASSE, Y. & CORMIER, Y. (2005) Hypersensitivity pneumonitis. IN CORDIER, J.-F. (Ed.), *Orphanet encyclopedia*.
- LEVITT, M. D., ELLIS, C., SPRINGFIELD, J. & ENGEL, R. R. (1995) Carbon monoxide generation from hydrocarbons at ambient and physiological temperature: a sensitive indicator of oxidant damage? *Journal of Chromatography*, 695, 324-328.
- LÖNNERMARK, A., PERSSON, H., BLOMQVIST, P. & HOGLAND, W. (2008) Biobränslen och avfall - Brandsäkerhet i samband med lagring. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- MAIIF, M. A. I. F. (2010) PRELIMINARY SURVEY REPORT ON ENCLOSED SPACE INCIDENTS. Marine Accident Investigators' International Forum
- MELIN, S. (2007) Ocean Transportation of Pellets. *Canbio/IEA Conference*. Toronto, Canada.
- NAC/AEGL (2008) Acute exposure guideline levels (AEGLs) Carbon monoxide. *National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances*
- NIOSH (1994) Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations NTIS Publication No. PB-94-195047. National Institute for Occupational Health and Safety.
- NOORDERMEER, M. A., VELDINK, G. A. & VLIEGENTHART, J. F. (2001) Fatty acid hydroperoxide lyase: a plant cytochrome p450 enzyme involved in wound healing and pest resistance. *Chembiochem*, 2, 494-504.
- OBERNBERGER, I. & THEK, G. (Eds.) (2010) *The Pellet Handbook - The production and thermal utilisation of biomass pellets*, London, Earthscan.
- PERSSON, H. & BLOMQVIST, P. (2004) Släckning av silobränder. Borås, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- PERSSON, H., BLOMQVIST, P. & TUOVINEN, H. (2009) Inertering av siloanläggningar med kvävgas- Gasfyllnadsförsök och simuleringar. Borås, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- PIR (2010) Pelletsindustrins Riksförbund.
- RAMIREZ, A., GARCIA-TORRENT, J. & TASCON, A. Experimental determination of self-heating and self-ignition risks associated with the dusts of agricultural materials commonly stored in silos. *J Hazard Mater*, 175, 920-7.
- REUSS, R. & PRATT, S. (2000) Accumulation of carbon monoxide and carbon dioxide in stored canola. *J Stored Prod Res*, 37, 23-34.
- SCHIEBERLE, P. & GROSCH, W. (1981) Model experiments about the formation of volatile carbonyl compounds. *J. Am. Oil Chem. Soc*, 58, 602-7.
- SJÖFARTSINSPEKTIONEN (2007) Bulkfartyget SAGA SPRAY - VRWW5 - dödsfall 16 november 2006. *Sjöfartsverkets rapportserie*
- SKOGSSTYRELSEN (2011) Skogsstatistik. Jönköping, Skogsstyrelsen.
- SOCIALSTYRELSEN (2010) Socialstyrelsens databas utdrag den 2010-11-19.
- SVEDBERG, U., HÖGBERG, H.-E., HÖGBERG, J. & GALLE, B. (2004) Emission of Hexanal and Carbon Monoxide from Storage of Wood Pellets, a Potential Occupational and Domestic Health Hazard. *Annals of Occupational Hygiene*, 48, 339-349.
- SVEDBERG, U., PETRINI, C. & JOHANSON, G. (2009) Oxygen depletion and formation of toxic gases following sea transportation of logs and wood chips. *Ann Occup Hyg*, 53, 779-87.

- SVEDBERG, U., SAMUELSSON, J. & MELIN, S. (2008) Hazardous off-gassing of carbon monoxide and oxygen depletion during ocean transportation of wood pellets. *Ann Occup Hyg*, 52, 259-66.
- ULFSSON, B. (2009) 90 sekunder - Dödliga risker med träprodukter 3/2009. *90 sekunder*. Sverige, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. <http://www.msb.se/sv/Produkter--tjanster/90-sekunder/>
- WHITTLE, C. P., WATERFORD, C. J., ANNIS, P. C. & BANKS, H. J. (1994) The production and accumulation of carbon monoxide in stored dry grain *Journal of Stored Products Research*, 30, 23-26.
- WINDHOLZ, M. (Ed.) (1983) *The Merck Index*, Rahway, N.J, USA, Merck & CO., Inc.
- ZAGAMI, A. S., LETHLEAN, A. K. & MELLICK, R. (1993) Delayed neurological deterioration following carbon monoxide poisoning: MRI findings. *J Neurol*, 240, 113-6.

Arbetsmiljöverket
112 79 Stockholm
Besöksadress Lindhagensgatan 133
Telefon 08-730 97 00
Fax 08-730 19 67
E-post: publikationsservice@av.se
www.av.se

This publication can be download from
www.av.se/publikationer/rapporter/