

Analys av riktlinjer för utomhuslagring av trädbaserat biobränsle till kraftvärmeverk

Frank Graveus & Alexandra Sutinen

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5473, Lund 2015

**Analys av riktlinjer för utomhuslagring av trädbaserat
biobränsle till kraftvärmeverk**

Frank Graveus & Alexandra Sutinen

Lund 2015

Titel

Analys av riktlinjer för utomhuslagring av trädbaserat bränsle till kraftvärmeverk

Title

Analysis of guidelines for storing of solid biofuels

Author

Frank Graveus & Alexandra Sutinen

Report 5473

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB—5473--SE

Number of pages: 117

Illustrations: Frank Graveus & Alexandra Sutinen

Keywords

CHP industry, heating plant, fuel storage, guidelines, solid biofuel, wood fuel.

Sökord

Kraftvärmeverk, värmeverk, bränslelagring, riktlinjer, biobränsle, trädbränsle.

Abstract

The aim of this master thesis is to analyse the development of existing guidelines for storing of solid biofuels as well as highlighting doubts on how storage and handling of biofuel within CHP industry and paper mass industry. Through interviews and site visits, identify what risk reducing measures that are applied in practice. In an effort to analyse statistics and examine the frequency of the various events statistics have been collected since this information has not been able to be obtained otherwise. The collected statistics show that the likelihood of overheating in the biofuel is considerably larger than the occurrence of a smouldering fire or the large-scale fire. This means that risk reducing measures primarily should endeavour to prevent the occurrence of an overheating fuel stock. The authors recommend focusing on measures to prevent the occurrence of a smouldering fire. The statistics are considered by the authors to constitute a basis for discussion and a hint of past events and is not statistically significant in sufficiently large scale to be used as a basis for decision-making in matters relating to fuel stock. The result of the analysis is that the existing guidelines are not fully developed with the operations experience of the CHP industry.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2015.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046 - 222 73 60

Department of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
<http://www.brand.lth.se>
Telephone: +46 46 222 73 60

Sammanfattning

Miljövänligare alternativ för produktion av elektricitet och värme har resulterat i en kraftig ökning av bibränsleanvändning. Det har medfört att det lagras stora mängder bränsle på kraftvärmeverksanläggningar och på pappersmassaanläggningar i Sverige. Lagringen är förknippad med olika risker som kan medföra konsekvenser på hälsa, miljö, egendom, räddningstjänstens insatsmöjligheter samt produktionssäkerhet. Risker uppstår till följd av själva lagringen samt att bränslet som lagras riskerar att självantändas eller antänds av externa antändningskällor.

Konsekvenserna som uppstår i samband med brand i bränslelager har visat sig vara allvarliga och kostsamma då det medför både primära och sekundära kostnader i form av bland annat förlorat bränslevärde, ekonomiska förluster och produktionsstopp. Konsekvensen för en uppkommen händelse som kan medföra avbrott i produktionen bedöms som allvarlig, vilket kräver underlag för bedömning av sannolikhet för de identifierade händelser som är aktuella att analysera. Genom en sammanvägning av sannolikheten och konsekvensen kan risken bedömas och värderas.

Det finns generella råd och riktlinjer utgivna av branschorganisationer, försäkringsbolag samt forskningsinstitutioner för hur lagring och hantering av bränsle ska ske. Riktlinjerna har i olika rapporter och studier belysts i syfte att säkerställa att lagringen sker på ett betryggande sätt. De olika riktlinjerna bygger på resultat av en serie studier som utfördes på 60-, 70- och 80 talet, vilket ser ut som ingen ny forskning eller kunskap har tillförts i ämnet. Det innebär att den samlade erfarenheten och kompetensen som finns bland personalen hos anläggningar som varit i drift under lång tid ej tagits tillvara i branschrekommendationerna. Genom analys som utförts i examensarbetet har det kunnat konstateras att framtagningen av vissa av dagens riktlinjer inte alltid har utförts på ett vetenskapligt och metodiskt. Riktlinjerna och rapporter som studerats påvisar att det som utförts i ämnet under senaste 30 åren har till stor del endast utförts genom korsreferering till tidigare utförda studier. Detta innebär att inga riktlinjer eller rekommendationer för bränslelagring har tagit hänsyn till varken drifterfarenhet eller ny forskning. Genom platsbesök som utförts i samband med examensarbetet har det visat sig att riktlinjerna normalt inte heller tillämpas i praktiken. Det råder många delade uppfattningar om hur lagringen ska ske, vilka bränslen som medför högre risk för självantändning, hur bedömning av risker ska ske, hur kostnadseffektiva åtgärder ska vidtas samt hur en effektiv släckinsats ska genomföras.

Syftet med examensarbetet har varit att följa och analysera utvecklingen av dessa riktlinjer samt att belysa tveksamheter för hur lagring och hantering av bränsle inom kraftvärmeindustrin och pappersmassaindustrin sker och utifrån det ge förslag till fortsatt arbete inom området. Genom intervjuer och platsbesök kartläggs vilka riskreducerande åtgärder som tillämpas i praktiken. För att kunna analysera statistik och undersöka frekvensen för de olika händelserna har statistik samlats in då dessa uppgifter inte entydigt kunnat inhämtas på annat sätt.

Genom utförd litteraturstudie, intervjustudie, enkätstudie samt utförda platsbesök har författarna dragit följande slutsatser i rapporten:

- De parametrar som är mest styrande för uppkomst av brand är:
 - Varmgång till följd av biologisk- och kemisk nedbrytning som resulterar i glödbrand
 - Metallpartiklar och främmande material som agerar som katalysatorer
 - Blandning av olika bränslesorter och olika fukthalt
 - För hög lagringshöjd för vissa bränslesorter såsom till exempel salix, GROT och stamvedsflis

- För lång lagringstid
- Körning av lastfordon i basen av bränslehögen som medför packning och högre densitet/tryck i stacken
- För dålig avrinningsmöjlighet i bränslehögar med ansamlingar av vatten och fuktvandring som följd
- Extern antändningskälla, oftast från lastfordon och leveransfordon
- Det finns för lite insamlad statistik kring olyckshändelser förknippade med utomhuslagring av trädbaserat biobränsle. Inrapporteringsystemet från räddningstjänsten bör bli mer detaljerat i syfte att kunna dra lärdom av tidigare inträffade olyckor alternativt bör ett gemensamt inrapporteringsystem i branschorganisationen implementeras
- Befintliga riktlinjerna bedöms inte vara tillräckligt tillämpliga och har inte följt varken bränsleutvecklingen eller inkluderat de senaste 30 årens driftsinformation. De tillämpas heller inte fullt ut i praktiken
- Det krävs fortsatt arbete inom området för att förbättra och utveckla riktlinjerna. Arbetet bör bygga på tillgänglig driftserfarenhet och bör fokusera på följande punkter:
 - Hur kan varmgång och glödbrand förhindras, både med hänsyn till att minska risken för bränder men även för att reducera förstörelsen av energiinnehållet i bränslet?
 - Kostnad/nytta analys bör utföras för att få en uppfattning över de ekonomiska förlusterna som kan förväntas med hänsyn till kontinuerlig varmgång och även glödbrand.
 - Hur kan den kontinuerliga temperaturmätningen för dessa fenomen förbättras, finns det ny teknik som kan användas?
 - Vilka lagringshöjder och lagringstider ska gälla för olika bränslen?
 - Hur ska glödbränder släckas och vilken metodik ska räddningstjänsten använda vid släckarbete?
 - Vilka krav på skyddsavstånd mellan stackar av olika material samt till byggnad ska gälla för anläggningarna?
 - Vilka miljökrav finns på bränslehanteringen och hur beaktas den kontinuerliga varmgången och vanligt förekommande glödbränderna?
 - Hur ska anläggningarna hantera förorenat släckvatten både från internt hanterade släckarbeten samt från räddningstjänstens insats?
- Utifrån den beräknade sannolikheten som presenterats i rapporten framgick att det är störst sannolikhet att varmgång inträffar. Efter det kommer storskalig brand och lägst sannolikhet att inträffa har fenomenet glödbrand. Sannolikheten anses dock inte ge en korrekt återspeglning av praktiken på grund av tolkningsfel, svarsbortfall och definitionsproblematik. Sannolikheten är inte statistiskt säkerställd men tillsammans med kommentarerna i svaren kan resultatet användas som indikation på hur situationen ser ut på anläggningarna där det framgår tydligt att varmgång och glödbrand är en normal driftsförutsättning. Därmed bör skyddsåtgärder implementeras för att reducera dessa risker. Detta bör i sin tur reducera sannolikheten för uppkomst av storskalig brand
- För att reducera konsekvensen vid utvecklad brand i bränslelager bör avstånd mellan bränslestackar, mellan stackar och bränsletransportsystem samt mellan stackar och byggnader definieras väl och säkerställas
- Silolagring tillsammans med gasinjektering är ett fördelaktigt sätt för att både minimera risken för glödbrand men också för att hantera en uppkommen sådan händelse. Detta bör ske i kombination med temperaturmätning eller annan form av tidig indikering för glödbrand

- Kontinuerligt arbete med insatsplaner och beredskapsplaner rekommenderas för att säkerställa att både verksamheten och räddningstjänsten är förberedda på vilka risker som finns och vilka insatser som ska utföras

Slutsatsen av utförd litteraturanlys visar även på att underlaget till lagringsrekommendationerna, och därmed även lagringsrekommendationerna, anses bristfälliga då de i princip endast bygger på en och samma undersökning. För att utveckla och förbättra befintliga riktlinjer samt att komplettera dessa med drifterfarenhet föreslås fortsatt arbete inom området.

Utifrån utförda intervjuerna i samband med platsbesöken visade det sig att respektive anläggning hanterar sitt bränsle främst utifrån driftserfarenhet och med mindre fokus vid de tillgängliga rekommendationerna för lagring av bränsle. Dessa riktlinjer som levt vidare är i princip oförändrade under cirka 30 år. De bedöms enligt författarna till denna rapport behöva vara föremål för fortsatta forskningsuppdrag. Detta forskningsuppdrag bör ha som huvuduppdrag att inkludera de senaste 30 årens utveckling och driftserfarenhet i lagringsrekommendationer. De främsta punkter som bedöms behöva undersökas har presenterats i ovanstående punktlista. Det är författarnas rekommendation att detta arbete utförs i en arbetsgrupp där representanter finns med från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, branschorganisation samt forskningsorgan. Det skulle medföra att eventuella nya riktlinjer uppdateras med både driftserfarenhet och aktuell forskning med koppling till myndighetskrav. Detta skulle även förenkla för anläggningsägare som lagrar bränsle i olika kommuner som upplever att bland annat krav för lagring skiljer sig från kommun till kommun.

Summary

More environmentally friendly alternative for production of electricity and heat has resulted in a sharp increase in biofuel use. This has resulted in a large amount of fuel that is stored in CHP plants and paper mass plants all over Sweden. The storage is associated various risks that have consequences on health, environment, property, rescue response opportunities as well as production safety. Risks arise due to storing the biofuel itself as well as that the stored biofuel fuel self-ignite or ignited by external ignition sources.

The consequences that arise from a fire occurring in the biofuel storage has proven seriously and costly as it involves both primary and secondary costs in the form of, among other things, lost fuel, financial losses and production downtime. The consequence of an emerging event that can cause interruptions in production is assessed as serious, which requires assessment of the probability of the identified events. Through a combination of probability and consequence can the risk be assessed and valued.

There are general guidelines issued by professional associations, insurance companies and research institutions for the storage and handling of biofuel and have in various reports and studies been highlighted to ensure that the material is stored in a secure manner. These guidelines are based on results of a series of studies conducted at 1960's, -70's and -80's where it appears that no new research or experience has been added to the guidelines. This means that the combined experience and expertise exists mostly among the staff of the facilities which have been in operation for a long time. Through the analysis carried out in this thesis, it has been concluded that the development of today's guidelines have not always been carried out in a scientific and methodical point of view. The available information and recommendations comes mostly from cross-referencing to previous studies. Through site visits carried out in the thesis work it has shown that these guidelines are normally not applied in practice. There are many different views on how the storage is to be conducted, which fuels results in a higher risk of spontaneous ignition, how risk assessment is to be carried out, how cost-effective measures should be taken and how an effective rescue response is to be carried out.

The aim of the thesis was to follow and analyse the development of these guidelines as well as highlighting doubts on how storage and handling of biofuel for within CHP industry and paper mass industry and make suggestions for further work in the field. Through interviews and site visits, identify what risk reducing measures that are applied in practice. In an effort to analyse statistics and examine the frequency of the various events statistics have been collected since this information has not been able to be obtained otherwise.

The collected statistics show that the likelihood of overheating in the biofuel is considerably larger than the occurrence of a smouldering fire or the large-scale fire. The statistics also show that the probability of occurrence of a large-scale fire is greater than the smouldering fire, which the authors are not considered likely based on the comments, experiences and responses results obtained but rather due to uncertainties in the questionnaire survey and the interpretations and responses made. This means that risk reducing measures primarily should endeavour to prevent the occurrence of an overheating fuel stock. The authors also recommend focusing on measures to prevent the occurrence of a smouldering fire. The statistics are considered by the authors to constitute a basis for discussion and a hint of past events and is not statistically significant in sufficiently large scale to be used as a basis for decision-making in matters relating to fuel stock.

With the conducted literature review, interview, questionnaire and conducted site visits, the authors have drawn the following conclusions in this report:

- The parameters that are most governing the occurrence of fire are:
 - Overheating in biofuel due to biological and chemical degradation that results in smouldering fires
 - Metal particles and foreign objects that act as catalysts
 - Mixing of different fuel types and different moisture content
 - To high allowed storage height for certain fuel types such as willow, GROT and woodchips made from material not accepted in paper mass industry.
 - To long storage time
 - The use of vehicles in the base of the fuel pile causing compaction and higher density / pressure in the stack
 - Not enough drainage possibility from the fuel piles with accumulations of water and moisture migration as a result
 - External ignition source, usually from trucks and delivery vehicles
- There is insufficient collected statistics on accidents associated with outdoor storage of tree-based biofuel. The rescue response report system from the emergency services should be more detailed in order to be able to learn from past accidents, alternatively, a common reporting system in the industry organization for CHP industry should be implemented
- Existing guidelines are not deemed to be sufficiently relevant and has not followed either the development or included the last 30 years operating information. They are also not applied fully in practice
- Further work in the area is recommended of improving and developing the existing guidelines. The work should be based on available experience and should focus on the following aspects:
 - How can overheating and smouldering fire be prevented, with respect both to reduce the risk of fires, but also to reduce the energy loss in the fuel?
 - How can the continuous temperature measurement of these phenomena be improved, with new technologies that can be used?
 - What limit for storage heights and storage times shall be applied to different fuels?
 - How can smouldering fires be extinguished and how shall the rescue response act in terms of firefighting work?
 - What requirements for minimum distance between stacks of different materials, and buildings shall apply?
 - What are the impacts on the environment regarding the emissions from fuel storage and how the continuous overheating and smouldering fires?
 - How will contaminated fire extinguishing water from both internally handled extinguishing work and from rescue response firefighting?
- Based on the calculated probability presented in the report showed the highest probability for occurrence is overheating. After that, the large-scale fire and least likely to occur, the phenomenon smouldering fire. The probability is not considered to provide an accurate reflection of practice due to interpretation errors, non-response and problems of definitions. The probability is not statistically significant but along with the comments in the responses can the result be used as an indication of how the situation looks at the plants. It is clear that overheating and smouldering fire is considered a normal operating condition. Thus, protection

measures should be implemented to reduce these risks. This in turn should reduce the probability of occurrence of large-scale fires.

- To reduce the consequences from a fully developed fire in the fuel storage should distance between the fuel stacks, between stacks and fuel transport and between stacks and buildings be well defined and secured
- Storage of biofuel in silos equipped with gaseous injection is recommended to both minimize the risk of smouldering fire but also to manage such an event. This should be performed in combination with temperature measurement or other form of early indication for smouldering fire
- Continuous work with rescue plans and contingency plans are recommended to ensure that both employees and emergency services are prepared for the risks that exist for the responses that are to be performed.

The conclusion from literature analysis also shows that the basis for, and thus also the storage recommendations, are considered to be inadequate as they basically are based on the same survey. In order to develop and improve existing guidelines it is suggested further work in the field.

Based on the interviews conducted during site visits revealed that each facility handles its fuel primarily based on experience and with less focus on the available guidelines for the storage of biofuel. These guidelines have virtually been unchanged for about 30 years according to the authors of this report to be the subject of further research assignments. This research work should have as its primary mission to include the last 30 years developing and operating experience. The main points that are to be examined have been presented in listings above. It is the authors' recommendation that this work is carried out in a working group in which representatives exist from the Swedish Civil Contingencies Agency, professional CHP organization and research organizations. That would mean that a set of new guidelines can be updated with both operational experience and current research related to regulatory requirements. This would also make it easier for plant owners that store fuel in different municipalities who feel that storage requirements differ from municipality to municipality.

Förord

Författarna till examensarbetet vill rikta ett stort tack till de personer som varit till hjälp och stöd under arbetets gång och möjliggjort rapportens färdigställande.

Bjarne Husted

Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Handledare.

För handledning, engagemang och styrning av arbetet som resulterat i detta examensarbete.

Christian Jönsson

Sweco Systems, Malmö.

Biträdande handledare.

För tips och råd kring bränslelager i praktiken samt för engagemang och vägledning.

Pontus Andersson

Hässleholm och Tyringe kraftvärmeverk.

Bränsleansvarig samt representant för kraftvärmeverk i Hässleholm och Tyringe.

För deltagande i enkätstudie och för trevligt bemötande i samband med platsbesök.

Magnus Johansson & Martin Resmark

Örtofta kraftvärmeverk.

Bränsleansvariga representanter för kraftvärmeverket i Örtofta.

För deltagande i enkätstudie och för trevligt bemötande i samband med platsbesök.

Anders Haglund & Thomas Gustafsson

Nymölla pappersbruk.

Brandskyddsansvarig samt bränsleansvarig representant för kraftvärmeverket i Nymölla.

För deltagande i enkätstudie och för trevligt bemötande i samband med platsbesök.

Författarna till denna rapport vill även tacka samtliga kraftvärmeanläggningar som deltagit i vår undersökning. Ett stort tack riktas även till Christian Jönsson, Martin Uulas och Magnus Johansson som givit oss tillåtelse att använda deras bilder i rapporten.

Lund 2015-03-08



Frank Graveus



Alexandra Sutinen

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	v
Summary	ix
Förord.....	xiii
Innehållsförteckning.....	xv
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Mål	2
1.4 Problem- och frågeställning	2
1.5 Avgränsningar	3
1.6 Metod.....	4
1.6.1 Förhållningssätt	4
1.6.2 Metodik	4
1.6.3 Verktyg för datainsamling och analys	4
1.6.4 Vetenskaplighet.....	7
2 Trädbaserat biobränsle.....	9
2.1 Bark	10
2.2 Spån.....	10
2.3 Sönderdelade hyggesrester	10
2.4 Flis.....	10
2.4.1 Skogsflis	11
2.4.2 Returflis	11
3 Presentation och analys av riktlinjer för bränslelager	13
3.1 Värmeforsk - Bränslehandboken	13
3.2 Trygg Hansa - riktlinjer för utomhuslagring av flis, bark, spån och torv	13
3.3 SP forskningsrapport - Biobränslen och avfall – Brandsäkerhet i samband med lagring	15
3.4 Nordic Innovation Centre -Guidelines for storing and handling of solid biofuels	16
3.5 Analys av riktlinjer	16
3.5.1 Del 1 - Bränslehandboken	16
3.5.2 Del 2 - Trygg Hansas riktlinjer.....	17
3.5.3 Del 3 - SP Biobränslen och avfall	17
3.5.4 Del 4 - Nordic Innovation Centre	17
3.5.5 Slutsats analys av riktlinjer.....	18
4 Beskrivning av bränslelagring.....	21
4.1 Utomhuslagring	21

4.2	Silolagring	23
4.3	Jämförelse mellan olika metoder för lagring.....	24
5	Brand i bränslelager.....	25
5.1	Styrande parametrar för uppkomsten av brand.....	25
5.1.1	Varmgång och självantändning	25
5.1.2	Glödbrand.....	26
5.1.3	Externa antändningskällor	27
5.1.4	Storskalig brand.....	28
5.1.5	Lagringstid.....	28
5.1.6	Omgivning.....	28
5.2	Inträffade bränder i samband med bränslelager	28
5.3	Släckningsproblematik	30
5.3.1	Släckproblematik för utomhuslagring	30
5.3.2	Silolagring	31
6	Risker förknippat med bränslelager.....	35
6.1	Brand- och brandspridning.....	35
6.1.1	Hälsa.....	35
6.1.2	Miljö	35
6.1.3	Egendomsskydd.....	36
6.2	Kända riskreducerande åtgärder för brand och brandspridning	36
6.3	Mikrobiell aktivitet och dammbildning.....	37
6.4	Syrefattig miljö.....	39
7	Myndigheternas roll och intresse i riktlinjer för bränslelagring	41
8	Resultat av statistiksökning samt intervjustudie.....	43
8.1	Statistiksökning	43
8.2	Intervjuer	43
8.2.1	Intervjuer via enkät.....	44
8.2.2	Intervjuer i samband med platsbesök	44
8.3	Resultat och analys	46
8.3.1	Resultat statistiksökning.....	46
8.3.2	Resultat från intervju via enkät.....	47
8.3.3	Sammanställning av information från platsbesök	53
9	Diskussion	55
9.1	Statistiksökning	55
9.2	Enkätstudie, platsbesök och tillämpade riktlinjer.....	56
9.2.1	Felkällor i enkätstudie	56

9.2.2	Packat eller inte packat material.....	57
9.2.3	Resultat.....	57
9.3	Säkrare lagring	58
9.4	Beräknad sannolikhet	60
9.4.1	Arbetsmiljörisker.....	60
9.4.2	Miljöaspekter.....	61
9.5	Fortsatt arbete inom området.....	61
10	Slutsatser	63
11	Litteraturförteckning	65
	Bilaga 1 – Rekommendationer utgivna av Trygg Hansa (2009).....	69
	Bilaga 2 – Beräkning av maximal lagringskapacitet för olika silotyper	71
	Bilaga 3 – Anläggningar som intervjuades	73
	Bilaga 4 – Enkät vid intervjustudier.....	75
	Bilaga 5 – Enkät till intervju i samband med platsbesök	79
	Bilaga 6 – Information från enkätstudien.....	83
	Bilaga 7 – insamlad information i samband med platsbesök	88

1 Inledning

Denna rapport är en del av examensarbetet (VBRM10) som är en avslutande del av Brandingenjörsprogrammet och Civilingenjörsprogrammet i Riskhantering. Utbildningarna ges vid Lunds Tekniska Högskola. Resultatet av examensarbetet är en skriftlig rapport som presenteras och försvaras vid ett offentligt seminarium. Examensarbetet tillsammans med övrig utbildning leder till Brandingenjörsexamen samt Civilingenjörsexamen i Riskhantering.

I den inledande delen ges en beskrivning till det som ligger till grund för denna rapport. Bakgrund, rapportens problem- och frågeställning, syfte, mål, avgränsningar samt tillämpad metod inom arbetet presenteras i kapitlet.

1.1 Bakgrund

Miljövänligare alternativ för produktion av elektricitet är ett hett ämne i dagens samhälle och har lett till global implementering av kraftvärmeverk (Lönnermark et. al., 2008). I dagsläget byggs det nya kraftvärmeanläggningar i flera länder, bland annat i Sverige, och trenden förväntas fortsätta.

Kraft- och värmeverk har ett produktionsansvar för främst fjärrvärmeanläggningar och fjärrvärmeabonnenter vilket innebär att driftsäkerheten är en högt ställd prioritet. En brand eller uppkommen händelse som medför att produktionen avstannar kan vara en stor olägenhet för kommunen och dess recipienter om andra alternativ för värmeproduktion i form av reservanläggningar inte finns tillgängliga. Konsekvensen för en uppkommen händelse som kan medföra avbrott i produktionen bedöms som allvarlig vilket kräver underlag för bedömning av sannolikhet för de identifierade händelser som är aktuella att analysera. Genom en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens kan risken först bedömas och värderas.

Det bränsle som hanteras och lagras har en hög brandbelastning per nyttjad areaenhet eller markyta. Tillgången till bränslet samt transportererna är en väsentlig del av produktionssäkerheten och förutsättningarna för att kunna leverera kraft och värme. Trots det upplevs, inom kraftindustrin, en osäkerhet i hur bränslet ska förvaras och hur lång tid den kan förvaras innan sannolikheten för uppkomst av brand ökar genom den varmgång som kan uppstå i bränslet, samt vilka skyddsåtgärder som är väsentliga. Lagring samt hantering på felaktigt sätt kan och har lett till självantändning och antändning från externa antändningskällor vid flera tillfällen. Under 2000-talet har det skett ett antal bränder förknippade med bränslelager och träbaserade bränslen som resulterat i både räddningsinsatser, ekonomiska förluster och produktionsbortfall (Lönnermark et. al., 2008).

Det har visat sig att glödbränder i bränslestackar ses som ett normalt driftförhållande snarare än ett katastrofläge. Befintliga metoder för lagring av bränsle har i vissa fall lett till uppkomsten av bränslebränder. Det i sin tur kan medföra följande konsekvenser (Lönnermark et. al., 2008):

- Människor och omgivningen påverkas av rök, lukt samt giftiga gaser från branden
- Om branden resulterar i krävd insats från räddningstjänsten kan omgivningen även påverkas av bland annat förorenat släckvatten
- Ekonomisk förlust för produktionsbolaget och nyttjande av samhällsresurser vid långvarig insats

De ovan nämnda konsekvenserna är några av de anledningar till varför det ska strävas efter att begränsa uppkomsten av brand i lagrat bränsle (Lönnermark et. al., 2008). Vidare innebär en utomhuslagring där bränslet förvaras i stackar en kontinuerlig manuell bearbetning och kontroll som kan innebära en riskexponering för personal som arbetar med bränslet. Riskerna är främst knutna till hälsoaspekter och säkerhetsrisker som kan uppstå vid lagring av bränsle såsom exempelvis fliseldarsjuka samt arbete i syrefattig miljö.

Då rekommendationerna för bränslelager finns i olika handböcker samt ges ut som riktlinjer från försäkringsbolag finns inget tydligt regelverk för begränsningar i bränslestackarnas storlek, form eller lagringstid. Det medför att viss tveksamhet föreligger i vilka krav som ställs och framför allt vem som ställer kraven.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att i första hand belysa de tveksamheter som finns för bränslelager inom kraftvärmeindustrin och ge förslag till fortsatt arbete inom området. Detta för att verksamheter, räddningstjänst, länsstyrelsen och kommuner bedöms behöva mer stöd i beslutsprocessen för hur trädbaserat bränsle ska lagras utomhus. Vidare är syftet att genom intervju och platsbesök redogöra för vilka riskreducerande åtgärder för de olika händelserna som implementeras i verkligheten.

Ett annat syfte med examensarbetet är att samla statistik för att bedöma de olika sannolikheterna för glödbrand, varmgång samt storskalig brand. Ett komplett underlag av den här typen av statistik, angående lagring samt inträffade bränder, saknas idag och anses viktigt för att kunna nyttja erfarenhet och utveckla det till kunskap och kompetens inom det aktuella området (Lönnermark et. al., 2008).

1.3 Mål

Examensarbetet strävar efter att förtydliga bilden av befintliga riktlinjer, från försäkringsbolag och branschorganisation, för hur lagring ska ske samt få en djupare inblick i hur och i vilken utsträckning dessa följs. Målet är även att få en ökad förståelse för de processer som leder till att varmgång uppstår i bränslelager samt vilka konsekvenser det kan leda till och med vilken sannolikhet.

Examensarbetet ska även analysera och utvärdera risker förknippade med biobaserat bränslelager för kraftvärmeverk. Utifrån den analys som presenteras i examensarbetet ska frågan besvaras angående om befintliga riktlinjer kan förbättras. Förbättring ska ske utifrån inriktningen hälsa, miljö, egendomsskydd, räddningstjänstens insatsmöjlighet samt produktionssäkerhet.

1.4 Problem- och frågeställning

I det här avsnittet presenteras problem- och frågeställningar som ska besvaras löpande i examensarbetet samt sammanställs i rapportens sammanfattning:

- Vilka parametrar är styrande för uppkomst av brand? Vad är det som orsakar varmgång, glödbrand och storskalig brand?
- Vilka risker är förknippade med silolagring- samt utomhuslagring av trädbaserat bränsle?
- Vilka arbetsmiljörisker är förknippade med hantering av bränslelager?
- Vilka riktlinjer finns för utomhuslagring av trädbaserat bränsle? Vad bygger riktlinjerna på och hur är de framtagna? Är de framtagna på ett metodiskt och vetenskapligt sätt?
- Är de befintliga riktlinjerna tillräckligt underbyggda och följs de hos kraftvärmeverken?
- Vad är sannolikheten för uppkomst av en glödbrand, varmgång respektive storskalig brand?

- Kan riktlinjerna förbättras med hänsyn till hälsa, miljö, egendomsskydd, räddningstjänstens insatsmöjlighet och produktionssäkerhet

1.5 Avgränsningar

- Rapporten behandlar endast slutlagring av bränsle i anslutning till kraftvärmeverk och inte transport eller torkning av material. Rapporten behandlar inte heller planlager i skogsområden, längst med väg eller andra lagringsplatser. De riktlinjer som kommer analyseras och utvärderas gäller för och inom Sverige
- Risker som behandlas i rapporten kommer framförallt vara förknippade med bränslelager. Risker förknippade med beredning av bränsle eller transport inom anläggningen kommer inte att behandlas i större utsträckning i rapporten
- Lagring som behandlas i rapporten avser utomhuslagring av trädbaserat biobränsle så som exempelvis flis, bark och sågspån. Beskrivning och jämförelse med silolagring kommer utföras i rapporten. Övriga biobränslen som inte utgörs av trädbränsle kommer inte att behandlas i arbetet. Rapporten har begränsats till att behandla terminallagring och lagring vid kraftvärmeverk
- Intervjustudien kommer att avgränsas till produktionsbolag och kraftvärmeanläggningar i Sverige
- Examensarbetet är begränsat till att behandla fenomenen glödbland, varmgång samt storskaliga bränder i bränslelager
- Sannolikheten som tas fram i examensarbetet kommer presenteras i form av ett årligt medelvärde för inträffade bränder för kraftvärmeverk i Sverige. Resultatet grundar sig i den statistik som tas fram genom muntliga och skriftliga intervjuer samt genom statistiksökningar. Det innebär att den beräknade sannolikheten som presenteras i rapporten inte kommer vara statistiskt säkerställd i tillräcklig stor omfattning. Författarna till rapporten rekommenderar inte att beräknad statistik används som underlag till beslutsfattning utan endast som indikation på hur situationen ser ut i praktiken
- I syfte att inte få ett alltför omfattande intervjuunderlag har examensarbetet begränsats till att behandla flis från returträ samt skogsflis. Ett alltför omfattande intervjuunderlag hade blivit krävande för intervjupersonerna att besvara, vilket kan medföra risken för tappat intressen. Ett allt för omfattande intervjuunderlag hade dessutom inte kunnat behandlas i examensarbetet på grund av tidsbrist.

1.6 Metod

Under det här kapitlet presenteras teori kring metod för utförandet av ett examensarbete i generella termer. Det kompletteras med hur teorin kommer användas i utförandet av examensarbetet.

1.6.1 Förhållningssätt

Vid upprättandet av uppsatser och rapporter kan författarna utgå från två olika ansatser som förhållningssätt. Ansatserna betecknas det traditionella perspektivet samt det kvalitativa perspektivet. Det traditionella perspektivet innefattar att människan agerar som åskådare och betraktar en objektiv omvärld. För det kvalitativa perspektivet studeras istället hur människan ingår i samt är en del av omvärlden, som då är subjektiv. Det som är av intresse för det här perspektivet är att studera hur människan betraktar och tolkar omvärlden (Backman, 2008).

Förhållningssättet som avses användas i detta examensarbete är det traditionella perspektivet då arbetet behandlar befintliga regelverk, hur de är framtagna samt hur de följs i praktiken. Individen har ingen inblandning eller påverkan på det regelverk som ska analyseras. I intervjustudien kan det dock uppstå vissa situationer där individen och individens situation påverkar både handlingssätt och svar på frågor. I utförandet av denna rapport ska det strävas efter att undvika detta.

1.6.2 Metodik

Metodik är beteckningen för det grundläggande arbetssättet som följs i ett examensarbete. Metodiken används som ett hjälpmedel för att skapa en övergripande målsättning av ökad förståelse för det aktuella ämnet. Det innebär att metodiken inte behandlar arbetssättet i detalj (Höst et. al., 2006).

Metodiker bör anpassas utifrån examensarbetets mål och syfte. Enligt Höst et. al. (2006) finns det fyra metoder som anses relevanta för utförandet av ett examensarbete inom tillämpade vetenskapsområden. Metodikerna presenteras nedan:

Kartläggning: Sammanställning och beskrivning av nuläget för det studerade fenomenet eller objektet

Fallstudie: Djupgående studium av ett eller flera fall

Experiment: Jämförande analys av två eller flera alternativ

Aktionsforskning: En noggrant övervakad och dokumenterad studie av en aktivitet som syftar till att lösa ett problem

I detta examensarbete kommer metodikerna kartläggning, samt till viss del även aktionsforskning, att användas. Valet har skett på ett sätt där innehållet i rapporten lämpar sig bäst för de två kombinationer. Anledningen till varför dessa metoder tillämpas förklaras utförligt under varje delavsnitt som presenteras nedan.

1.6.3 Verktyg för datainsamling och analys

I det här avsnittet ges en beskrivning av de verktyg som används för datainsamling och analys för metodikerna kartläggning och aktionsforskning.

1.6.3.1 Kartläggning

En sammanställning och beskrivning av situationen i nuläget kommer, i detta examensarbete, att genomföras genom en litteraturstudie samt en intervjustudie.

1.6.3.1.1 Litteraturstudie

Arbetet inleds med litteratursökning och litteraturstudie i syfte att skapa en bredare förståelse för ämnet, problemställningen samt vad som tidigare utförts inom ämnet. Det kompletteras med en analys och utvärdering av befintliga riktlinjer.

Ett annat syfte med litteraturstudien är att inhämta ett brett underlag till rapportens teoridel. I samband med litteraturstudien har sökning och inläsning av teori för varmgång och spontanantändning skett för att ge en bättre förståelse i hur bränslet påverkas och vilka riskreducerande åtgärder som kan vara aktuella. Den litteratur som främst behandlas i den här rapporten är den litteratur som idag är ledande och som används inom branschen¹. Litteraturstudien har utgått från tidigare intervjuer hos kraftvärmeverken samt hos konsulter för att bilda en uppfattning om vilken litteratur som är relevant i ämnet. Detta inledande arbete har resulterat i att de riktlinjer som bedömts som mest gångbara har varit Trygg Hansas rekommendationer för bränslelagring varpå utförd intervjustudie bygger på dessa. En väl underbyggd och genomförd litteraturstudie kan medföra möjligheten att spinna vidare på befintlig kunskap samt minska risken för att missa redan gjorda lärdomar (Höst et. al., 2008).

1.6.3.1.2 Intervjustudie

I syfte att få ett bredare kunskapsområde ska personer med stark anknytning till ämnet och personal på kraftvärmeverk i Sverige intervjuas. Intervjustudien är utförd som både muntlig och skriftlig enkätstudie där de muntliga intervjuerna sker i samband med platsbesök hos flera stycken kraftvärmeverk med omfattande bränslelager. Intervjustudien genomförs genom en enkät som skickats ut till ett antal kraft- och värmeverk. Valet av kombinationen är utförd för att fånga upp frågeställningar utanför enkätunderlaget vilket gör det lättare att undvika missförstånd där förtydliganden kan ske under intervjun. Det medför en minskad risk för att personen som intervjuas avslutar intervjuerna i förtid (Höst et. al., 2008).

Intervjuerna har förberetts med vilka personer som ska delta i studien, vilka frågor som ska besvaras och vad de ska resultera i. Frågeställningen i intervjustudien ska delas i två delar. Den första delen berör riktlinjerna för lagring samt lagringstiden för bränsle. Vid intervjun ska det även efterfrågas ifall materialet lagras packat eller inte packat, då den rekommenderade maximala lagringstiden och – höjden varierar med hur materialet är lagrat. Syftet med utförandet är att dra en slutsats om huruvida riktlinjerna följs i praktiken eller inte. Lagringstiden är också av intresse då det är en faktor som kan påverka sannolikheten för självantändning i materialet. Val av biobränslen har skett utifrån samråd med handledare vid Lunds Tekniska Högskola samt utifrån rekommendationer som Trygg Hansa har publicerat. De publicerade rekommendationerna anger lagringshöjder samt omsättning för dessa typer av bränsle.

Den andra delen av enkätstudien behandlar hur ofta fenomenen varmgång, glöbrand respektive storskalig brand inträffat under ett visst tidsintervall. Syftet med utförandet är att sammanställa en sannolikhetsfördelning som visar hur situationen ser ut i praktiken. Genom intervjustudien har det utförts en jämförelse mellan olika metoder och angreppssätt för lagring av trädbaserat biobränsle i praktiken.

För en djupare inblick av hur riktlinjerna praktiskt följs och de risker som är förknippade med bränslelagringen har också tre styck kraft- värmeverk besökts. Dessa har valts utifrån följande kriterier:

- Anläggningar med lång driftserfarenhet
- Större anläggningar med omfattande bränslelagring
- Regional närhet

- Anläggningar med varierande bränslesorter

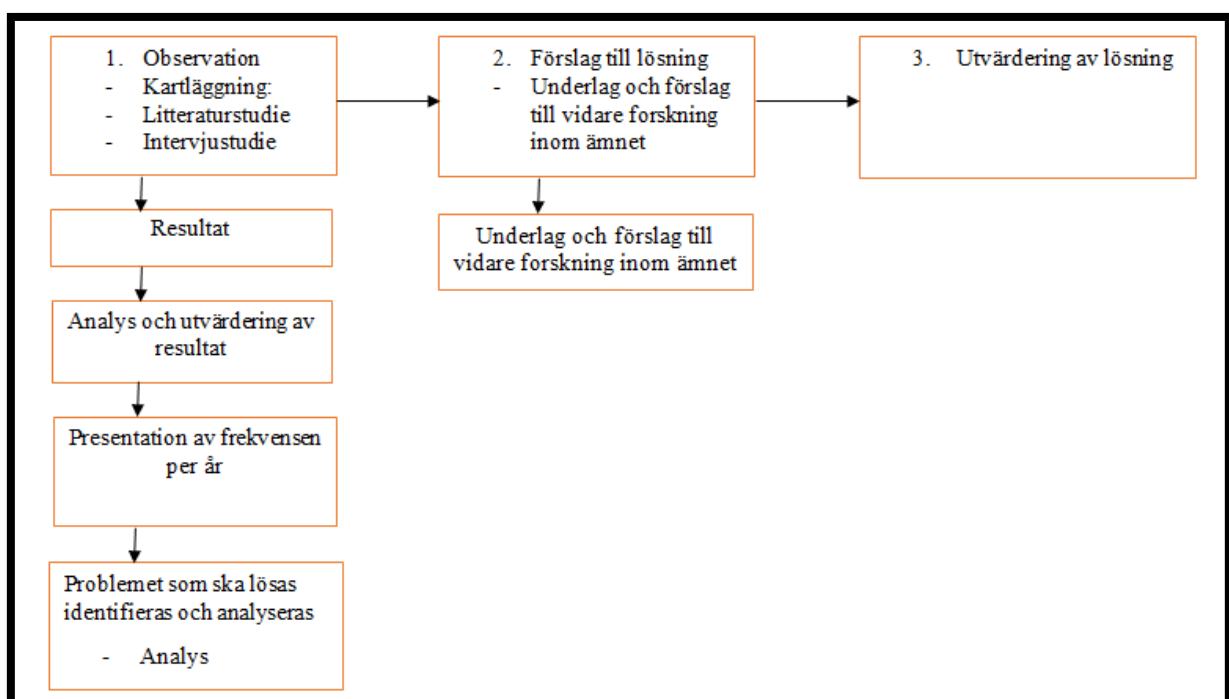
1.6.3.2 Aktionsforskning

Metodiken aktionsforskning kommer endast till viss del att tillämpas inom ramen för det här examensarbetet. Aktionsforskning innebär att något förbättras samtidigt som det studeras (Robson, 2004). Syftet med examensarbetet är inte att förbättra riktlinjerna utan snarare att ge underlag till förbättring samtidigt som riktlinjerna studeras.

Metodiken presenteras nedan i punktform (Höst et. al., 2008):

1. Observation över situationen
2. Åtgärdsförslag/ förslag till lösning samt genomförande av lösning
3. Utvärdering av lösning

Tillämpningen av metodiken aktionsforskning i examensarbetet presenteras i Figur 1.



Figur 1. Tillämpning av metodiken aktionsforskning i examensarbetet

Metodiken inleds med en observation över situationen. Syftet med observationen är att tydliggöra det problem som ska lösas samt ta fram underlag till lösningsförslag till problemet, vilket är det andra steget i utförandet av metodiken (Höst et. al., 2008). Observationen i examensarbetet sker med hjälp av kartläggningsmetodiken som beskrevs tidigare i rapporten. I rapporten kommer resultatet från litteraturstudien samt intervjustudien analyseras och utvärderas. Erhållet svarsresultat från intervjustudien ska sammanställas och visa ett medelvärde av frekvensen per år som fenomenen varmgång, glödbland eller storskalig brand har inträffat.

Genom framtagning av den beräknade frekvensen kan det problem som ska lösas identifieras och förtydligas enligt aktionsforskning (Höst et. al., 2008). I rapporten kommer detta steget att benämnas som analys. Analysen kommer att utföras med inriktning på behov av fortsatta studier samt riskreducerande åtgärder som kan behövas för att bränslelager ska kunna ske på ett säkert sätt.

När problemet förtydligats ska förslag på lösningar presenteras samt genomföras enligt teorin (Höst et. al., 2008). I examensarbetet kommer syftet inte vara att genomföra lösningen som presenteras. Istället ska underlag och förslag till vidare forskning presenteras. Metodikens avslutande del innebär att en utvärdering av lösningen presenteras i examensarbetet (Höst et. al., 2008).

1.6.4 Vetenskaplighet

Vid författandet av examensarbetet har det strävats efter att uppnå ett visst mått av vetenskaplighet. Det uppfylls genom nedan presenterade underrubriker.

1.6.4.1 Saklighet

Vid skrivandet av rapporten strävas det efter kort och koncist utförande av text. Endast sådana fakta och teorier som bedöms rimligt för syftet och målet står med i rapporten. De avgränsningar som anges i kapitel 1.5 styr rapportens innehåll.

1.6.4.2 Giltighet

En omfattande litteraturstudie utförs i samband med rapportskrivandet vars syfte är att innehållet ska vara så väl underbyggt som möjligt. Information och fakta är taget från trovärdiga källor som kontrollerats. Rapporten kommer vara transparent då det kommer vara enkelt att kontrollera de uppgifter och tolkningar som presenteras. Antagningar och bedömningar utförda av författarna till rapporten redovisas och motiveras tillsammans med de osäkerheter som de medför.

1.6.4.3 Objektivitet

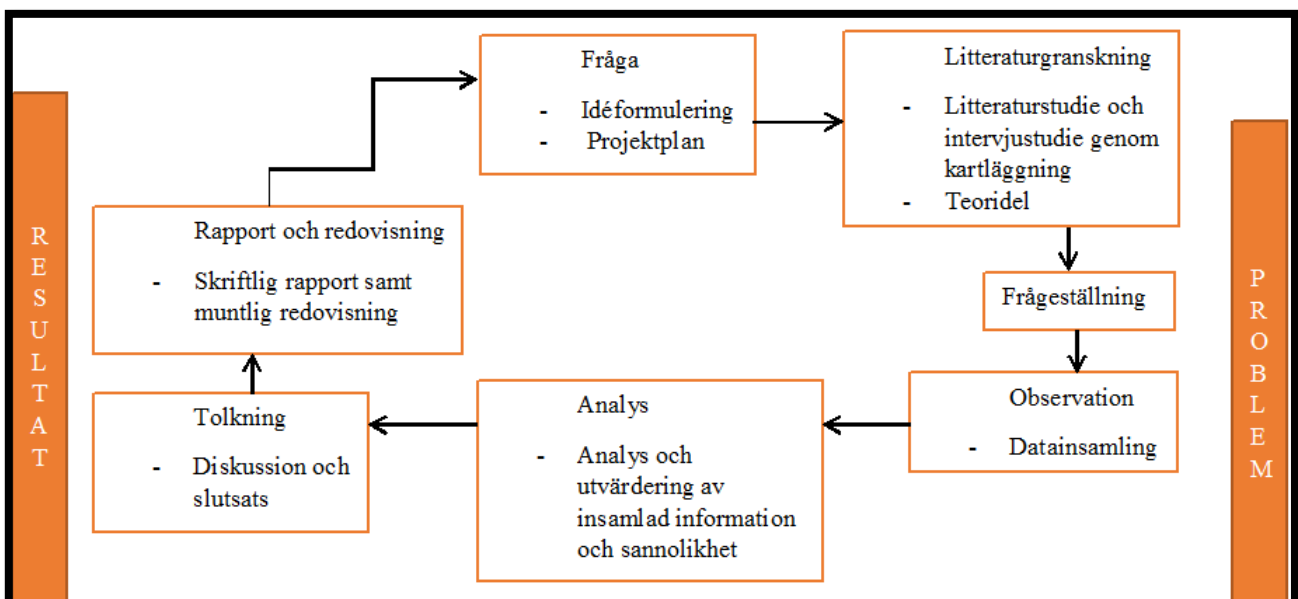
Författarnas egna åsikter och bedömningar kommer skiljas från ren fakta. När författarnas åsikter och bedömningar redovisas i arbetet kommer det anges i klartext. Innehållet i rapporten kommer inte påverkas på något sätt av åsikter och bedömningar.

1.6.4.4 Disposition

Dispositionen för examensarbetet följer den traditionella forskningsprocessen. Dispositionen har en logisk struktur som underlättar för läsaren att följa rapportens röda tråd (Backman, 2008).

1.6.4.4.1 Den traditionella forskningsprocessen

Den traditionella forskningsprocessen redovisar hur forskningsarbete bedrivs (Backman, 2008). Hur examensarbetets olika delar anpassats till den traditionella forskningsprocessen presenteras i Figur 2.



Figur 2. Examensarbetets olika delar i den traditionella forskningsprocessen

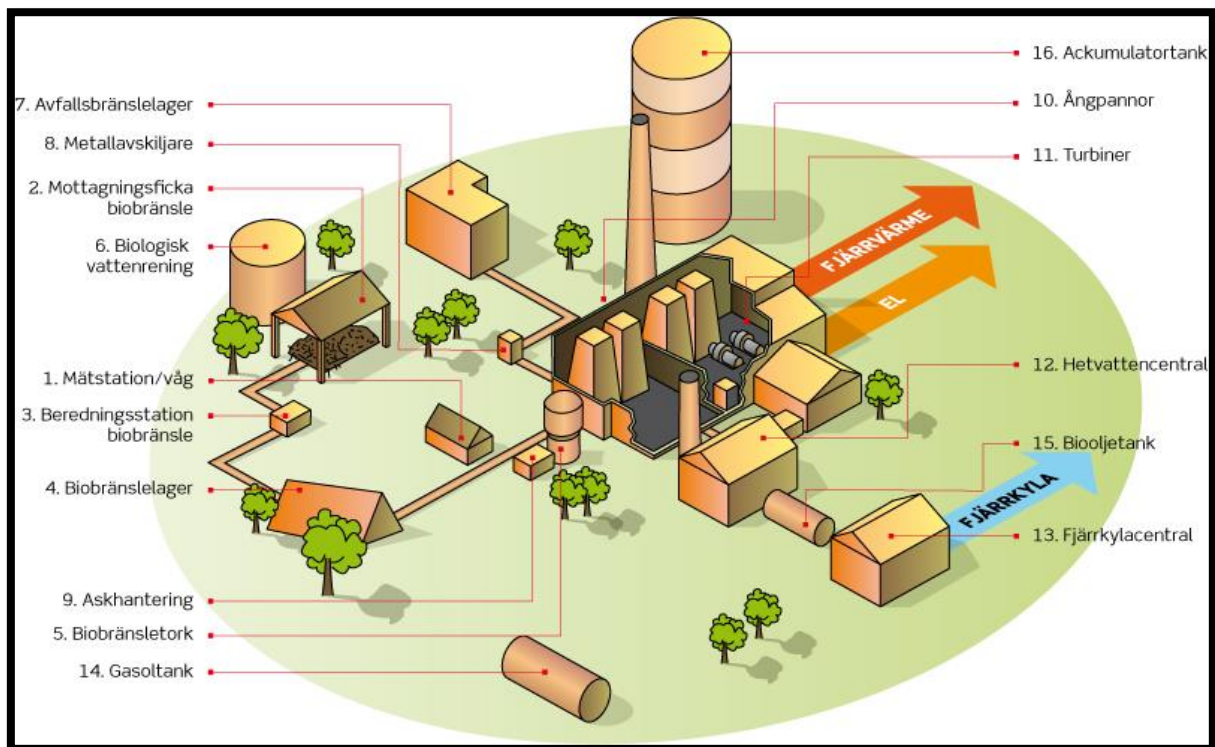
2 Trädbaserat biobränsle

Biobränsle omfattar bränsle från biologiskt material. Definitionen på biobränsle är inte helt entydig men en förutsättning är att nettoeffekten vid förbränning ska vara att inga nya föroreningar ska tillföras till miljön (Skogssverige). I examensarbetet kommer bränslegruppen trädbaserat biobränsle att behandlas. Arbetet har begränsats till att behandla trädbaserat biobränsle så som olika typer av flis, sönderdelade hyggesrester, bark, spån samt förorenat material. Avgränsningen har gjorts utifrån Trygg Hansas rekommendationer, som presenteras i Bilaga 1, där lagringshöjder samt omsättningen för denna typ av bränsle anges.

Definitionen av trädbaserat biobränsle som tillämpas inom examensarbetet är definitionen som är angiven i Bränslehandboken, senast utgiven år 2012 av Värmeforsk, och lyder (Strömberg & Herstad Svärd, 2012):

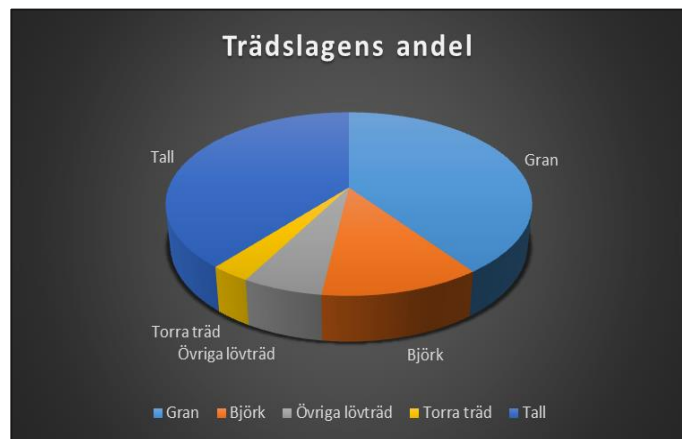
”Trädbränsle är biobränsle från trädråvara som inte genomgått en kemisk process. Trädbränsle innefattar alla biobränslen där träd eller delar av träd är utgångsmaterial, t.ex.: bark, barr, löv, ved samt bränsleråvara från skogs- och trävaruindustrin t.ex. hyvelspån, kutterspån, sågspån, torrflis, justerverksflis och frånsåll. Bränsle av avfallspapper och avlutar ingår inte.”

Examensarbetet har begränsats till att behandla bränslelager och -förbränning i kraftvärmeverk som har för huvudavsikt att producera elektricitet och värme. En illustration av hur kraftvärmeverk kan vara utformat presenteras i Figur 3. Figuren föreställer Ryaverket i Borås (Ryaverket Borås).



Figur 3. Illustration av kraftvärmeanläggning. Författarna till rapporten har fått tillåtelse av Ryaverket i Borås att använda bilden i rapporten

Användning av träbaserat bibränsle har kontinuerligt ökat med åren i strävan efter miljövänligare alternativ för energiproduktion. Idag utgör bibränsle 22 % av energianvändningen, vilket gör bibränsle till ett av de största energislagen i Sverige (Skogsstyrelsen). Fördelningen av olika trädslag består av gran, björk, torra träd, tall samt övriga lövträd. Trädslagens andel av virkesförrådet presenteras i Figur 4 (Strömberg & Herstad Svärd, 2012).



Figur 4. Trädslagens andel av virkesförråd i Sverige

2.1 Bark

Bark utvinns från träsorterna tall, gran, björk och asp. Pellets är utifrån effektivitetssynpunkt användbart vid förbränning i pannor. Bark kan även utvinnas av biprodukter från sågverk- och massaindustrier. Oftast återanvänds bränslet inom industrin där det tillverkas. Eventuellt överskott kan gå till försäljning och nyttjande i kraftvärmeverk (Martinsson, 2003).

2.2 Spån

Spån utvinns från skogs- och träindustrin och utgörs i största del av såg- och kutterspån. Det som framförallt skiljer såg- och kutterspån åt, utifrån effektivitetssynpunkt, är fukthalten. Sågspån innehåller en betydligt högre fukthalt (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Densiteten på kutterspån är dock lägre jämfört med sågspån, vilket medför att en större mängd bränsle måste förbrännas för att uppnå samma effekt. Bränslet ställer därmed även krav på större lagringsutrymmen då en större mängd bränsle går åt vid förbränning (Strömberg & Herstad Svärd, 2012).

2.3 Sönderdelade hyggesrester

Sönderdelade hyggesrester definieras som avverkningsbränsle från slutavverkning (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Energiinnehållet i hyggesrester varierar med var, när och hur materialet sönderdelas och lagras. Utifrån energiinnehåll är det olämpligt att lagra sönderdelade hyggesrester i mer än några månader då energivärdet minskar drastiskt med tiden. För optimal lagring ur energisynpunkt finns det två andra alternativ som rekommenderas. Det första alternativet är att hyggesrester ska lagras i högar och att sönderdelningen ska ske endast vid behov. Det andra alternativet är att sönderdelningen av det nyavverkade materialet sker direkt på plats och kombineras med direkt transport till förbränningspannan (Thörnqvist, 1984).

2.4 Flis

Flis är en biprodukt som tas till vara vid tillverkning av trämaterial. Restmaterialet vid tillverkning flisas upp och används som bränsle i industrier. Flis kan även komma från toppar och grenar från träd. Produktionsmetoden innefattar insamling och torkning av material. Skogsförrådet i Sverige har ökat under de senaste hundra åren vilket medför att det finns en stor mängd flis som kan användas till förbränning (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Det medför att flis idag är en av de bränslesorterna med störst omsättning. Definitioner och förklaring av skogs- och returflis presenteras i underrubrikerna nedan.

2.4.1 Skogsflis

Skogsflis innefattar grenar, toppar och stammar från träd. Skogsflis utgörs av material som kommer direkt från skogen och innehåller inga tillsatta föroreningar (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). En nackdel med skogsflis jämfört med returflis är att det vid lagring utgör optimala förhållanden för kemiska- och biologiska nedbrytningsprocesser som kan medföra risk för spontan självantändning. En djupare förklaring av innebörden av självantändning presenteras under kapitel 5.1.1.

2.4.2 Returflis

Returträflis, benämns även RT- flis, och innebär återvunnet eller återanvänt trä från sågverk, byggindustrin eller rivningsprojekt. Betäckningen kan även innebära restprodukter från träd som energiåtervunnet. Returträ kan användas som bränsle inom kraftvärmeanläggningar. Returflis skiljer sig från skogsflis då det utgörs av behandlat och torrt trä¹.

¹ För andra definitioner på trädbaserat material som nämns i rapporten hänvisas till Bränslehandboken

3 Presentation och analys av riktlinjer för bränslelager

I kapitlet kommer en genomgång och analys av tillgängliga riktlinjer för lagring av trädbaserade biobränslen presenteras. Det är riktlinjer som anger hur bränslet ska förvaras med hänsyn att reducera risker för uppkomst av brand men som även hantera förvaringskrav kopplat till bränsleeffektivitet. I dagsläget saknas det reglerande myndighetsföreskrifter för hur hantering av biobränsle ska ske med avseende på lagring.

3.1 Värmeforsk - Bränslehandboken

Institutionen Värmeforsk bedriver forskning inom bränslebaserad kraft- och värmeproduktion och har varit aktiva i nästan 50 år. Forskningen är inriktad på energi- och processindustriernas behov och problem. Värmeforsk har publicerat en handbok om bränslen som uppdateras kontinuerligt över åren och som senast var utgiven år 2012. Kontinuerlig informationsinsamling sker i syfte att utveckla och uppdatera handboken. Nedan presenteras utdrag från Bränslehandboken med avseende på riktlinjer för lagring av bränsle (Strömberg & Herstad Svärd, 2012):

- Lagra olika trädbränslesortiment i olika stackar. De bör ej ens komma i kontakt med varandra. Även flis och bark bör lagras åtskilt
- Minimera fukthaltsspridningen i stacken
- Packa inte stackar med helträdsflis, sönderdelade hyggesrester, bark eller sågspån
- Undvik metallföremål i stacken
- Lagra trädbränslen i en avlång stack med tvärsnittsareans bas lika med dubbla stackhöjden
- Lagra ej bark högre än 7 meter och sågspån 6 meter
- Tänk på rasvinkeln och fruset spån
- Vid låg omsättning ökas risken för självantändning
- De första tecknen på upphettning kan vara ångbildning och rökdoft. Lagret bör i första hand kontrollmätas med sond eller värmekamera
- Lagring av torra bränslen, som pellets och kutterspån kräver lagring under tak och helst i anslutna bränslelager eller silos (pellets)

3.2 Trygg Hansa - riktlinjer för utomhuslagring av flis, bark, spån och torv

Trygg Hansa är ett av Sveriges största försäkringsbolag och bolaget arbetar bland annat med riskförebyggande åtgärder (Trygg Hansa). Försäkringsbolaget har gett ut riktlinjer för hur en god skyddsnivå ska uppfyllas vid utomhuslagring av flis, bark, spån och torv och används inte bara av försäkringsbolagets kunder utan även hos anläggningar med andra försäkringsgivare. Riktlinjerna som Trygg Hansa anger som god skyddsnivå publicerades 2009 och presenteras nedan (Trygg Hansa, 2009):

- Situationsplan över lagringsytorna upprättas. Planen ska visa stackarnas och brandposternas placering. Säkerhetsavstånd mot byggnader, uppgift om närmaste larmtelefon och övrig utrustning ska framgå
- Lagra på plan, fast och torr yta. Undvik gropar och upphöjningar utmed stackens sidor
- Kontrollera att lagringsplatsen inte ligger lägre än omgivande markyta. Helst bör den ligga högre än omgivningen och med lite lutning för god avrinning
- Lagringsplatsen bör ligga vindskyddad
- Placera stacken längst den vanligaste vindriktningen och på sådant sätt att vindpåverkan blir så liten som möjligt

- Lagra inte direkt mot en vägg eller byggnad. Avståndet från stack till transportband, järnvägsspår eller byggnad ska vara minst 15 meter. Vid brännbar byggnad gäller 30 meter
- Avstånd mellan stackarna ska vara minst 15 meter räknat vid normal rasvinkel (ca 45 grader)
- Lagring får inte ske i närheten av värmekällor och inte över rör, kablar eller andra markanläggningar. Lämningsyta skall finnas på förberedd plats i direkt anslutning till stacken och vara minst 20 % av lagringsytan
- Upprätta avtal med lämplig uthyrare av lastmaskin för lämpning (backup-avtal)
- Tillgång till släckvatten måste finnas inom lagringsområdet och vara väl utmärkt och påkörningsskyddat
- Matning till brandpostnät bör vara ringmatat. Brandposter ska vara placerade så att man kan nå varje godtyckligt vald lagringsplats. Utformning ska ske tillsammans med lokal räddningstjänst
- Reparation eller bränslepåfyllning av arbetsfordon får inte förekomma på eller intill upplag
- Maskiner med lågt hjul- respektive bandtryck ger liten kompaktering och därigenom minskar risken för självantändning. Rengör maskinerna regelbundet med avseende på damm, olja med mera.
- Rökförbud ska gälla för hela lagringsplatsen
- Lagrat material får inte innehålla metallföremål

Lagringshöjder och omsättning för ej packat och packat bränsle presenteras i Tabell 1.

Tabell 1. Lagringshöjder och omsättning för inte packat och packat bränsle (Trygg Hansa, 2009)

Lagringshöjder/omsättn				
Typ	Ej packat		Packat	
	Max höjd meter	Max lagr tid Månader	Max höjd meter	Max lagr tid månader
Barkad stamvedsflis (cell.ind)	20	12	16	9
Obarkad stamflis	15	9	12	6
Helträdsflis från lövträd	12	9	9	6
Helträdsflis från barrträd	10	9	7	6
Sönderdelade hyggesrester	7	6	Ej tillåtet	
Bark	7	3	4	3
Sågspån	15	6	12	4
Kutterspån	8	6	6	4
Frästorv	Ej		6	
Stycketorv			Ej tillåtet	
Förorenat material	6	3	Ej tillåtet	

- Lagra varje bränslesortiment i skilda stackar. Flis, bark, hyggesrester med mera får inte blandas. I händelse av att förorenat material förekommer ska detta lagras i separat stack
- För upplag av bark, hyggesrester och förorenat material ska bevakningsrundor genomföras var 4:e timme

Temperaturmätning

- Utrustning för temperaturmätning ska finnas. I händelser av indikator på förhöjd temperatur i stackarna ska temperaturmätning utföras vid bevakningsrundor var 4:e timme. Vidtag erforderliga åtgärder om temperaturen överstiger 70 °C

Heta arbeten

- Var uppmärksam vid ”heta arbeten” såsom svetsning, skärning mm. Följ trygg Hansas säkerhetsföreskrifter för ”Brandfarliga heta arbeten”

Transportband

- Om transportband finns i anslutning till upplag ska rutiner för renhållning och brandsträckning finnas. Förse transportband med slirvakt. Bandet bör vara av självslocknande kvalitet

3.3 SP forskningsrapport - Biobränslen och avfall – Brandsäkerhet i samband med lagring

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) är en internationellt ledande institution för forskning och innovation. Institutionen bedriver forskning inom biobränsleområden där de inriktar sig på brandrisker i samband med bränslelager. SP publicerade år 2008 riktlinjer för bränslelager som presenteras nedan (Lönnermark et. al., 2008):

- Lagra olika trädbränslesortiment i olika stackar
- Försök minimera fukthaltsspridningen i stacken
- Packa absolut inte stackarna med sönderdelade hyggesrester eller liknande material
- Undvik metallföremål i stacken
- Lagra trädbränslen i en avlång stack med tvärsnittsareans bas lika med dubbla stackhöjden
- Undvik gropar och upphöjningar utmed stackens sidor
- Bygg upp stacken längst med huvudvindriktningen
- Undvik att överskrida de höjder som presenteras i Tabell 2 vid uppläggning av trädbränslelager:

Tabell 2. Riktlinjer för lagring på höjden

Bränsletyp	Ej packade stackar (m)	Packade stackar (m)
Obarkad stamvedsflis	15	12
Helträdfelis från lövträd	12	9
Helträdfelis från barrträd	10	7
Sönderdelade hyggesrester	7	-
Bark	7	4
Sågspån*	6	4

*I ett tillägg till Lagringshandboken skriver Lehtikangas (1999) att de har konstaterat att sågspån kan lagras med stackhöjder upp till 12 meter med ett bra resultat.

3.4 Nordic Innovation Centre -Guidelines for storing and handling of solid biofuels

Nordin Innovation Centre arbetar med innovation, företagande och främjande av handel gränsöverskridande i Norden. År 2008 gav organisationen ut en publikation där riktlinjer för lagring och hantering av fasta biobränslen behandlas. I publikationen presenteras riktlinjer för hur lagring ska ske i syfte att minska risken för spontanantändning. Riktlinjerna återges nedan (Nordic Innovation Centre):

- Lagra olika trädbränslesortiment i olika stackar
- Förvaring ska ske i mindre högar och under kort tid
- Undvik metallföremål i stacken
- Följ temperaturutvecklingen i bränslelager
- När fenomenet självantändning ($> 60\text{ °C}$) uppstår ska säkerhetsåtgärder vidtas för att förhindra brand
- Bränsle med hög temperatur ska inte levereras

3.5 Analys av riktlinjer

Tillgänglig litteratur analyseras i syfte att kartlägga hur riktlinjer för bränslelager är underbyggda. Syftet med analysen är att undersöka om riktlinjerna är framtagna på ett vetenskapligt och metodiskt sätt samt jämföra dessa riktlinjer med varandra.

3.5.1 Del 1 - Bränslehandboken

I litteraturanalysen var utgångspunkten Bränslehandboken (2012). Rekommendationerna utgår från riktlinjerna som presenteras i kapitel 3.1. Punkt 1-9 av dessa riktlinjer finns återgivna på samma sätt i föregående utgåva av Bränslehandboken (2000) medan punkt 10 är ny för gällande utgåva och refererar till Knudsen & Persson (2000). De riktlinjer för bränslelager som redogörs för i Bränslehandboken hänvisas till Thörnqvist (1984).

Rekommendation nummer 1 – 6 ovan ger en identisk återspeglning av de rekommendationer som Thörnqvist (1987) presenterar i sin rapport. Som tillägg till punkt 1-9 ovan finns även följande rekommendationer angivna:

- Undvik gropar och upphöjningar utmed stackens sidor
- Bygg upp stacken längs med huvudvindriktningen
- För att erhålla en god uttorkning av trädbränslet samt låga energiförluster under lagringen bör lagringshöjden inte underskrida 6 – 7 meter vid uppläggnings
- Undvik att överskrida följande höjder som presenteras i Tabell 3 vid uppläggning av trädbränslelager

Tabell 3. Riktlinjer för maximal höjdlagring

Bränsletyp	Ej packade stackar [m]	Packade stackar [m]
Obarkad stamvedsflis	15	12
Helträdfelis från lövträd	12	9
Helträdfelis från barrträd	10	7
Sönderdelade hyggesrester	7	-
Bark	7	4
Sågspån	6	4

Det finns sammankopplingar mellan Thörnqvists publikation från 1984 och 1987. Den senaste publikationen refererar flera gånger till publikationen som är utgiven år 1984. Den tidigare publikationen anses delvis utgöra grunden för den senare publikationen.

3.5.2 Del 2 - Trygg Hansas riktlinjer

Rekommendationerna från Trygg Hansa (2009) bygger på de rekommendationer som ursprungligen kommer från Thörnqvist (1987). Rekommendationerna har dock utvecklats något med tiden, baserat på praktisk erfarenhet från försäkringstagare och inträffade skador¹.

Genom en jämförelse mellan rekommendationer från Trygg Hansa (2009) och Thörnqvist (1987) kan slutsatsen dras att Trygg Hansas rekommendationer innehåller:

- Rekommendationer kring maximal lagringshöjd för fler bränsletyper så som barkad stamvedsflis, kutterspån, frästörv, stycketörv och förorenat material
- Högre rekommenderade maximala lagringshöjder för sågspån
- Rekommendationer för maximal lagringstid
- Fler allmänna lagringsrekommendationer som berör vindskydd, omgivande markyta, avrinning, säkerhetsavstånd och lämplig lagringsplats
- Inga rekommendationer kring utformning av bränslestackar med avseende på förhållandet mellan höjd och bredd

De ovan nämnda punkterna är de tydliga skillnaderna mellan Trygg Hansas rekommendationer och de som Thomas Thörnqvist publicerade år 1987. Förutom dessa punkter berör Trygg Hansas rekommendationer även praktiska frågor som rökförbud, antändningsrisk från maskiner, bevakningsrundor, situationsplaner, lämpning, släckvatten, brandpostnät och underhåll av arbetsfordon. Delar av Trygg Hansas rekommendationer berör alltså inte lagring av sönderdelat biobränsle och kommer inte att behandlas vidare.

3.5.3 Del 3 - SP Biobränslen och avfall

Rekommendationer som nämns i publikation från Lönnermark et. al. (2008) hänvisar till Thörnqvist (1987) och till Lehtikangas (1999). Rekommendationerna är identiska de som först beskrivs i Thomas Thörnqvists publikation från 1987. Lehtikangas har i sin rapport angivit samma riktlinjer som Thörnqvist (1987) samt lagt till följande rekommendation som berör lagring av bränsle:

- Lagra så små volymer under så kort tid som möjligt

3.5.4 Del 4 - Nordic Innovation Centre

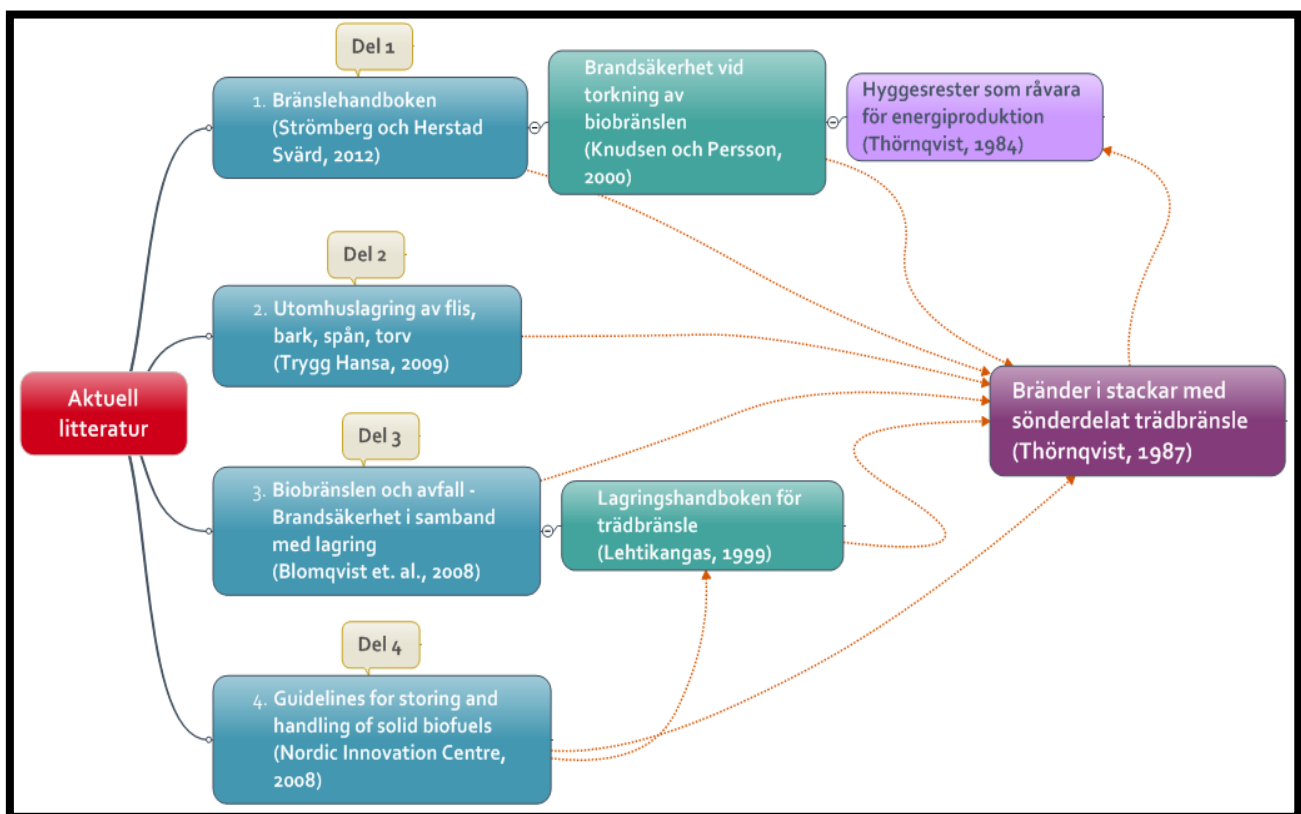
Hälften av riktlinjerna från artikeln som Nordic Innovation Centre publicerade 2008, kommer från Thörnqvist (1987) och Lehtikangas (1999). Förutom riktlinjerna har de även adderat att temperaturutvecklingen i bränslelager ska bevakas och ska utföras när det behövs i syfte att förhindra utveckling av brand (Nordic Innovation Centre). Dessa riktlinjer berör dock inte lagringssättet och kommer därför inte att behandlas vidare.

3.5.5 Slutsats analys av riktlinjer

Genom analys har det visat sig att litteraturen inom det aktuella ämnet bygger sina riktlinjer helt eller delvis på rekommendationer från Thomas Thörnqvists publikation (1987). Publikationen är publicerad av Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära (SLU), som under 30 år studerat lagring av sönderdelat trädbränsle. Syftet med deras studier har framförallt varit att försöka hitta de mest optimala förhållanden vid lagring för olika bränslen. Studierna har även inriktat sig på självantändning i bränsle och vilka förhindrade åtgärder som krävs (Lönnermark et. al., 2008).

Thomas Thörnqvists publikation skrevs med anledning av att under åren 1986 – 1987 inträffade många bränder i stackar där sönderdelat trädbränsle förvarades. Metodiken som användes var en intervjustudie som utfördes genom samtal till företrädarna för olika företag, som drabbats av bränder i stackar innehållande sönderdelat trädbränsle. Utifrån intervjuerna skapades en uppfattning av hur olika typer av lagring skulle kunna ge upphov till antändning. Utifrån de dragna slutsatserna skrevs rekommendationer för lagring av sönderdelat trädbränsle. Författaren poängterar även att rekommendationerna endast är att betrakta som råd istället för korrekta riktlinjer i syfte att minska självantändningsrisken. Arbetet som genomfördes gjordes i en serie delrapporter med syfte att undersöka hur de fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaperna påverkar bränslets energiinnehåll där bränslelagring rekommenderades ske i ett förhållande mellan basen och höjden av stacken. Detta förhållande 1:2 där basen ska vara dubbelt så stor som höjden avsåg att möjliggöra vattenavrinning från stacken och var en naturlig stackbildning då bränsle släpps från hög höjd (Thörnqvist, 1987). Det ursprungliga syftet med studien var alltså inte enbart att undersöka vilka parametrar som påverkar självantändningsrisken. Detta 1:2 förhållande har på senare tid arbetats in som ett förhållande som ska eftersträvas för att reducera risk för uppkomst av brand.

Figur 5 nedan presenterar en översiktlig bild av analysresultatet.



Figur 5. Resultat litteraturanalys

Riktlinjerna som levt vidare som referens under ca 30 år kan vara helt korrekta men bedöms enligt författarna av denna rapport kunna vara föremål för fortsatta forskningsuppdrag. Motiveringen för detta är att de ursprungliga rekommendationerna har fastställts genom ett fåtal studier och intervjuer med frånvaro av vidare utveckling med den kraftigt ökande trädbränslehanteringen. Det ursprungliga syftet med undersökningen var inriktat på bränslets energiinnehåll och inte på att minimera risken för spontan självantändning eller minimera risker för storskalig brand.

Slutsatsen av litteraturanalysen är att underlaget till, och därmed även lagringsrekommendationerna, anses bristfälligt då de i princip endast bygger på en och samma undersökning. Rekommendationerna anses inte vara framtagna på ett metodiskt och vetenskapligt sätt. Användningen av trädbränsle har expanderat kraftigt de senaste 30 åren vilket innebär att det finns en stor mängd samlad kompetens och erfarenhet i branschen. Denna erfarenhet bör nyttjas tillsammans med de större forskningsorganen för att mer ingående bedriva forskning kring ämnet samt att fastställa ett tydligt regelverk.

4 Beskrivning av bränslelagring

Lagring som behandlas i rapporten avser utomhuslagring av trädbaserat biobränsle. Beskrivning och jämförelse med silolagring kommer utföras i kapitlet. Syftet med avsnittet är att ge underlag till en beskrivning och jämförelse mellan utomhuslagring och silolagring. På så sätt kan för- och nackdelar med de olika lagringsmetoderna diskuteras.

4.1 Utomhuslagring

Utomhuslagring kan ske på olika platser och anläggningar. Generellt lagras bränsle i stackar med varierande lagringshöjd, -längd och -tid. Utgångsmaterialet varierar för bränslen vilket medför varierande bränsleegenskaper samt olika förutsättningar för lagring och förbränning. Olika bränsletyper medför olika rekommendationer för lagring vad gäller längd, höjd och lagringstid (Lehtikangas, 1999). En illustration av praktiskt tillvägagångssätt för utomhuslagring av bränsle presenteras i Figur 6 och Figur 7.



Figur 6. Tillvägagångssätt för utomhuslagring av bränsle. Fotograf: Christian Jönsson



Figur 7. Exempel på tillvägagångssätt för utomhuslagring av bränsle. Fotograf: Magnus Johansson

Sortimentet och storleken på de lagrade limporna varierar över tiden i syfte att anpassa bränslet till aktuella driftförutsättningar i pannan. Mängden lagrat material, och därmed även lagringssättet, varierar med bedömning av värme- och kraftbehov som skattas inför eldningsäsong. Konsumtionen varierar med årstiderna och är störst under vinterhalvåret naturligt på grund av den låga utomhustemperaturen som råder. Milda vintrar och långa sommarperioder minskar däremot bränslekonsumtionen, vilket kan leda till större ansamlingar av bränsle som lagras längre tid än planerat. Det optimala för bränsleproducenterna är en jämn användning av bränsle under hela året medan leverantörerna av bränslet får anpassa sig utifrån behovet av värmeproduktionen hos kunderna. Utrymmet vid kraftvärmeverken för lagring kan också vara begränsat, vilket försvårar säsongslagring av bränsle (Lehtikangas, 1999).

Vid bränslelager är ofta lagringseffektiviteten i högsta fokus. Lagring sker på ett sådant sätt att så stor del som möjligt av bränslet ska kunna utnyttjas effektivt med så högt värmevärde som möjligt. Det kan medföra att riktlinjerna för lagring inte alltid uppfylls då det kan komma att krävas en större lagringsyta och -höjd än vad som är rekommenderat. Årstider där större mängd bränsle går åt medför en förhöjd risk för att rekommenderade lagringsmått och -förhållanden överskridas (Lönnermark et. al., 2008).

På vinterhalvåret, när bränsleomsättningen är som störst, finns det en förhöjd risk att materialet påverkas negativt av yttre påfrestningar. Nederbörd påverkar materialet genom att fukthalten och fuktvandringen ökar i materialet. Yttre påverkningar medför även en begränsning i vilket material som kan lagras utomhus. Pellets och andra vattenkänsliga material kan inte lagras utomhus utan övertäckningsskydd då materialet reagerar vid kontakt med vatten och blir oanvändbart som förbränningsbränsle.

4.2 Silolagring

Det finns olika typer av silos som används i lagringssyfte. Diametern samt höjden varierar med silotyperna och likaså gör bränslet som förvaras där. Vissa bränslesorter lämpar sig bra för silolagring. Det är bränslen som ska hållas skyddat från extern påverkan och nederbörd så som pellets och flis. Olika silotyper med tillhörande information som är intressant för examensarbetet har sammanställts i Tabell 4 (Persson, 2012).

Tabell 4. Presentation av diverse silotyper

Silotyp	Konstruktionsmaterial	Diameter [m]	Höjd [m]	Förvarat bränsle	Övriga kommentarer
Tornsilos	Betong	4 – 12	25 – 50	Spannmål	Tornsilos består av fler sammanbyggda siloceller. Silon utmärker sig då den är högt utformad med relativt liten diameter. Utrymmet som bildas mellan de cirkulära utformningarna, på grund av att de är sammanbyggda, kan också användas till förvaring av bränsle.
Fristående stål- och betongsilo	Betong eller stål. Taket är utformat i stål	15 – 30	15 – 30	Pellets, flis	Fristående stål- och betongsilo används ofta i samband med bränslelager på kraftvärmeverk. Silon illustreras i Figur 8.
Mindre bulksilo	Stål	3 – 10	5 – 15	Sågspån, pellet, träpulver	Mindre bulksilon är utformade som fristående.
Gastät silo	Stål	3 – 4	13 – 17	Organiskt material, spannmål	Gastäta silon är utformade som fristående. Material som förvaras i denna typ av silo är material som kan försämrans genom oxidation vid kontakt med omgivande syrgas. Silon tätas samt förses med täta spjäll som stänger efter påfyllning. På så sätt kan materialet lagras utan att komma i kontakt med syrgas. Silon är även försedd med tryck- och vakuumventil ifall temperaturökning eller gasbildning skulle ske inne i behållaren.
Ensilage-silo	Stål	5 – 8	≤ 25	Foder	Lagringen i ensilagesilon sker kompakt och på ett sådant sätt att syrgashalten minimeras i behållaren.

På grund av varierande mått på diameter och höjd för de olika silotyperna varierar även lagringskapaciteten. En uppskattning av den maximala lagringskapaciteten för silon har tagits fram genom handberäkningar i samband med detta examensarbete. Utförandet av handberäkningarna samt antaganden och förenklingar redovisas i Bilaga 2. Resultatet av handberäkningarna redovisas i Tabell 5.

Tabell 5. Ungefärlig lagringskapacitet för olika silotyper baserat på mått i tabell 3.

Silotyp	Ungefärlig lagringskapacitet [m ³]
Tornsilo	~5650
Fristående stål- och betongsilo	~21200
Mindre bulksilo	~1200
Gastät silo	~200
Ensilagesilo	~1300

Storleken på silos bedöms och byggs normalt utifrån vilka lagringsbehov som föreligger på aktuellt kraftvärmeverk för att anpassa kapaciteten gentemot produktionsbehovet.



Figur 8. fristående stål- och betongsilo. Fotograf: Christian Jönsson

4.3 Jämförelse mellan olika metoder för lagring

I det här underkapitlet ska för- och nackdelar med de olika metoderna för utomhuslagring och silolagring diskuteras med hänsyn till de risker som är förknippade med bränslelager. Den största och tydligaste skillnaden mellan lagringsmetoderna är att utomhuslagring inte medför en volym- och platsbegränsning, bortsett från de anvisningar som anges i lagringsrekommendationerna förutsatt att riktlinjerna tillämpas i praktiken. För silolagring gäller att förvaring kan ske upp till en maximal volym som inte kan överskridas. På liknande sätt kan förvaring endast ske på den specifika platsen där silon är placerad. Det kan medföra både för- och nackdelar utifrån ett riskperspektiv.

Fördelen med utomhuslagring är att det medför en flexibilitet vad gäller lagringen. Just denna flexibilitet innebär tveksamhet i huruvida de angivna rekommendationer för bränslelager överskrids vid tillfällen då större inköp sker. Utomhuslagring kräver normalt en betydligt större yta för upplag än vid silolagring. Vid silolagring underlättas arbetet med lossning och lastning av bränsle.

Skillnaden i risk för uppkomst av brand för lagring av bränsle i silos jämfört med utomhuslagring är främst kopplad till extern påverkan av nederbörd, vind, bearbetning av bränslet och tillgång till syre. Vid silolagring är fördelarna att bränslet har en bättre miljö för torkning och lagring samt att risken för självantändning är mindre i små och medelstora förråd, jämfört med utomhuslagringen. Begränsningen av syretillgången och en större tillgång till kolmonoxid i silos begränsar oxidationen och därmed även minskar möjligheten till temperaturhöjningen i bränslet (Knutsson & Svedberg, 2011). Vid utomhuslagring ställs det större krav på hanteringen och lagringen av bränslet för att undvika bränder då hänsyn måste tas till ovan angivna parametrar och extern påverkan av fordon som bearbetar och packar bränslet. Alla dessa faktorer ökar risken för uppkomst av brand. Vid inträffad brand har de olika lagringssätten mycket olika förutsättningar för släckinsats, som behandlas mer i kapitel 5.3.

5 Brand i bränslelager

Tidigare inträffade bränder i bränslelager har medfört problem för drabbade kraftvärmeanläggningar varför det är av intresse att kartlägga de styrande parametrarna för uppkomsten av brand (Lönnermark et. al., 2008). Kapitlet presenterar en teoretisk beskrivning av olika faktorer som styr och påverkar uppkomsten av brand i bränslelager. Genom kartläggning av de styrande parametrarna för uppkomst av brand kan det strävas efter riskreducerande åtgärder och värdering av dessa. Beskrivning av orsaken bakom samt konsekvenserna av tidigare inträffade bränder kommer presenteras i kapitlet.

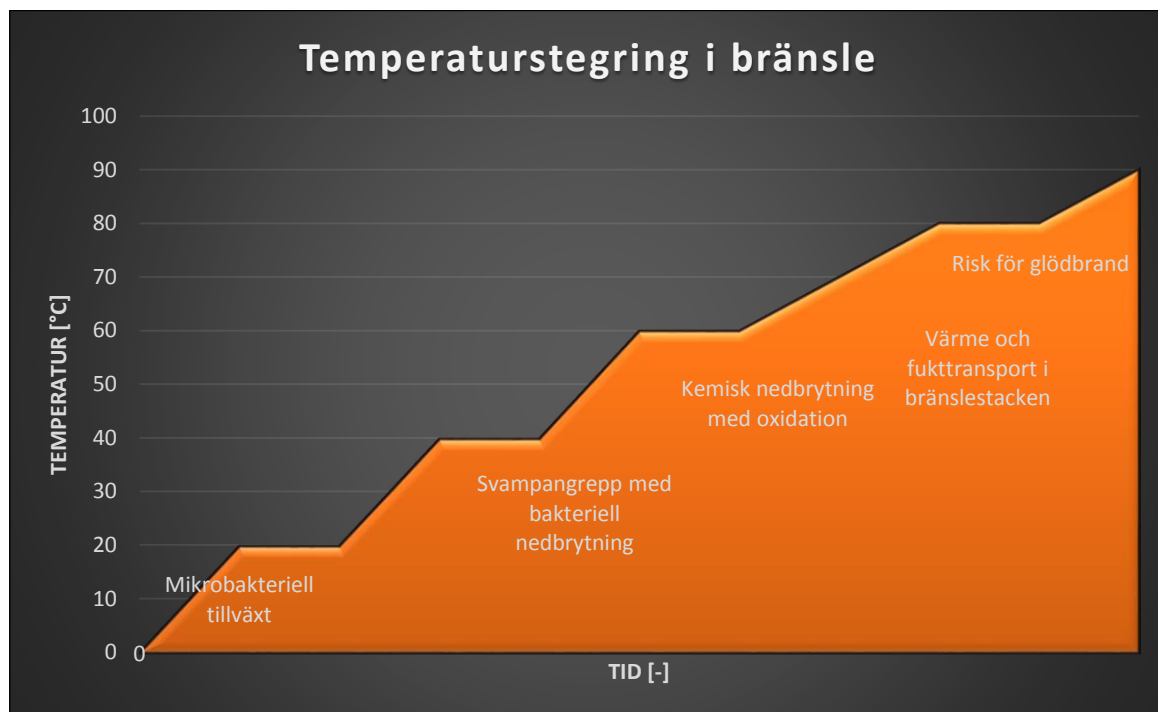
Räddningstjänstens insatsmetodik vid brand i bränslelager är starkt förknippat med vilken typ av lagringsätt och bränsle som lagras, vilket också behandlas i kapitlet.

5.1 Styrande parametrar för uppkomsten av brand

Kemiska- och biologiska nedbrytningsprocesser sker i det lagrade materialet och ger upphov till fenomenen varmgång, glödbland och kan resultera i fullt utvecklad brand. Andra påverkande faktorer som rör lagringsmetod och -tid beskrivs även i kapitlet.

5.1.1 Varmgång och självantändning

Den vanligaste orsaken till varför brand uppstår i bränslelager är på grund av självantändning, orsakat av varmgång, även benämnt självuppvärmning (Lönnermark et. al., 2008). Varmgång i bränslet uppstår i en inledande fas till följd av mikrobiell aktivitet. Mikrobiell aktivitet innebär att svampar och bakterier bryter ner det lagrade materialet genom fysiska-, biokemiska-, mikrobiella- och kemiska processer som pågår inne i materiallagringen. Nedbrytningsprocesserna uppstår i samband med lagring av biobränsle (Thörnqvist, 1984). De olika händelserna sker vid olika temperaturer i bränslet vilket visas illustrativt och grovt i Figur 9.



Figur 9. Temperaturstegring i bränsle

Nedbrytningsprocesserna som sker i materialet alstrar värme genom bakteriell tillväxt under tryck samt oxidationsprocess. Värmeutvecklingen som uppstår kan leda till självuppvärmning i materialet. Det i kombination med rätt omgivningsförhållanden kan leda till att material självantänds (Thörnqvist, 1984). Utvecklingen från självuppvärmning till självantändning kan antingen ske på några dagar eller månader och beroende på omgivande förhållanden. Ytter påverkan och metaller som fungerar som katalysator kan också ge upphov till antändning.

Generellt börjar självuppvärmningsprocessen i bränslestackens geometriska centrum, där optimala fukt- och isoleringsförhållanden råder, vilka krävs för nedbrytningsprocessen. Efter en temperaturökning till cirka 30 °C börjar fukten i materialet röra sig ut från stackens geometriska centrum och kondensera. Det resulterar i en ytterligare ökning av temperatur på grund av fuktvandring. Det optimala förhållandet som krävs för nedbrytning sprider sig i stacken och medför därmed att den värmealstrande nedbrytningsprocessen kan fortsätta utanför stackens centrum (Thörnqvist, 1984). I och med att värmeutvecklingen inleds i stackens geometriska centrum medför det att självantändningen är svårupptäckt och branden hinner ofta utvecklas samt spridas i bränslelager innan den upptäcks (Lönnermark et. al., 2008).

Nedbrytningsprocesserna dominerar inom olika temperaturintervall. För nedbrytningsprocessen som medför en temperaturökning upp till 70 °C, är mikroorganismerna ansvariga för (Thörnqvist, 1984). Efter denna brytgräns tar kemiska processer över och medför en ytterligare temperaturhöjning (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Slutligen kan systemet drivas till en sådan temperatur att materialet självantänds (Lönnermark et. al., 2008).

En generell beskrivning av självantändning är att fenomenet uppstår när värmeproduktionen i bränslelager är större än värmeförlusterna. En temperaturstegring i stacken är ett första varningstecken för en förhöjd risk för att brand ska uppstå i lagringen. I dagsläget saknas det information för att enkelt kunna skilja vad som är en riskfri temperaturökning åt från en temperaturökning som kan leda till självantändning (Lönnermark et. al., 2008).

Ett materials benägenhet att självantända varierar med materials olika egenskaper tillsammans med omgivningen där materialet förvaras. Omfattningen av nedbrytningen varierar därför med det lagrade materialet och lagringsmiljön (Thörnqvist, 1984). En metod som kan användas för beräkning av självantändning i fast material är Frank- Kamenetskii metoden. Metoden tar hänsyn till att värmeutvecklingen, som sker i lagringen, inte är en homogen process. Beräkningssättet som presenteras i metoden används ofta vid beräkning av kritiska förhållanden för självantändning i fasta material, som till exempel trädbaserat bränsle för att försöka förutsäga när risken för självantändning kan förväntas.

5.1.2 Glödbrand

Vid en glödbrand sker processer för nedbrytning och förbränning inne i det fasta materialet (Särdqvist, 2006). Nedbrytningsprocesserna alstrar värme som genererar glödbrand, vilket innebär att en glödbrand kan uppstå utan externa antändningskällor. En glödbrand definieras som en förbränning som sker utan synlig flamma och som utvecklas långsamt under en längre tid (Rein, 2009). Glödbränder kan förekomma antingen vid ytan av eller inuti bränslelager (Bengtsson, 2001). Troligast är uppkomsten för glödbrand i stackar där olika bränslesortiment lagras tillsammans eller där bränslesortimentet lagrats under en längre tid.

Syrgastillförseln är en viktig parameter för att en glödbland ska kunna alstras och fortsätta utvecklas. Syrgastillförseln till glödbland vid ytan sker från omgivningen (Bengtsson, 2001). Vid bränslelager i stackar skapas fickor i materialet, där syrgas finns tillgängligt då bränslet är ett poröst material (Thörnqvist, 1984). Syrgasfickorna fungerar som förråd som förser nedbrytningen med syrgas så att processerna kan fortskrida (Rein, 2009).

Glödbänder ligger ofta och pyr inne i stacken vilket medför förkolning av material. Bränslevärdet blir därmed sämre med hänsyn till energivärde och energiproduktionⁱ. Glödbänder sker djupt ner i materialet, processerna kan fortskrida under en lång tid och till och med pågå under flera år. Det medför att glödbandszonen kan få en ordentlig spridning innan den upptäcks. Glödbänder anses nästintill omöjliga att släcka när de väl fått fäste i bränslelager (Rein, 2009).

Endast en mindre del av bränslets energiinnehåll frigörs vid glödbänder. På grund av omgivande isolerande material medför energifrigörelsen en temperaturökning som bidrar till en utveckling av nedbrytningsprocesser (Rein, 2009). Temperaturökningen kan leda till en eventuell självantändning av materialet (Särdqvist, 2006).

En glödbland kan medföra utveckling till en ytbrand om värmespridningen sker från stackens geometriska centrum till ytanⁱ. Utvecklingen från glödbland till storskalig brand anses medföra risker som inte fått förtjänad uppmärksamhet trots de konsekvenser de kan orsaka. Då glödbänder inträffar vid låga syrekoncentrationer är brandgaser som frigörs mer toxiska, jämfört med ytbränder (Karlsson & Quintiere, 2000).

Glödbänder som inträffar i silolagring kan medföra svåra konsekvenser. Nedbrytningsprocesserna, som sker i samband med glödbänder, medför en sänkning i syrgaskoncentrationen inne i silon. En explosion (backdraft) kan uppstå om syrgas tillförs till ett sådant utrymme (Karlsson & Quintiere, 2000).

Själva formen för bränslestacken påverkar i sig inte risken för uppkomst av brand utan avser mer möjligheten till räddningsinsats. Däremot är trycket i bränslestacken en faktor för självuppvärmning och glödbland. Vid bränslelagring som sker med hög höjd ökar trycket i materialet vilket ger upphov till större bakteriell påverkan och temperaturhöjningⁱ. Lagringsförhållandet, lagringstiden, lagringshöjden och bränslets omgivning är faktorer som påverkar på bränslets benägenhet till självantändning. Det finns dock osäkerheter kring sambandet som beror på kunskapsbrist inom området (Knudsen & Persson, 2000).

5.1.3 Externa antändningskällor

Förutom de ovan beskrivna fenomenen kan brand i bränslelager uppkomma till följd av externa antändningskällor. Externa antändningskällor kan vara gnistbildning från maskiner, fordon eller elektriska installationer som antänder materialet (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Externa antändningskällor kan även vara brand i lastmaskiner, åska, anlagd brand eller gräsbrand i samband med utomhuslagring av bränsle. Uppkomsten av brand i samband med bränslelager kan även ske vid olycka förknippat med hjullastareⁱ.

5.1.4 Storskalig brand

Det som klassas som en grundläggande förståelse för att kunna tillämpa och förstå innehållet i examensarbetet är att vara medveten om hur fenomenet storskalig brand skiljer sig från en glödbrand. Bränder i stackar kan delas in i glödbränder och ytbränder. En ytbrand definieras som en utvecklade brand med synliga flammor. Fenomenet kan ha utvecklats från själv- eller spontanantändning, glödbrand alternativt från extern påverkan i form av exempelvis externa antändningskällor. En ytbrand kan bli mer omfattande och resultera i en storskalig brand. Innebörden av en storskalig brand är att en större mängd bränsle är involverat i branden och insats från Räddningstjänsten kan krävasⁱ.

5.1.5 Lagringstid

Lagringstiden har inverkan på risken för uppkomsten av varmgång, glödbrand och till och med storskalig brand. Vid en undersökning av ett antal bränder i bränslelager visade det sig att en av den gemensamma nämnaren för inträffade bränder var att lagringen hade pågått under flera månader. En mindre lagringstid har visat minska risken för uppkomsten av självantändning i det lagrade materialet (Lehtikangas, 1999). En lång lagringstid har även visat sig vara en påverkande faktor för uppkomsten av glödbrand i bränslelagerⁱ. Genom att tidsfaktorn påverkar risken för självantändning och glödbrand är det även en sekundär påverkan till uppkomsten av storskalig brand.

5.1.6 Omgivning

Mikrobiell aktivitet uppstår vid lagring av fuktigt bränsle. Trädbaserat bränsle som förvaras utomhus kan få en ökad fukthalt orsakat av bland annat nederbörd (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Halten mikroorganismer är högre i färsk bark och träflis jämfört med lagrat och fuktigt material (Knutsson & Svedberg, 2011). Syrgas förvaras i luftfickor som bildas när materialet lagras. Det innebär att även material som är kompakt lagrat kan innehålla syrgas som är en viktig komponent vid nedbrytningsprocesserna (Strömberg & Herstad Svärd, 2012).

För att mikrobiell nedbrytningen ska fungera krävs en miljö där svampar och bakterier trivs. En sådan miljö kräver näring, syrgas, hög fukthalt samt att den omgivande temperaturen ligger mellan 20 till 40 °C. Näringen får organismerna från trädmaterialet. Stackar med trädbaserat biobränsle skapar optimala omgivningsförhållanden för svampar och bakterier, som är drivkraften bakom nedbrytningsprocesser (Strömberg & Herstad Svärd, 2012).

5.2 Inträffade bränder i samband med bränslelager

I dagsläget är det relativt vanligt förekommande att bränder startar i bränslelager (Lönnermark et. al., 2008). Nedan presenteras ett antal tidigare inträffade bränder i samband med bränslelager i Sverige som erhållits utifrån litteratursökning.

Mönsterås 2011 – Brand i flislager

En brand startade i en flisstack vid Södra Cells pappersbruk i Mönsterås. Branden spred sig till intilliggande stackar och upptäcktes genom rökutvecklingen. Den egna brandstyrkan var snabbt på plats och kunde inleda en släckinsats. Det råde inga optimala väderförhållanden för insatsen, starka vindar medförde att branden spred sig till angränsande anläggningar. Till råga på allt var befintliga vattenresurser inte tillräckliga. Extra resurser kallades in från angränsande kommuner för att få branden under kontroll. Totalt användes fem helikoptrar för vattenbombning. En brandstyrka på cirka 50 brandmän och släckmedelscentraler från Malmö och Göteborg plockas in i släckningsarbetet. Insatsen pågick under en hel vecka innan branden släcktes helt. Det totala flislagret som var inkluderat i branden utgjordes av 50 000 m³ material, varav allt totalförstördes. Branden resulterade även i produktionsförlust och att samtliga transportörer till flislagret totalförstördes.

Norrköping 2008 – Brand i flislager

I ett flislager vid ett pappersbruk i Norrköping uppstod en brand som kunde sprida sig till följd av kraftiga vindar. Branden lyckades sprida sig till ett skogsområde i närheten samt till taket på angränsande byggnader som utgjorde lager. Branden spred sig även till flera närliggande silon via transportbandet och slog ut vattenreningsanläggningen. Det resulterade i utvecklade bränderna i flislagret och i silon som var svårsläckta. Släckinsatsen pågick under flera dagar. Konsekvenser av branden var produktionsstopp och ekonomiska förluster (Lönnermark et. al., 2008).

Kristinehamn 2007 – Brand i silo för träpelletsförvaring

Silon i Kristinehamn användes för träpelletsförvaring. Branden startade till följd av självantändning i materialet och lyckades släckas med hjälp av inertering av koldioxid från silons topp. Det kompletterades med kontinuerlig insprutning av kvävgas i silon, samtidigt som den tömdes på material. Skyddsåtgärder vidtogs i form av gasanalyser i silon i syfte att försäkra god arbetsmiljö för de som arbetade med insatsen (Lönnermark et. al., 2008).

Ramvik 2005 – Brand i träpelletslager

En brand utbröt i ett stort lager i Ramvik som användes till förvaring av träpellets. Den lagrade volymen pellets var större än 40 000 m³. Insatsen utfördes genom att väggarna forcerades med tungt fordon. Inne i lagret släcktes branden med vatten och skum och därefter lämpades all material (Lönnermark et. al., 2008).

Luleå 2005 – Brand i silo för träpelletsförvaring

En volym på 550 m³ träpellets förvarades i en silo i Luleå när självantändning i materialet skedde. Otätheter i silon åtgärdades innan inerteringen med kvävgas inleddes. Efter avslutad inertering kunde silon tömmas utan några större problem. Totalt gick 20 ton kvävgas åt och släckinsatsen varade under nästan 4 dagar (Blomqvist et. al., 2006).

Härnösand 2004 – Brand i silo för träpelletsförvaring

Anläggningen i Härnösand bestod av fler silon placerade bredvid varandra som var sammankopplade via en gemensam överbyggnad över silorna. Träpellets förvarades i silocellerna. Rökutveckling från en av silon gav personaler på anläggningen indikationer på att brand uppstått inne i utrymmet. Precis som för Kristinehamnsbranden startade branden i Härnösands silo på grund av självantändning. Försök till släckinsats med skum och koldioxid misslyckades. Ett hål genomborrades i väggen till silon där bränslet fick rinna ut. Samtidigt släcktes bränslet med vatten. Efter det lämpades materialet med hjälp av lastfordon. Efter att tömning skett under ett par timmar antändes brandgaserna i silotoppen vilket resulterade i en fullt utvecklad brand i den gemensamma överbyggnaden. När silon var tömd visade det sig att det även brann i två angränsande silon. Det kunde konstateras att ett initialske till antändning rådde i den fjärde silon. Den sista silon var opåverkad (Lönnermark et. al., 2008).

Malmö 1989 – Brand i silo för kli- pelletsförvaring

I Malmö fanns en silo bestående av 14 siloceller som användes till förvaring av kli- pellets. I en av cellerna skedde en självantändning vilket resulterade i en explosion som sprängde bort bjälklaget. En släckinsats, som innebar inertering med koldioxid samtidigt som behållaren tömdes på material, inleddes. Inerteringen skedde i flera omgångar från silons topp. Pyrolysisintensiteten ökade dock i cellen vilket medförde att materialet återantändes flera gånger.

Händelserna medförde att räddningstjänsten beslöt sig för att ändra släckningsmetod. Istället fylldes cellen med förångad kvävgas via botten samtidigt som övre delen inerterades med koldioxid. Den här släckningsmetoden gav också indikation på förhöjd pyrolysaktivitet och fick avslutas.

Räddningstjänsten prövade då att tillsätta kvävgas. Flera ton kvävgas tillsattes under flera dagar vilket minskade pyrolysisintensiteten och släckte branden inne i silon. När räddningstjänsten kunde konstatera att branden var släckt påbörjades arbete med tömning av materialet (Blomqvist et. al., 2006).

5.3 Släckningsproblematik

Släckinsatser för brand i bränslelager är ofta omfattande och kan kräva flera dagars insats samtidigt som de ställer höga krav på räddningstjänsten, som ofta inte har den kapacitet, taktik, utrustning och erfarenhet som krävs för att släcka eller hantera den här typen av bränder (Lönnermark et. al., 2008).

5.3.1 Släckproblematik för utomhuslagring

I de flesta fall inleds självantändningsprocessen långt nere i materialet vilket medför att antändningen kan bli svår att upptäcka. Branden kan utvecklas ordentligt innan den upptäcks (Lönnermark et. al., 2008). En illustration av självantändning som uppstått i utomhuslagring presenteras i Figur 10.



Figur 10. Brand i lagring av verksamhetsavfall utomhus. Brandorsak självantändning. Fotograf: Martin Uulas

Bekämpning av brand inuti stack är inte rekommenderat då det medför lufttillförsel som bidrar till ökad intensitet av branden. Metod med vattenbekämpning ger inte heller goda resultat då vattnet rinner längst stråk i stacken och stora delar av stacken lämnas oberörda av vattnet (Lehtikangas, 1999).

Det finns inte ett uttalat korrekt sätt att utföra en släckinsats för brand i utomhuslagrat bränsle. Tidigare inträffade bränder och släckinsatser som utförts i samband med bränderna visar att det effektivaste tillvägagångssättet varierar beroende på förutsättningarna. Utomhuslagring av bränsle kan försvåra insatsen då brandgasspridningen påverkas av vindriktning och -hastighet (Larsson & Lönnermark, 2002).

Trots olika tillvägagångssätt vid släckinsatser finns det ett rekommenderat angreppssätt för släckning av bränslebränder angivet i tillgänglig litteratur. Den brinnande delen av stacken skärs av utanför brandområdet (Lehtikangas, 1999). Det kombineras med lämpning där brandutsatt material transporteras till lämpningsytor och därefter släcks. Enligt publicerade rekommendationer ska lämpningsytorna vara utsatta i förväg och befinna sig i direkt anslutning till stacken. Den tillgängliga ytan ska utgöra minst 20 % av den totala lagringsytan enligt rekommendationerna (Trygg Hansa, 2009).

Åtkomsten till brandhärden är en viktig faktor för säkerheten vid utomhuslagring. Det medför att lagringen bör utformas på ett sådant sätt att räddningstjänsten på ett enkelt sätt kan komma åt brandhärden, vilket underlättar utförandet av effektiv släckinsats (SP). Vidare åtgärder som bör vidtas i syfte att underlätta släckinsats presenteras och diskuteras under kapitel 6.

5.3.2 Silolagring

Det finns även olika förutsättningar för uppkomsten av brand vid silolagring samt för släckinsatser. Brand i bränsle som förvaras i silon är problematiskt trots att det handlar om ett tydligt begränsat område (Blomqvist et. al., 2006).

När en brand startar i en silo kan en besvärlig situation uppstå för räddningstjänsten när de ska lokalisera och släcka branden. Begränsad åtkomst till silons övre och nedre del försvårar insatsen (Persson, 2012). Begränsad åtkomst till silo vid släckinsats illustreras i Figur 11, Figur 12 och Figur 13.

Den vanligaste brandorsaken för trädbaserat bränsle i en silo är självantändning samt intransport av medföljande varma partiklar från bränsleleverans (Blomqvist et. al., 2006).

Självantändning kan under optimala omständigheter utvecklas till en pyrolysisbrand, vilket innebär en glödbbrand i en syrefattig miljö (Persson, 2012). När materialet antänds sprider sig pyrolysen nedåt i silon samtidigt som fukt, värme och brännbara gaser rör sig uppåt i silon. Spridningen går långsamt vilket innebär att det kan ta upp till flera dagar innan branddetektering sker. Branden har en chans att utvecklas innan den upptäcks. Om en brand eskalerar i en silo finns det risk för brandspridning till angränsande silon, transportband eller anläggningar (Blomqvist et. al., 2006).

Metod med vattenbekämpning är inte optimal för släckinsats i silo då vattnet gör att vissa av materialsorterna kan svälla. Materialets expansion kan medföra att silon brister eller att material fastnar högst upp i silon. Det kan skapa en mer riskfylld situation och metoden är därför inte att rekommendera. Insats som endast innebär att silon öppnas upp, i syfte att tömma den på brinnande material, har i praktiken visat sig vara ineffektiv vid tidigare inträffade händelser (Blomqvist et. al., 2006).



Figur 11. Begränsad åtkomst till silo vid släckinsats.
Fotograf: Martin Uulas

Det rekommenderade angreppssättet för släckning av silobrand är inertering med gas. Kolmonoxid eller kvävgas kan användas för tillvägagångssättet. Syftet med inertering är att minska syrgaskoncentrationen till en sådan nivå att branden slocknar (Krause, 2009). Släckinsats med inertering ska kompletteras med en långsam och kontrollerad tömning av silon samt med eftersläckning av material (Persson, 2012). Insatsen kan inledas först när mätinstrument visat att temperaturen i silon kraftigt reducerats. Metoden förutsätter en lång släckinsats som kan sträcka sig från flera dagar till veckor. Den rekommenderade metoden förutsätter även att det inte finns några öppningar eller otätheter i silon då det kan medföra en högre pyrolysisintensitet som ger en svårhanterlig situation. Otätheter och öppningar kan även medföra att gasen som inerteras läcker ut från silon (Blomqvist et. al., 2006).



Figur 12. Begränsad åtkomst till silon. Fotograf: Martin Uulas



Figur 13. Begränsad åtkomst till silon. Fotograf: Martin Uulas

6 Risker förknippat med bränslelager

Utifrån tillgängligt material kan slutsatsen dras att lagring av trädbaserat bränsle är förknippat med vissa risker. Dessa risker befaras inte behandlas på relevant sätt med hänsyn till sannolikheten för uppkomst av de olika händelserna. Bränslelager har i ett flertal fall lett till påverkande konsekvenser både för hälsa, miljö, egendomsskydd, produktionssäkerhet samt för räddningstjänstens insatsmöjligheter (Knutsson & Svedberg, 2011). Medförda risker varierar med lagringsmetoderna och ska identifieras i kapitlet. En sammanställd och övergripande bedömning över dessa risker genom utförda platsbesök sker i kapitel 9 genom diskussion och slutsatser.

6.1 Brand- och brandspridning

Det finns en känd risk för brand i bränslelager (Lönnermark et. al., 2008). En inträffad brand kan orsaka konsekvenser både för räddningstjänstens insatsmöjlighet, hälsa, miljö, egendom samt för kraftvärmeverkets produktionsmöjlighet. Vid silobrand går det inte att förbise risken för sekundär dammexplosion. En dammexplosion kan resultera i allvarliga konsekvenser för anläggningen och för personalen som befinner sig inom området (Blomqvist et. al., 2006). Risker med dammexplosion kommer att behandlas senare i kapitlet 6.3.

6.1.1 Hälsa

Människor som befinner sig i anslutning till, eller i närheten av, anläggningen kan påverkas av brandgaser, lukt och giftiga partiklar (Lönnermark et. al., 2008). Vid förbränning bildas bland andra de toxiska gaserna koldioxid och kolmonoxid, som påverkar andningen och förhindrar kroppens syrgastransport. Exponering av brandgaser kan leda till syrgasbrist. Inandning av kolmonoxid kan även medföra hjärt- och kärlsjukdomar (Larsson & Lönnermark, 2002). I värsta fall skulle brand i bränslelager kunna medföra risk för personskador eller till och med dödsfall. Sannolikheten för att dödsfall inträffar i samband med brand- och brandgasspridning från brand i bränslelager anses vara relativt liten (Strömberg & Herstad Svärd, 2012).

Att utföra släckinsats är dock riskfyllt för räddningstjänstens insatspersonal, både med hänsyn till direkt påverkan av brand från värmestrålning men även hälsoaspekter med eftersläckningsarbete samt sotpartiklar. Bränder i bränslelager är svårsläckta och omfattar ofta bearbetning och lämpning av material. Lämpning medför att lastfordon får köra i skytteltrafik där sikten kan vara försämrad på grund av brandgaser som produceras från inträffad brand. Extern personal används oftast för att framföra fordon, hjullastare och liknande. Det är inte alltid garanterat att det finns skyddsutrustning till samtliga förare (Lönnermark et. al., 2008).

En annan risk med att använda utbildad brandpersonal är att de inte alltid är medvetna om farorna som kan medföras med damm och rök i samma utsträckning som utbildad personal. Resultatet av detta skulle kunna vara att personal omedvetet utsätter sig för farliga mängder eller höga koncentrationer damm och rök (Lönnermark et. al., 2008). Liknande konsekvenser uppstår vid brand i silolagring som vid brand i utomhuslager, dock bedöms en uppkommen brand i silo kunna behandlas på ett lugnare och mindre tidspressat sätt.

6.1.2 Miljö

Förutom människor är det även den omgivande miljön som påverkas av utsläpp och föroreningar från bränder (Lönnermark et. al., 2008). Koldioxidutsläpp har en negativ inverkan på växthuseffekten (Larsson & Lönnermark, 2002). Brand i bränslelager skulle kunna spridas till intilliggande skogsområden och på så sätt skapa förödelse (Lönnermark et. al., 2008).

Om branden resulterar i krävd insats från räddningstjänsten kan omgivningen även påverkas av förorenat släckvatten (Lönnermark et. al., 2008). Släckvatten innehåller giftiga ämnen från brandgaserna och det finns risk för spridning av ämnen i miljön vid släckinsats (Larsson & Lönnermark, 2002). Det kan i värsta fall leda till långsiktiga effekter på miljön som visar sig i form av sjuka eller avlidna djur och växter (Nyberg, 2010).

6.1.3 Egendomsskydd

Förutom det egenvärde som finns i bränslelager som negativt påverkas vid brand kan även en inträffad brand, i bränslelager utomhus eller i en silolagring, kan medföra risk för brandspridning till angränsande silon, fler bränslelager eller övriga delar av anläggningen. Omfattande bränder kan sprida sig till intilliggande konstruktioner och medföra risken för att byggnaderna slås ut (Lönnermark et. al., 2008). Vid bränslelager som befinner sig nära byggnader och produktionsdelar kan en brand innebära allvarlig påverkan på produktionen och resultera i både avbrott och omfattande skador på byggnader och processutrustning.

6.2 Kända riskreducerande åtgärder för brand och brandspridning

I delkapitlet anges i studerad litteratur kända riskreducerande åtgärder. Fler rekommenderade åtgärder finns tillgängliga inom litteratur som berör det aktuella ämnet. Liknande riskreducerande åtgärder kan vidtas vid silolagring som vid utomhuslagring av bränsle.

Genom att göra personalen på anläggningen medvetna om vilka risker som medförs vid bränslelager kan risker förhindras. Det kan ske genom utbildningar och anordnade seminarier där potentiella risker redovisas och diskuteras. Det är viktigt att personalen har en lämplig utbildning i riskförebyggande syfte. Utbildning kan också anordnas till förare av hjullastare. För att säkerställa arbetsmiljön för förarna bör de vara utrustade med andningsskydd.

En annan riskreducerande åtgärd som bör vidtas är regelbundna temperaturmätningar i stacken som kompletteras med loggning av bränsletemperaturerna. På så sätt kan temperaturhöjning uppmärksammas innan det finns risk för utveckling till självantändning. Vid behov kan IR- kamera utnyttjas för att upptäcka en varmgång eller glödbrand i tidigt skede innan en större värmeutveckling sker.

Brandskyddsåtgärder som anses förhindra och begränsa skador är implementering av rutiner. Det kan till exempel vara rutiner för kontroll av skyddsavstånd och brandpostnät. Anläggningar som bedriver bränslelager bör förses med eget brandpostnät som kompletteras med uttagpunkter runt bränslegården. Det skapar goda förutsättningar för tidig släckinsats samt möjliggör eget släckningsarbete. I riskförebyggande syfte bör även bränslegården förses med släckutrustning, i form av slang och strålmunstycke, som placeras vid varje brandpost.

För att underlätta släckinsats i bränslelager är rutiner för lämpning av glödande material och material med förhöjd temperatur av stor vikt kombinerat med tillgången till ytor för lämpning samt rutiner för släckning. Tydliga larmrutiner samt nödlägesbeskrivning bör finnas lättillgängligt. Personal på anläggningen bör utbildas i brandsläckning och användandet av brandredskap. Ett samarbete vad gäller utbildning och släckinsatsövning bör även ske i samband med räddningstjänsten för en effektivare insats¹.

För att förhindra uppkomst av brand från extern påverkan är det viktigt att tidigt separera medföljande metallbitar i bränslelagren då de fungerar som katalysatorer. Det kan åtgärdas med en metallavskiljare vid flisning som sker i anslutning till kraftvärmeverken. Vid bränslemottagning bör det ställas krav på att materialet redan är avskilt från metaller.

En sammanfattning av vilka konsekvenser brand i bränslelager kan medföra samt förslag på åtgärder presenteras i Tabell 6.

Tabell 6. Konsekvenser och åtgärdsförslag vid brand och brandspridning

Inriktning	Konsekvenser	Åtgärdsförslag
Begränsa uppkomst av brand		Följ råd och riktlinjer för bränslelager Temperaturmätning, loggning Använd IR- kamera vid behov Undvik metall i bränslelager Utbilda personal
Räddningstjänstens insatsmöjlighet och släckningsproblematik	Insats försvåras Räddningspersonal utsätts för giftiga gaser Spridning av brand	Säkerställ skyddsavstånd mellan bränslelager/stackar Använd skyddsutrustning Implementera nödlägesrutiner Säkerställ vattenförsörjning
Hälsa	Människor påverkas av brandgaser, lukt samt giftiga ämnen Personskador Arbetsmiljöproblematik för personal som behövs vid släckinsats	Implementera nödlägesrutiner Utbilda personal Övning av släckinsats Säkerställ relevant skyddsutrustning Minimera risken för brand enligt övriga punkter ovan.
Miljö	Utsläpp orsakat av brand eller brandgaser Förorenat släckvatten sprids i naturen	Minimera risken för brand enligt övriga punkter ovan.
Egendom	Skada på kraftvärmeverk Bränsleförstörelse Produktionsbortfall	Följ råd och riktlinjer för bränslelager Minimera risken för uppkomst av brand enligt övriga punkter ovan.
Produktionssäkerhet	Förlorat lager och ekonomisk förlust Bränsleförsämring Produktionsstopp	Följ råd och riktlinjer för bränslelager Minimera risken för uppkomst av brand enligt övriga punkter ovan.

6.3 Mikrobiell aktivitet och dammbildning

Innebörden av mikrobiell aktivitet har beskrivits tidigare i rapporten och innebär att nedbrytningsprocesser sker i det lagrade materialet och medför värmeutveckling som sprider sig i bränslelager (Thörnqvist, 1984). Nedbrytningsprocesserna som uppstår vid lagring av trädbaserat biobränsle förbrukar syrgas och avger toxiska gaser. Det orsakar syrgasbrist i direkt anslutning till bränslet samt en förhöjd koncentration av giftiga gaser i omgivningen (Knutsson & Svedberg, 2011). Konsekvenser samt förslag på åtgärder för syrgasbrist och förhöjda koncentrationer av toxiska gaser behandlas i detta kapitel.

Dammbildning uppstår normalt i samband med bränslehantering. Dammbildning innebär att det bildas en finfraktion av damm som kan blanda sig med omgivande luft och bli luftburen. Koncentrationen av damm är högst i samband med bränsleberedning, krossning, sållning, maskinskötsel, packning av material i säckar, inlastning, sopning och vid rengöring (Knutsson & Svedberg, 2011).

Mikrobiell aktivitet inverkar på hälsan för de som arbetar vid bränslelager (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). I trädbaserat fuktigt bränsle finns mikrosporer. Inandning av sporer orsakar negativa hälsoeffekter och kan leda till sjukdomsförlopp, *fliseldarsjukan*. Personer som drabbas upplever symptom som feber, svettningar, andnöd, illamående samt värk i muskler och huvud. Symptomen kan märkas av redan efter ett par timmar efter att inandning av sporer skett. Om exponeringen är kortvarig och inte kontinuerlig upphör normalt symptomen efter ett par dagar. Vid långvarig exponering kan symptomen däremot utvecklas till ett kroniskt sjukdomsförlopp som kan resultera i lungskador och ett allergiliktillstånd (Lacasse & Cornier, 2005). Risken för att drabbas av fliseldarsjukan är lägst vid arbete i välventilerade utrymmen och vid låga temperaturer (Knutsson & Svedberg, 2011).

Både mikrobiell aktivitet och dammbildning kan medföra en försämrad arbetsmiljö. Inandning av damm kan orsaka luftvägs- och hudbesvär för de som arbetar med bränslehantering (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). I värsta fall kan exponering av damm även orsaka cancer i näs- och bihålor. Sannolikheten för att det ska inträffa anses vara låg. Direkt hudkontakt med träddamm kan orsaka irritation och allergier på huden (Knutsson & Svedberg, 2011).

Riskreducering för skador som uppstår på grund av mikrobiell aktivitet, sker genom att skapa en miljö där svampar och bakterier som orsakar nedbrytningsprocesserna inte trivs. Den enklaste åtgärden är att försöka förvara bränslet torrt (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). En fukthalt på 20 % medför så pass torrt material att svampar och bakterier vid mikrobiell aktivitet inte kan använda sig av det fria vattnet i bränslet, då avstannar nedbrytningsprocesserna (Lehtikangas, 1999).

För att minska tillväxten av mikroorganismer rekommenderas lagring i välventilerade utrymmen och vid låga temperaturer. Genom att hålla anläggningen ren och fri från fuktig damm kan besvär orsakade av mikroorganismer förebyggas (Knutsson & Svedberg, 2011). Hantering av torrt bränsle ökar dock risken för dammbildning och därmed ökar risken för dammexplosion (Lehtikangas, 1999).

Vid bränslehantering där arbetet utförs med hjälp av maskiner bör förarhytterna vara täta och skyddade (Lehtikangas, 1999). För att minska frysriskerna bör bränslelager inte utföras kompakt (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). För att minska risken för dammexplosion ska anläggningarna hållas rena samt säkerställas fungera för explosionsfarlig miljö genom att kontinuerligt arbeta med explosionsskyddsåtgärder med klassade utrymmen (Lehtikangas, 1999).

En sammanställning av vilka konsekvenser mikrobiell aktivitet och dammbildning kan medföra samt förslag på åtgärder presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. Konsekvenser samt åtgärdsförslag för mikrobiell aktivitet och dammbildning

Inriktning	Konsekvenser	Åtgärdsförslag
Hälsa	Luftvägs- och hudbesvär Allergiska reaktioner Rethosta, frossa, hög feber Huvud-, led- och muskelvärk Fliseldarsjukan Halkskador Cancer Hudirritation och allergier Personskador, dödsfall Försämrad arbetsmiljö	Förvara bränslet under 20 % fukthalt Använd andningsmask vid hantering av bränsle Täta förarhytter med filter Packa inte bränslet kompakt Håll anläggningen ren Använd IR- kamera för att kontrollera varmgång och därmed bakteriell aktivitet Säkerställ välventilerade utrymmen där bränsle hanteras inomhus

6.4 Syrefattig miljö

Vid lagring av bränslen sker nedbrytningsprocesser som medför att syrgas förbrukas och att toxiska gaser bildas. De toxiska gaserna som bildas är samma gaser som frigörs i samband med bränder. Det handlar framförallt om gaserna koldioxid och kolmonoxid. De bränslen som visat på förhöjda koncentrationer av gaser i slutna utrymmen är träpellets, träflis samt sågspån (Knutsson & Svedberg, 2011).

Vid utomhuslagring är risker som medförs i samband med de giftiga gaserna relativt små men kan dock förekomma i vissa delar av stackar, gropar eller liknande. Likaså i slutna utrymmen där transport av bränsle sker finns det risk för detta fenomen. Vid bränsleförvaring i silon kan det dock kontinuerligt förväntas vara en syrefattig miljö.

Under de senaste 10 åren har det uppmärksamats flera fall i Sverige där personer som befunnit sig i pelletsförråd avlidit till följd av syrgasbrist eller förhöjda koncentrationer av toxiska gaser. Mörkertalen antags vara stora (Knutsson & Svedberg, 2011). I riskförebyggande syfte är det viktigt att utrymmen där syrefattig miljö kan uppstå ventileras och säkerställs innan tillträde ges (Knutsson & Svedberg, 2011).

Risker med förhöjda gaskoncentrationer kan hanteras med hjälp av kontinuerliga eller tillfälliga gasmätningar. Genom att utföra regelbundna mätningar av halten giftiga gaser samt syrgas kan en förvarning ske innan gaserna når en kritisk gräns som innebär fara för människors hälsa. Utrymmen där farliga koncentrationer av toxiska gaser eller syrgas kan uppstå bör kompletteras med varningsskyltar (Knutsson & Svedberg, 2011).

För att minska hälsoriskerna bör skyddsutrustning i form av andningsmask användas vid bränslehantering (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Förhöjda koncentrationer av giftiga gaser eller syrgasbrist uppvisar inga varningstecken och är svårt att upptäcka. Ordentlig andningsutrustning och kolmonoxid- mätare underlättar uppmärksammandet av farliga gaskoncentrationer (Knutsson & Svedberg, 2011).

Systematiskt arbetsmiljöarbete samt riskbedömning över arbetsuppgifter ska bedrivas för att reducera arbetsmiljörisiker som kan medföras av farliga koncentrationer av gaser (Strömberg & Herstad Svärd, 2012). Genom att göra personal på anläggningar uppmärksamma på vilka risker som finns samt hur de ska agera vid tillfällena som kan medföra hälsopåverkan kan risken undvikas. Personalen bör även ha inövade rutiner för hur de ska agera vid inträffade händelser (Knutsson & Svedberg, 2011).

Skyddsvakt kan användas i syfte att förhindra personer från att vistas i områden där de kan utsättas för hälsorisker. Det är då viktigt att vakten inte själv går in i riskområden utan skyddsutrustning samt att det finns en noggrant genomtänkt plan för agerande vid eventuell olycka (Knutsson & Svedberg, 2011).

En sammanfattning av vilka konsekvenser syrgasbrist och förhöjda koncentrationer av toxiska gaser kan medföra samt förslag på åtgärder presenteras i Tabell 8.

Tabell 8. Konsekvenser samt åtgärdsförslag för syrgasbrist och förhöjda koncentrationer av giftiga gaser

Inriktning	Konsekvenser	Åtgärdsförslag
Hälsa	Personskador och dödsfall	Regelbundna mätningar av kritiska nivåer Använd skyddsutrustning vid behov Utbildad personal, inövade rutiner Skyddsvakt, varningsskylt

7 Myndigheternas roll och intresse i riktlinjer för bränslelagring

I kapitlet beskrivs övergripande länsstyrelsens, kommunens samt räddningstjänstens roll främst kopplat till ämnet i rapporten och hur dessa myndigheter kommer i kontakt med riktlinjer samt bränslelager i anslutning till kraftvärmeverk.

Länsstyrelsen företräder regering och riksdag i Sveriges län, vilket innebär att de beslutar om frågor som berör respektive läns länsstyrelse. Myndighetens tillsynsuppgifter omfattas bland annat av skydd mot olyckor, hållbar samhällsplanering, energi, klimat, miljö- och hälsoskydd. Länsstyrelsen har en aktiv del i tillstånd för etablering av förbränningsanläggningar då några av deras främsta arbetsuppgifter är energifrågor samt förhindrandet av icke önskvärda utsläpp (Länsstyrelsen 1). Länsstyrelsens uppgift är att genomföra en bedömning från fall till fall där de avgör om verksamheten kan antas medföra miljöpåverkan som är av betydelse (Naturvårdsverket).

Vid byggnation av förbränningsanläggningar söks tillstånd hos olika myndigheter beroende på anläggningens kapacitet. Tillstånd för en förbränningsanläggning med en total installerad tillförd effekt på mellan 20 till 300 MW sker hos länsstyrelsens miljöprövningsdelegation. För en förbränning med en total installerad tillförd effekt på mer än 300 MW sker hos mark- och miljödomstolen (Länsstyrelsen 2). Tillståndsansökningar ska bland annat innehålla en miljökonsekvensbeskrivning som ger en helhetsbeskrivning av vilka eventuella miljöpåverkningar som den planerade verksamheten kan medföra (Länsstyrelsen 2). Utöver en miljökonsekvensbeskrivning kan det även krävas en bränslehanteringsplan som just beskriver vilka risker som finns förknippade med den aktuella bränslelagringen.

Tillstånd utgivna av antingen mark- och miljödomstolen eller länsstyrelsen i byggnationssyfte av exempelvis kraftvärmeverk sker i samråd med kommun samt tredje part som eventuellt skulle kunna påverkas av byggnationen (Länsstyrelsen 3). Under tillståndsprocessen kan därmed räddningstjänsten uttala sig om till exempel hur lagringen ska ske vid exempelvis ett kraftvärmeverk inom kommunen. På så sätt kan de i ett tidigt stadium ge synpunkter på hur bränslelagring ska ske. Andra frågeställningar kan vara hur förorenat släckvatten omhändertas efter utförd släckinsats.

Räddningstjänsten har utöver detta ytterligare roller där de kommer i kontakt med bränslelagring och byggnation av kraftvärmeverk. En av dessa är att räddningstjänsten agerar som remissinstans till kommunen inom plan- och bygglovsärenden med syfte att kontrollera att Boverkets byggregler uppfylls. En annan är att utföra tillsyn med avseende på Lagen om Skydd mot Olyckor där krav ställs på verksamheter att i skäligen omfattning vidta åtgärder som krävs för att förebygga brand samt begränsa skador som uppstått på grund av brand. Räddningstjänsten är även tillsyns- och tillståndsmyndighet med hänsyn till hantering och lagring av brandfarliga vara genom förmyndigande av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. Slutligen innehar även räddningstjänsten ansvaret och uppgiften att vid brand eller annan olycka utföra räddningsinsats vilket kräver stor kännedom om både hanteringen av bränsle men även anläggningarna i stort.

Med de roller som myndigheterna beskrivna i detta kapitel har, innebär det kunskap eller vägledning krävs för hur bränslelagring och hantering ska ske för att risker förknippade med denna hantering är omhändertagna. Den tillgängliga litteratur och riktlinjer som finns att tillgå är den som är beskriven i kapitel 3.

8 Resultat av statistiksökning samt intervjustudie

I dagsläget är det relativt vanligt förekommande att bränder uppstår i bränslelager. Trots det är informationsinnehållet begränsat kring inträffade bränder. Det saknas ett fullt statistiskt underlag över inträffade glödbränder, varmgång och storskaliga bränder i bränslelager (Lönnermark et. al., 2008).

För att kunna ta lärdom av tidigare inträffade händelser och samla erfarenhet från kraftvärmebranschen har författarna analyserat och inhämtat statistik över inträffade händelser och olyckor i samband med bränslelager. I samband med detta examensarbete har statistikinsamlingen utförts genom statistiksökning, enkäter och intervjuer. Tillvägagångssätt samt resultat av insamlad information och statistik presenteras i följande underkapitel. Statistiken anses av författarna utgöra diskussionsunderlag och en fingervisning över inträffade händelser men är inte statistiskt säkerställd i tillräckligt stor omfattning för att kunna användas som underlag till beslutfattande i frågor som rör bränslelager. Utifrån erhållet resultat sker en jämförelse mellan olika metoder och angreppssätt för lagring av trädbaserat bränsle i praktiken.

8.1 Statistiksökning

Räddningstjänster i Sverige har skyldighet att dokumentera samtliga utförda insatser genom inrapporteringsystemet och databasen IDA som regleras av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, där statistik finns från och med år 1998. Den angivna statistiken presenteras i tabeller som visar antalet inträffade händelser under ett helt år (IDA).

Sökning i databasen utgjorde tillvägagångssättet för statistiksökningen i samband med examensarbetet. Databasen innefattar dock inte endast bränder i trädbaserat bränsle. För att erhålla statistik som är av intresse för examensarbetet delades sökningen in i kategorier utifrån tillgängliga sökord som i samråd med MSB ansågs tillämpliga för det aktuella ämnet². Kategorierna och dess avgränsningar är sammanställda i Tabell 9.

Tabell 9. Kategorier för statistiksökning

Kategori	Avgränsningar
Kategori 1	Brand ej i byggnad, kraft-/ värmeverk
Kategori 2	Brand ej i byggnad, soptipp/ deponi
Kategori 3	Brand utomhus, brandorsak självantändning

8.2 Intervjuer

I syfte att inte få ett alltför omfattande intervjuunderlag har examensarbetet begränsats till att behandla flis från returträ samt skogsflis då dessa grupperingar av bränslesorter är aktuella hos kraftvärmeverken. Ett alltför omfattande intervjuunderlag hade blivit krävande för intervjupersonerna att besvara och kan medföra risken för tappat intresse hos intervjupersonerna samt har begränsats genom omfattningen av detta examensarbete. Val av biobränslen har skett utifrån de mest använda riktlinjerna hos kraftvärmeverken samt genom samråd med handledare på Lunds Tekniska Högskola.

Intervjuerna utfördes både muntligt i samband med platsbesök och skriftlig genom enkätstudier. Tillvägagångssätt och resultat från intervjuerna presenteras nedan. Då erhållet resultat från intervjuerna inte ska kunna sammankopplas till någon specifik anläggning har ett system utformats där varje anläggning som deltog i undersökningen numrerats med siffror.

² Brandingenjör Anders Lundberg, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, Enheten för brandskydd och brandfarlig vara, mail 2014-10-15

8.2.1 Intervjuer via enkät

Tidskriften Bioenergi arbetar inom området bioenerginäringen där de bedriver samarbeten med industrin, myndigheter och organisationer. Deras arbete strävar efter att utveckla användandet av bioenergi genom att ta fram väsentlig information och fakta (Bioenergitidningen). Tidskriften Bioenergi publicerar årligen en karta över kraftvärmeanläggningar i Sverige (Biokraft). Utifrån den publicerade kartan valdes de anläggningar ut som intervjuades via enkät. Intervjulistan kompletterades med tidigare kända anläggningar som lagrar flisbränsle. Sortering av anläggningar gjordes utifrån tidigare kända anläggningar som lagrar flis samt utifrån anläggningar med hög produktionseffektivitet. Innebörden av hög produktionseffektivitet är anläggningar med hög normalårsproduktion av el (GWh) samt hög eleffekt (MW).

Anläggningarna som fick enkäten skickad till sig i samband med intervjustudien presenteras i Bilaga 3. Enkäten skickades ut till representanter för cirka 60 anläggningar. Ett antal anläggningar svarade att de inte lagrar flis och deltog då inte i studien. När anläggningarna som inte lagrar flis var bortplockade från intervjulistan återstod 33 möjliga verksamheter. I vissa fall var en och samma person representant för flera anläggningar inom samma koncern. Det innebär att totalt kunde 44 svar erhållas. Resultatet som erhöles i samband med intervjun kom från 32 stycken anläggningar, vilket innebär en svarsfrekvens på cirka 73 %.

Enkäten som användes vid intervjun var webb- baserad med anledning av att det underlättade för representanterna för anläggningarna att besvara enkäten. Enkäten som användes vid intervjuerna presenteras i Bilaga 4. I enkäten svarade representanterna från anläggningarna utifrån tillämpning i praktiken. Frågeställningen i intervjustudien delades in i två delar.

Den första delen berörde riktlinjer samt lagringstiden av flis. Vid utförda intervjuer efterfrågades det även ifall materialet lagras packat eller inte packat, då den rekommenderade maximala lagringstiden och -höjden varierar med hur materialet är lagrat. Syftet med utförandet var att dra en slutsats om huruvida riktlinjerna följs i praktiken eller inte. Dessa parametrar är speciellt av intresse då litteraturen anger att de är faktorer som påverkar sannolikheten för självantändning i bränslet.

Den andra delen av enkätstudien behandlade hur ofta fenomenen varmgång, glödbrand respektive storskalig brand inträffat under ett visst tidsintervall. Syftet med utförandet var att sammanställa en sannolikhet som visar hur situationen ser ut i praktiken.

8.2.2 Intervjuer i samband med platsbesök

De muntliga intervjuerna skedde i samband med platsbesök hos flera stycken anläggningar med omfattande bränslelager och där personer, som är insatta inom det aktuella ämnet, intervjuades. I vissa fall var intervjupersonerna som träffades på anläggningarna representanter för flera anläggningar. Då kunde information kring flera anläggningar samlas in i samband med ett platsbesök.

Kraftvärmeanläggningarna som medverkade och delade med sig av sin erfarenhet presenteras i Tabell 10. Val av medverkande objekt i studien utgick från tidigare kända kraftvärmeverk och pappersbruk som lagrar den typ av bränsle som är av intresse för examensarbetet.

Tabell 10. Insamlad information från anläggningar i samband med platsbesök

Insamlad information från anläggningar i samband med platsbesök
Hässleholms kraftvärmeverk
Nymölla pappersbruk
Tyringe kraftvärmeverk
Örtofta kraftvärmeverk

Vid platsbesöket samlades viktigt information in som är av intresse för diskussionsdelen, analysen och slutsatsen i examensarbetet. Följande punkter diskuterades i samband med platsbesöken:

- Rutiner och plan vid inträffade brandrelaterade händelser samt släckmetodik
- Kontroll och hantering av temperaturökning i bränslelager
- Årstidsberoendets påverkan på inträffade händelser
- Varierande statistik och risker förknippat med de olika bränslena
- Hur arbetas det med tillämpning av riktlinjer för bränslelagring
- Riskreducerande åtgärder
- Synen på varmgång och glödbrand
- Gnistdetektionssystem
- Insatsplan
- Konsekvenser av inträffade händelser
- Risker för personalen vid inträffad händelse

Enkäten innehållande frågorna som ställdes vid platsbesöken presenteras i Bilaga 5.

Intervjuerna som utfördes i samband med platsbesöken inriktade sig även på hur frekvent de olika fenomenen varmgång, glödbrand och storskalig brand inträffat i bränslelager, då samtliga frågor från enkätintervjun även ställdes till representanterna för anläggningarna. De erhållna svaren kring statistiken för inträffade händelser, från platsbesöken, inkluderades i sannolikhetsberäkningen som anger sannolikheten för kraftvärmeanläggningar att drabbas av definierad händelse under ett år.

Efter platsbesöken utfördes en kvalitetskontroll av den insamlade informationen genom att informationen sammanställdes och skickades till de personer som intervjuades i samband med platsbesök för godkännande. Representanterna för anläggningarna fick godkänna informationen innan den publicerades i rapporten. Syftet med kvalitetssäkringen var att förhindra eventuella missförstånd som skulle kunna uppstå till följd av otydligheter.

8.3 Resultat och analys

Resultat och analys av erhållen information samt statistik från intervjuerna presenteras nedan.

8.3.1 Resultat statistiksökning

Tabell 11 visar antalet insatser utförda av räddningstjänster för de olika kategorierna som presenterades i Tabell 9.

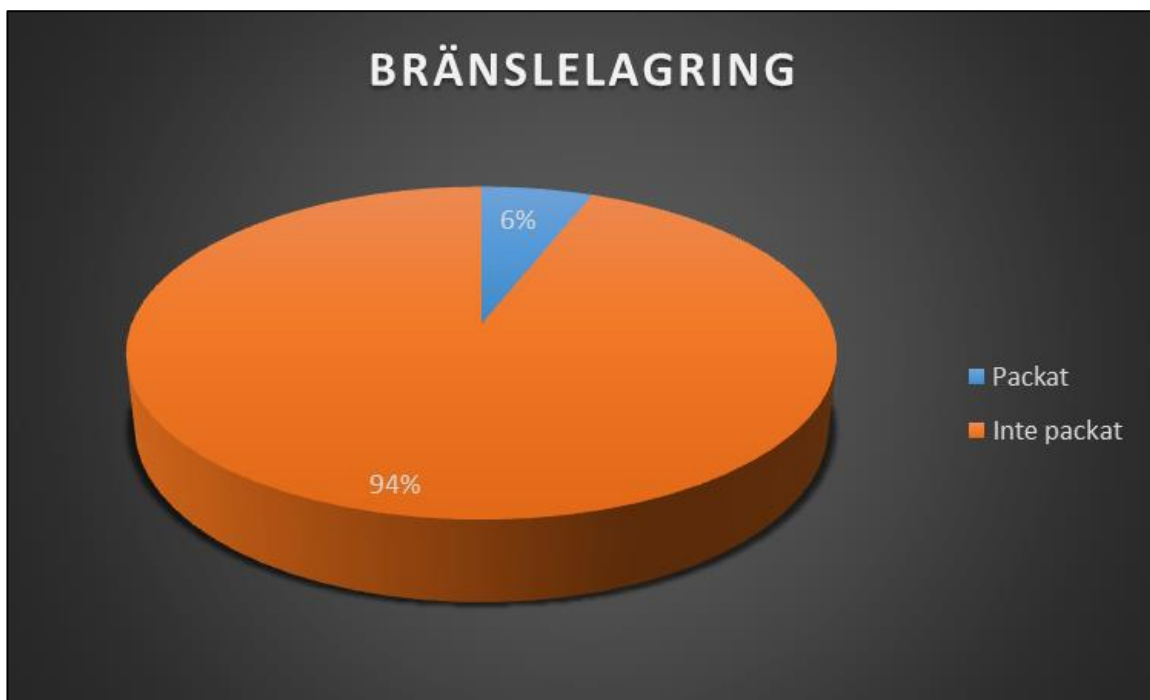
Tabell 11. Antal räddningstjänstinsatser hos kraft-/ värmeverk mellan åren 1998-2013. Källa: MSB statistikdatabas

År	Antal insatser kategori 1 – Brand ej i byggnad, kraft-/ värmeverk	Antal insatser kategori 2 – Brand ej i byggnad, soptipp/ deponi	Antal insatser Kategori 3 – Brand utomhus, brandorsak självantändning
1998	11	0	289
1999	35	0	357
2000	29	0	280
2001	21	0	255
2002	19	0	290
2003	32	0	278
2004	23	0	269
2005	29	54	264
2006	26	53	265
2007	19	62	245
2008	30	48	284
2009	22	43	215
2010	18	25	207
2011	25	41	229
2012	25	24	204
2013	15	38	234

8.3.2 Resultat från intervju via enkät

Under kapitlet presenteras resultatet från intervjustudien som utfördes vid enkät. Vid jämförelse mellan angivna riktlinjer för lagring kommer utgångspunkten vara rekommendationer från Trygg Hansa (2009). Resultat som redovisas i kapitlet återges i Bilaga 6.

Figur 14 redovisar fördelningen mellan bränsle som lagras packat och bränsle som inte lagras packat. Totalt erhöles 144 svar där 135 svar angav att de inte förvarar bränslet packat. Resterande andel, 9 erhållna svar, angav att de packar materialet. Erhållen information kring inte packat material kommer inte att redovisas i kapitlet då det finns för lite insamlad statistik kring detta lagringssätt.



Figur 14. Fördelningen mellan bränslelagring som sker packat och inte packat

Tabell 12 - Tabell 14 presenterar antalet inträffade fall av varmgång, glödbrand och storskalig brand som erhöles från enkätstudien. I enstaka fall av erhållna svar var antal driftår inte angivet. För dessa fall undersöktes vilken anläggning som svarat och hur många år anläggningen varit i drift.

Tabell 12. Antal inträffade fall av varmgång

Antal inträffade fall av varmgång under anläggningens driftår	Antal driftår	Antal inträffade fall av varmgång per driftår
200	50	4
126	6	21
84	14	6
60	30	2
28	14	2
25	25	1
22	22	1
5	12	0,42
4	4	1
0	1	0
0	5	0
0	6	0
0	6	0
0	14	0
0	14	0
0	15	0
0	15	0
0	17	0
0	18	0
0	22	0
0	25	0
0	29	0
0	29	0
$\Sigma=554$	$\Sigma=337$	$\Sigma=38,42$

Till ovanstående och erhållna svar har även följande kommentarer adderats som är av intresse för diskussionsdelen i rapporten:

- Alla högar som ligger mer än en vecka får en förhöjd temperatur på mellan 50 – 80 °C. Det innebär att det råder konstant varmgång i bränslelager
- Varmgång uppkommer varje år
- Varmgång uppkommer otaliga gånger. Temperaturmätning sker regelbundet och när den börjar närma sig 90 °C vidtas åtgärder
- Varmgång inträffar hela tiden. Processen är snabb och drar igång fort

Tabell 13. Antal inträffade fall av glödbränder

Antal inträffade fall av glödbrand under anläggningens driftår	Antal driftår	Antal inträffade fall av glödbrand per driftår
5	14	0,36
5	30	0,67
4	4	1
3	5	0,6
3	12	0,25
2	29	0,07
1	14	0,07
1	14	0,07
1	21	0,05
1	30	0,03
0	1	0
0	4	0
0	5	0
0	6	0
0	6	0
0	7	0
0	8	0
0	12	0
0	15	0
0	15	0
0	18	0
0	22	0
0	22	0
0	25	0
0	25	0
0	29	0
$\Sigma=26$	$\Sigma=393$	$\Sigma=3,17$

Till ovanstående och erhållna svar har även följande kommentarer adderats som är av intresse för diskussionsdelen i rapporten:

- Glödbrand har uppstått en gång och som kontrollerades genom kvävning och vattenbegjutning

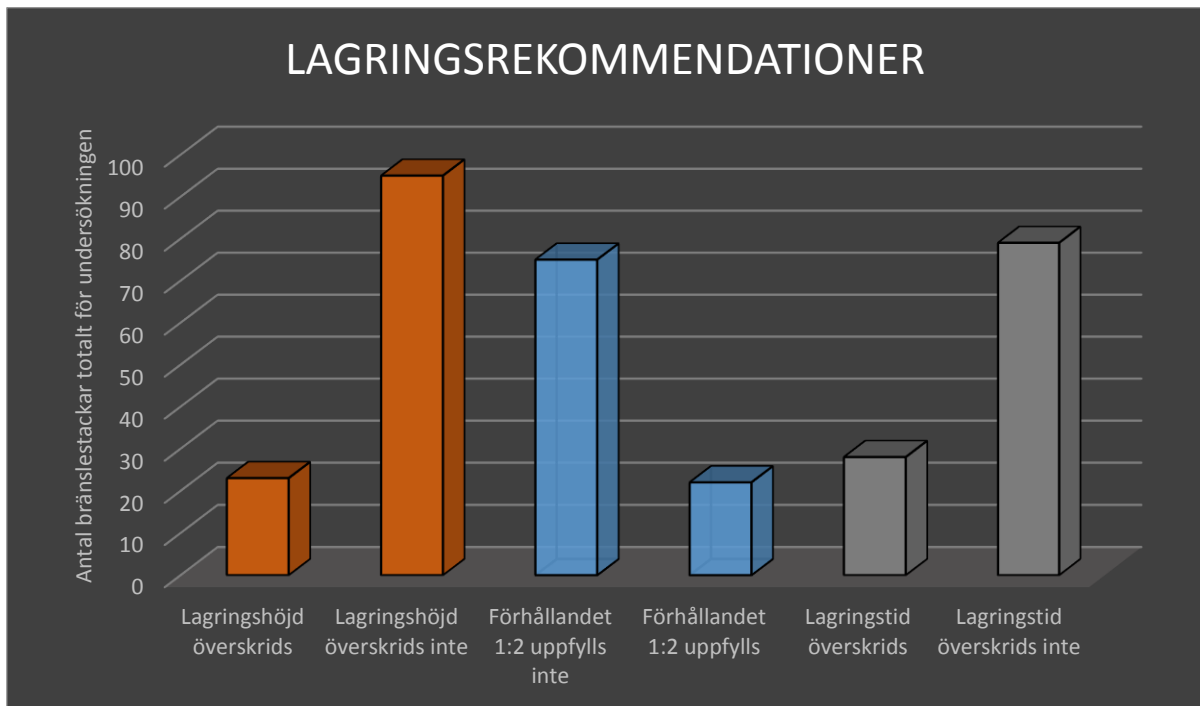
Tabell 14. Antal inträffade fall av storskalig brand

Antal inträffade fall av storskalig brand under anläggningens driftår	Antal driftår	Antal inträffade fall av storskalig brand per driftår
60	30	2
2	4	0,50
1	6	0,17
1	14	0,07
1	14	0,07
1	30	0,03
0	1	0
0	4	0
0	5	0
0	6	0
0	7	0
0	8	0
0	12	0
0	14	0
0	14	0
0	15	0
0	15	0
0	17	0
0	18	0
0	21	0
0	22	0
0	22	0
0	25	0
0	25	0
0	29	0
0	29	0
0	30	0
$\Sigma=66$	$\Sigma=437$	$\Sigma=2,84$

Till ovanstående och erhållna svar har även följande kommentarer adderats som är av intresse för diskussionsdelen i rapporten:

- Det är ytterst sällan som räddningstjänsten kan göra något vid storskalig brand. Istället löser vi det själva på anläggningen med vår egen utrustning

Figur 15 visar fördelningen mellan lagringsrekommendationer som överskrids eller inte.



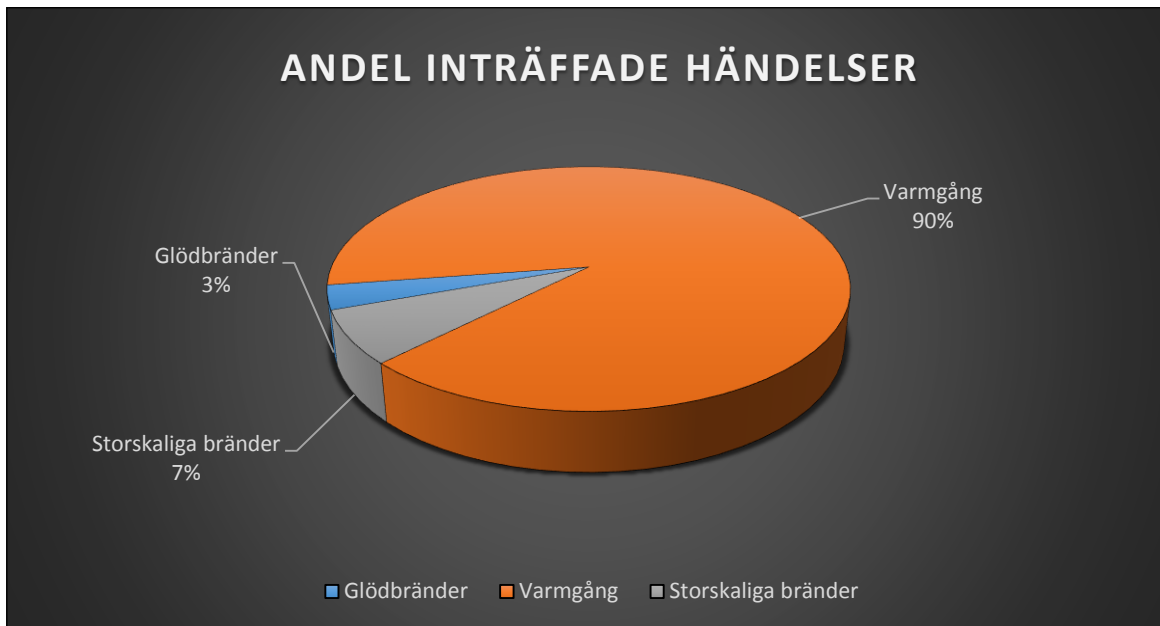
Figur 15. Lagringsrekommendationer

Antalet inträffade varmgångar, glödbränder och storskaliga bränder per driftår och per anläggning, som erhöles från enkätstudien, presenteras i Bilaga 6. Beräknad frekvens för anläggningarna att drabbas av fenomenen redovisas i Tabell 15.

Tabell 15. Beräknad frekvens för inträffade händelser

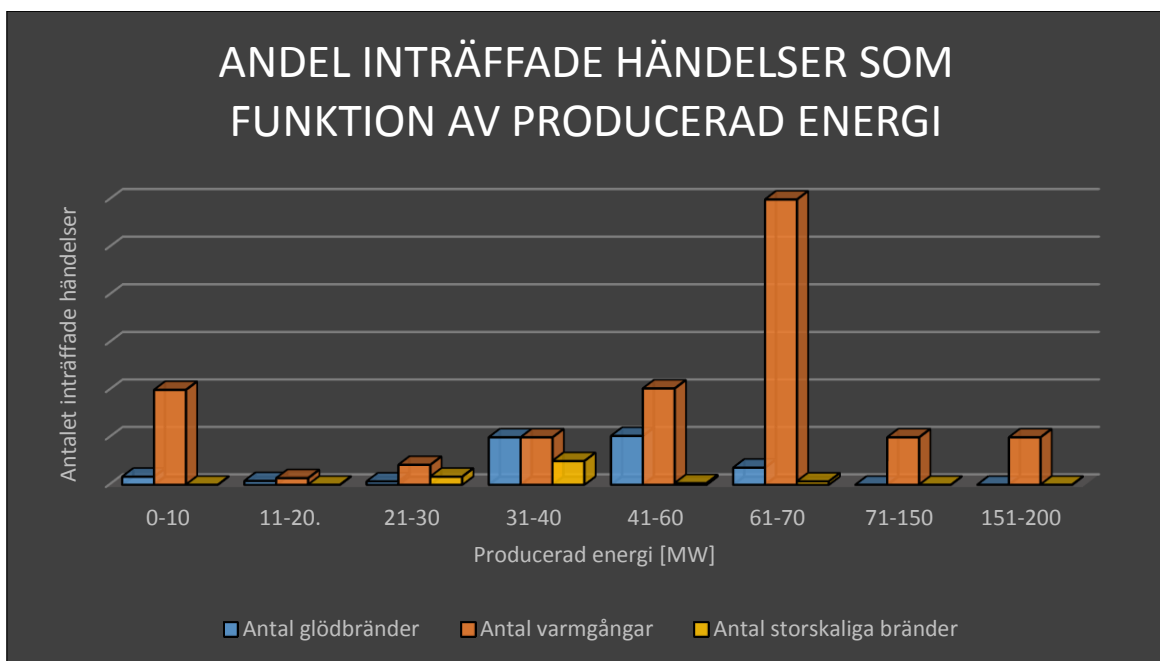
Beräknad frekvens	[Antal inträffade fall/driftår/anläggning]
Varmgång	0,071475
Glödbland	0,002545
Storskalig brand	0,005594

Procentuell andel inträffade händelser givna från enkätsvaren presenteras i Figur 16.



Figur 16. Procentuell andel inträffade händelser per år och anläggning angivet per år och anläggning

Fördelning av inträffade händelser utifrån mängden producerad energi vid kraftvärmeanläggningarna redovisas i Figur 17.



Figur 17. Antalet inträffade händelser per år och anläggning som funktion av mängden producerad energi

8.3.3 Sammanställning av information från platsbesök

Resultatet som presenteras i kapitlet utgår från enkäten som presenteras i Bilaga 5. Resultatet presenteras som en sammanfattning i textformat utifrån erhållen information från platsbesök som presenteras i Bilaga 7.

8.3.3.1 *Rutiner och plan vid inträffade brandrelaterade händelser samt släckmetodik*

- Isolera brinnande material genom att gräva av stacken med hjälp av hjullastare så att branden inte kan spridas i stacken
- Börja endast gräva i stacken när det är nödvändigt då detta moment i sig kan förvärra situationen
- Sprid ut glödande/brinnande bränsle på lämpningsytor och släck med vatten eller genom ett blanda det med fuktigt bränsle för direkt förbränning i pannan
- Akutinsatser vid glödbrand är inte att rekommendera då erfarenhet säger att fenomenen oftast slocknar av sig själv. Istället ska stacken övervakas och när/ om det verkligen behövs ingriper personalen som ska gräva av en så liten del som möjligt av stacken då det medför lufttillförsel som kan orsaka uppkomst av brand

8.3.3.2 *Kontroll och hantering av temperaturökning i bränslelager*

Rutiner för temperaturmätningarna varierar mellan anläggningarna. Någon anläggning utför inga temperaturmätningar medan andra utför mätningar med hjälp av lansar och i vissa fall IR- kamera.

8.3.3.3 *Årstidsberoendets påverkan på inträffade händelser*

Risken är inte direkt förknippad med årstiden utan mer i förhållande till lagringstiden. Det går åt mindre mängder bränsle under sommarhalvåret vilket innebär att bränslet lagras under en längre tid på bränslegården innan det förbränns. Det medför en förhöjd risk för spontanantändning.

8.3.3.1 *Variierande statistik och risker för olika bränslen*

Samtliga anläggningar har angivit att risken för varmgång varierar med bränslets fukthalt. Det är framförallt bränslen som bark, salix och GROT som har högre benägenhet till varmgång.

8.3.3.1 *Tillämpningen av riktlinjer för bränslelagring*

Ingen anläggning som intervjuats följer skrivna riktlinjer.

8.3.3.2 *Riskreducerande åtgärder*

- Säkerställ att bränslet lagras med brandgator mellan stackar
- Kör absolut inte fordon i bränslet och packa det inte
- Lagra inte för högt utan följ den angivna lagringshöjden, som för majoriteten av anläggningarna ligger runt 7 meter
- Genomför regelbundna ronderingar och kontrollmätningar av temperatur med lansar och IR-kameror
- Minimera lagringstiden
- Sortera bort metallföremål från bränslet
- Säkerställ att lämpningsytor finns i tillräcklig omfattning
- Ha inarbetade rutiner för släckning/lämpning

8.3.3.3 *Synen på varmgång och glödbrand*

Varmgång och glödbrand anses vara normala driftförutsättningar varför inga större åtgärder normalt vidtas.

8.3.3.4 Insatsplan och gnistdetekteringssystem

Fördelningen av insatsplan och gnistdetekteringssystem hos anläggningarna presenteras i Figur 18.



Figur 18. Fördelningen mellan insatsplan och gnistdetekteringssystem

8.3.3.5 Räddningstjänstens medverkan

Räddningstjänsten larmas oftast in när anläggningen bedömer att de inte klarar av att utföra släckinsatsen själva. Samarbete bedrivs i form av övning och utbildning.

8.3.3.6 Konsekvenser av inträffade händelser

Den största risken som anses medföras är i första hand bränsleförlust och ekonomisk förlust. Risken för att en brand skulle kunna påverka anläggningens drift anses låg. Risker förknippat med personalen anses låg på grund av de riskreducerande åtgärderna som vidtagits.

8.3.3.7 Risker för personalen vid inträffad händelse

- Personalen som framför hjullastare vid avgrävning och hantering av bränsle kan utsättas för toxiska gaser och partiklar
- Eftersom initial insats för glödbland ofta hanteras inom anläggningen av egen personal kan personalen utsättas för risker förknippat med insats, det vill säga strålningspåverkan, toxiska ämnen och hög temperatur
- Material som används för släckning, av egen personal behöver tvättas från sotpartiklar vilket i sig är en arbetsmiljö- och hälsorisk för personalen
- Rasrisk av material som kan drabba personal

9 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultat från presenterat arbete i föregående kapitel tillsammans med de identifierade felkällorna i den tillämpade metoden. Diskussion kommer även föras kring variationen av anläggningarnas synsätt, bedömning och de riskreducerande åtgärder som implementeras. Vidare inkluderas i detta kapitel författarnas reflektioner kring det befintliga regelverket och dess betydelse.

9.1 Statistiksökning

Statistiken från kategori 1 (*brand ej i byggnad, kraft-/värmeverk*) innefattar statistik från kraft- och värmeverk vilket innebär att frekvensen för brand som presenteras även inkluderar bränder i andra kraftanläggningar såsom kärnkraft-, gaskraft- samt sopförbränningsanläggningar i resultatet. Statistiken är därmed inte helt representativ men ger en fingervisning av inträffade brandrelaterade fenomen i praktiken.

Antalet inrapporterade olyckor varierar från år till år. Det finns inget resultat som avviker kraftigt i kategori 1 och kategori 3 (*brand utomhus, brandorsak självantändning*). Under de senaste åren har det skett en kontinuerlig ökning av användandet av biobränslen. I praktiken är det rimligt att förutsätta att det innebär att en större mängd bränsle används och lagras än tidigare. Av den anledningen borde också risken för brand i bränslelager öka. Fler inrapporterade fall borde skett under de senaste åren än under 90-talet. Detta går inte att utläsa statistiskt ur resultatet och det kan bero på brister i rapporteringen men kan också bero på att mer kunskap finns kring bränslelagring varpå antalet fall minskar trots ökningen av bränsle. Antalet inrapporterade händelser under kategori 3 har istället minskat med åren, vilket kan bero på ökad kunskap och kompetens kring fenomenet självantändning. Den presenterade statistiken gäller endast för fall där räddningstjänsten rapporterats ut till platsen. Mindre allvarliga uppkomster av varmgång och glödbland som inte rapporterats in omfattas inte av statistiken. Inträffade olyckor där räddningstjänsten återkallas innan de kommer ut till skadeplatsen är inte heller inkluderat i statistikdatabasen.

Statistiken från kategori 3 anses inte representativ i det här fallet. Självantändning kan uppstå på grund av diverse olika anledningar och inte endast vid lagring av trädbaserade biobränslen. Statistiken bedöms av författarna inte kunna användas på ett verklighetstroget sätt för syftet med examensarbetet.

Statistiken från kategori 2 (*brand ej i byggnad, soptipp/ deponi*) anses inte heller representativ då det finns andra risker förknippade med denna typ av anläggning, till exempel bildandet av deponi- och metangas som bildas i samband med deponier. Ett avvikande resultat i tabellen är att det finns inga noterade fall av brand i soptipp eller deponi under åren 1998 – 2004. Sannolikheten att det inte inträffat några händelser, inom den här kategorin under dessa år, anses vara låg. Förmodligen är anledningen till svarsresultatet att ingen inrapportering skett eller att inrapporteringen presenterats under en annan kategori i databasen.

Den ovan angivna statistiken anses ofullständig för att kunna tillämpas inom ramen för examensarbetet för att påvisa en frekvens för händelserna varmgång, glödbland eller utvecklad brand. Anledningen till det är att det inte går att urskilja bränder som uppstod till följd av varmgång, självantändning eller glödbland. Det går inte heller att avgöra orsaken till antändning eller om det är självantändning som är orsaken till utvecklad storskalig brand. Till exempel kan antändningen för kategori 1 och kategori 2 vara antändning från extern källa så som exempelvis heta arbeten, dammexplosion, elfel eller värmeutveckling av rörliga maskindelar.

Slutsatsen som kan dras utifrån erhållen information från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps databas är att det finns för lite insamlad statistik kring utomhuslagring av trädbaserat

biobränsle. För att kunna dra lärdom av den här typen av händelser rekommenderas tydligare uppdelning av inrapporteringen med ett mer detaljerat inrapporteringssystem.

9.2 Enkätstudie, platsbesök och tillämpade riktlinjer

Vid förfrågan om deltagande framgick det att studien genomförs i syfte att underlätta för både branschorganisationen samt för relevanta myndigheter och att resultat från enkäten hanteras och publiceras anonymt. Det medför att sannolikheten för att erhålla svar som är verklighetstroga ökar. Det stora intresset och den höga svarsfrekvensen tyder på att ämnet är intressant, relevant och att verksamheterna har intresse av tydligare riktlinjer.

9.2.1 Felkällor i enkätstudie

I erhållet resultat från intervjuerna finns det resultat som avviker och som till och med är motsägande. Resultat som presenterats i Tabell 12 för inträffad varmgång under antalet driftår är intressant att diskutera för att belysa detta problem. De flesta anläggningarna som svarat på enkäten har angivit att det inte skett någon form av varmgång över huvudtaget under samtliga driftår. Svaren som anger detta anses av författarna inte vara besvarade utifrån hur situationen ser ut i praktiken med hänsyn till information i litteratur, de flesta kommentarer i enkäten samt med information från utförda platsbesök. Vid de platsbesök som utfördes i samband med examensarbetet uppmärksammades det, vid åtskilliga tillfällen, att det pågick någon form av varmgång eller glödbrand i de bränslelager som fanns. Det uppmärksammades genom lukten av bränt material, genom värme som kunde kännas i materialet samt genom rökgångar från bränslelagrena.

Det som även är intressant att lyfta fram är vad ett antal kraftvärmeanläggningar svarat i samband med enkäten och som motsäger de erhållna svar i enkätstudien där det angivits inte ske några fall av varmgång.

Följande kommentarer har presenterats i samband med varmgångstatistiken:

- Alla högar som ligger mer än en vecka får en förhöjd temperatur på mellan 50 – 80 °C. Det innebär att det råder konstant varmgång i bränslelagrena
- Varmgång uppkommer varje år
- Varmgång uppkommer otaliga gånger
- Varmgång inträffar hela tiden. Processen är snabb och drar igång fort

Ett flertal anläggningar menar på att varmgång i princip sker hela tiden, det betraktas som en normal driftförutsättning. Utifrån platsbesöken framgick det även att majoriteten av anläggningarna såg fenomenen varmgång och glödbrand som normala driftförutsättningar, som hanteras utan tillkallande av räddningstjänsten till skillnad från teorin som påstår att glödbränder är omöjliga att släcka. Skillnaden i svar har uppkommit trots att anläggningarna lagrar samma typ av bränslesorter och har liknande förutsättningar vid lagring.

De anläggningar som angav den ovan, i punktform presenterade informationen, angav inte exakt hur många inträffade fall av varmgång de haft under samtliga driftår då det anses vara ett normalt förhållande. Därför har inte detta kunnat inkluderas i beräkningen för frekvens och utgör därmed en grov felkälla som medför att den beräknade frekvensen för varmgång är underskattad. Vidare felkällor som påverkat beräknad frekvens presenteras senare i diskussionen.

Ytterligare iakttagelse i sammanhanget är att en av de anläggningar som svarat på enkäten svarade att det aldrig uppstått någon inträffad händelse med varmgång under samtliga år de varit i drift. Trots det angavs vilka bränslesorter som ansågs medföra förhöjd risk för varmgång. Anledningen till

ovanstående motsägande resultat bedömer författarna vara att det inte fullt ut uppfattats vad som menats med varmgång i enkätstudien. Svaren och därmed resultatet för den beräknade frekvensen bedöms av författarna vara underskattad för fenomenet varmgång.

Vid sammanställning av erhållna resultat kunde inte all information tillämpas. Vissa anläggningar hade angivit svar som ”under flera månader” och ”beroende på fukthalten” istället för att i siffror ange det som efterfrågades i enkäten. I några svarsresultat var det angivet vilket material som lagras samt höjden på stacken där materialet lagras. Bredden på lagringsstacken var i vissa fall inte angiven och informationen kunde inte användas för att kontrollera lagringsförhållandet 1:2. I vissa fall var inte lagringshöjden för materialet angiven. Sådana svarsresultat har inte kunnat tillämpas i sammanställningen och påverkar resultaten negativt genom ett minskat statistiskt underlag.

9.2.2 Packat eller inte packat material

Figur 14 visar fördelningen mellan packat och inte packat material. Utifrån den utförda enkätstudien framgår det att endast en liten del av anläggningarna lagrar bränslet packat. Litteraturstudien som utfördes i samband med examensarbetet gav ingen tydlig definition på benämningen packat bränsle. Gränsen mellan packat och inte packat material är därmed inte tydligt definierad och författarna bedömer att det troligen är olika på de olika anläggningarna.

Vid vissa av platsbesöken noterades det att när materialet med hjälp av hjullastare stackas på bränslegårdarna kör hjullastarna upp på själva stacken för att arbeta upp höjden på stacken. Därmed sker en packning av det material som lagras, främst i basen av bränslet. Dessutom framgick även att om bränsle stackas till en viss höjd kan materialet lagringshöjd snabbt reduceras 1-2 meter på grund av sättningar i materialet orsakat av indirekt packning. Detta sker utan packning med hjälp av hjullastare eller andra redskap. Under ett platsbesök angavs en viktig förutsättning för att minska risken för glödbland, det var att undvika just packning och körning i basen av stacken samt att ifall detta inträffade skulle bränslet där det packats grävas av och försas upp på nytt.

Om lagringsrekommendationerna från exempelvis Trygg Hansa ska följas av anläggningarna medför ovanstående resonemang att ytterligare lägre lagringshöjder tillåts än de som bedöms vara gällande för icke packat material och att lagringshöjden och lagringstiden omedvetet överskrider mer än vad som förväntas normalt. Det anses därför viktigt att inom branschorganisationen enas om gemensamma definitioner för viktiga koncept, utformade så att de kan tillämpas på samtliga anläggningar.

Statistik för packat material gick inte att sammanställa då det endast finns en liten mängd insamlad information kring detta. Brist på information tyder även på att detta lagringssätt inte anses aktuellt, då det bedöms inte tillämpas i praktiken.

9.2.3 Resultat

Utifrån erhållet resultat från enkätstudien framgår det att för de flesta fall överskrider inte de rekommenderade lagringshöjderna förutsatt att bränslet inte packas. Att rekommendationer överskrider förekommer dock i vissa fall. Ett avvikande resultat är det som erhöles för bränslet som benämns som förorenat material. För detta bränsle finns det fler fall där lagringhöjden överstiger det rekommenderade värdet, jämfört med övriga bränslen.

Det som hos författarna väcker störst intresse är att trots det utifrån enkäterna framgår att lagringsrekommendationerna för maximal höjd oftast inte överskrider, visar platsbesöken att riktlinjerna inte följs eller har direkt värde. Avvikande kan vara olika delar av rekommendationerna såsom skyddsavstånd mellan stackar och byggnader, begränsning i maximal lagringshöjd samt lagringsförhållandet mellan basen och höjden på stackar (1:2 förhållandet). Hälften av anläggningarna

som deltog i enkätstudien har angivit att de i många fall blandar material och att helträdsflis packas vid lagring, trots att riktlinjerna rekommenderar att detta inte ska ske. Information både från teorin och de anläggningar som intervjuats tyder på att blandat bränsle har lättare för att ge upphov till självantändning och därmed måste lagringstiden kortas.

Figur 15 visar fördelningen av lagringsrekommendationer som uppfylls eller inte. Trots att det i de flesta fall verkar som att den rekommenderade maximala lagringshöjden oftast inte överskrids går det inte att dra samma slutsats kring lagringsförhållandet 1:2. Enligt svarsresultat framgick det att detta lagringsförhållande oftast inte uppfylls. Erfarenhet från anläggningar som deltog i intervjun visar att detta förhållande inte är väsentligt för stackar med rent bränsle, exempelvis olika typer av skogsflis. Däremot för stackar där material blandats finns en mängd erfarenhet som visar att det är väsentligt att skapa en bra vattenavrinning från stackarna för att transportera bort vatten och därmed minimera risken för fuktvandring. Vidare anger en anläggning att för blandat bränsle eller i stackar med bränsle där risken för varmgång och glödbland är större bör stacken förvaras med en avlång geometri vilket gör det betydligt enklare att gräva av det brinnande bränslet snabbare.

Den rekommenderade lagringstiden har angetts som att det överskrids för ett antal anläggningar och bränslesorter. Information och erfarenhetsinsamling från platsbesök tyder på att tiden är en avgörande faktor för självantändningsrisken. För lång lagringstid ska alltid undvikas, speciellt i stackar där olika material blandats. Oförutsedda händelser som ovanligt låg utomhustemperatur, stopp i process eller panna och liknande kan innebära att lagringstiderna överskrids gentemot de planerade.

Ett intressant resultat som framkommit är att samtliga anläggningar som intervjuats har angivit att de inte följer några skrivna rekommendationer för lagring. Istället arbetas med en erfarenhetsbaserad plan för specifik lagringshöjd, -bredd och -längd. Rent RT- flis och även för vissa anläggningar visade erfarenheten att även rent skogsflis utan bark, kvistar och grenar anses i princip kunna lagras så högt, brett och längd som bränslegården tillåter, utan att det medför förhöjda risker för antändning i materialet.

Figur 17 visar antalet inträffade händelser per år och anläggning som funktion av mängden producerad energi. Generellt borde en större anläggning, som producerar en större mängd energi, ha större bränslelagring. Större mängd bränsle borde innebära risk för att normala lagringshöjder och -tider överskrids, vilket kan öka risken för inträffade fall av glödbland, varmgång och storskalig brand.

Detta skiljer sig dock från erhållet resultat. För staplarna som representerar mellan 11 - 60 MW producerad energi går det att utläsa en växande trend i figuren. Resultatet bygger dock på en svag grund då endast de anläggningar som angivit både statistik för inträffade händelser och antal driftår presenteras i stapeldiagrammet. Det innebär att frekvensen av beräknade händelser är låg. Det avvikande resultatet beror på ett fåtal angivna svar med högre antal inträffade händelser som påverkar den beräknade frekvensen, vilket tyder på att beräkningsunderlaget är för litet för att kunna ge verklighetstroga resultat.

9.3 Säkrare lagring

Informationen som erhållits i samband med platsbesök har sammanställts och presenterar anläggningarnas erfarenhet kring säkrare lagring. Den insamlade informationen bygger på flera års erfarenhet inom branschen. Insamlad information ska inte tolkas som en säkerställd riktlinje, då antalet intervjuade anläggningar varit strängt begränsade, utan som en sammanställning av de rekommendationer som erhållits från intervjuade anläggningar.

Följande övergripande åtgärder anses vara väsentliga för riskreducering:

- Minimera lagringshöjder och lagringstider, speciellt för blandade bränslen
- Kör inte i stackarna
- Säkerställ vattenavrinning så att vattenansamlingar inte finns i bränslet och undvik platta stackar
- Utför kontinuerliga ronderingar, gärna tillsammans med temperaturmätningar
- Underlätta släckarbete genom att anordna brandgator, lämpningsytor tillsammans med ett tillgängligt brandpostsystem med släckutrustning
- Utbilda personal i tidig insats och hantering av glödande/brinnande material.
- Arbeta med en tydlig insatsplan och dialog med lokal räddningstjänst som även inkluderar bränslerisker och metodik för släckarbete av bränsle. Figur 18 visar att endast en fjärdedel av intervjuade anläggningar har installerat gnistdetektionssystem och insatsplan. Det är samma anläggning som har implementerat båda riskreducerande åtgärderna.

Tillämpade metoder för säkrare lagring bör utformas med hänsyn till sannolikheten för uppkomsten av varmgång och glödbrand storskalig brand. Genom att känna till sannolikheten för dessa fenomen, och därmed även hur ofta de förväntas uppkomma, kan skyddsåtgärder och lagringsmetoder tillämpas så att de förebygger just det fenomen med störst sannolikhet för att inträffa. På så sätt kan investering utföras på ett mer riktat sätt där skyddsåtgärder installeras där behov av dessa finns. Det är något som författarna till den här rapporten anses bör tas hänsyn till vid framtida arbeten för att förbättra lagringsrekommendationerna. Diskussion kring den beräknade sannolikheten för varmgång, glödbrand och storskalig brand presenteras i underkapitlet som följer.

9.4 Beräknad sannolikhet

Frekvensen för att varmgång, glödbland och storskalig brand ska inträffa under ett år för en anläggning i Sverige presenteras i Tabell 15. Beräkningen bygger på insamlad information som presenteras i Tabell 13 – Tabell 14. Presenterat resultat visar på att sannolikheten för varmgång är störst. Fördelningen mellan de inträffade händelserna presenteras i Figur 16.

Ett intressant resultat är att sannolikheten för storskalig brand är större än sannolikheten för att en glödbland inträffar. Denna sannolikhet anses dock inte trovärdig och antas bero på det som tidigare diskuterats kring att både varmgång och glödbändar sker kontinuerligt och inte noteras.

Inrapporteringsystem och insamling av statistik över inträffade olyckor i samband med bränslelager behöver förbättras och utvecklas. Om detta ska ske genom räddningstjänstens inrapporteringsystem bör det vid inträffade bränder i bränslelager göras en noggrannare inrapportering av information som tydligare anger under vilka förutsättningar och var branden skett. Mer rimligt är att branschorganisationen och anläggningarna tillsammans arbetar med ett gemensamt tillbuds- och inrapporteringsystem. På så sätt kan anläggningarna ta del av kunskap och lära sig utifrån redan inträffade händelser. Informationen kan användas till att säkerställa statistik för de inträffade händelserna.

Vid beräkning av sannolikheter som tagits fram i examensarbetet erhöles svarsresultat, från utskickade enkäter, utan anläggningsnamn eller driftår. I erhållet svar var det angivet antalet inträffade händelser per år. Då det inte var angivet antal driftår eller vilken anläggning resultatet berörde kunde antalet inträffade händelser under anläggningens livstid inte beräknas. Erhållen information togs inte med i statistiksammansättningen och påverkar den beräknade statistiken genom svarsbortfall vilket reducerade det statistiska underlaget.

Ett svarsresultat var angivet som antalet inträffade fall av varmgång under sommarhalvåret. Det erhållna resultatet användes för att beräkna antalet inträffade fall under ett helt driftår. Detta resultat antas inte ge en korrekt återspeglning av praktiken men är framtaget konservativt. Under sommarhalvåret går det åt mindre bränsle till förbränning i pannan och det kan medföra att det tar längre tid för bränslet att gå åt. Detta är det svarsresultat som kraftigt avviker i Tabell 12 där en anläggning har angivit över 100 fall av varmgång under 6 driftår.

Den beräknade statistiken från intervjuerna anger förväntad sannolikhet för att drabbas av oönskad händelse per år för en anläggning i Sverige. I intervjustudien erhöles för få svarsenkäter för att den beräknade sannolikheten ska kunna tillämpas som underlag till beslutsfrågor som handlar om bränslelager. Statistiken är inte statistiskt säkerställd i tillräckligt stor omfattning. Författarna till denna rapport tycker att statistiken och tillämpad metod i samband med arbetet endast ska användas som en fingervisning och riktlinje att dessa händelser normalt uppstår.

9.4.1 Arbetsmiljörisker

I examensarbetets teoridel har det beskrivits vilka arbetsmiljörisker som kan drabba personal på anläggningarna. Överlag finns det ett antal arbetsmiljörisker förknippade med bränslelagring som anläggningarna i varierande grad är väl medvetna om. Detta återspeglas genom de många riskförebyggande åtgärderna som vidtagits. De vanligast förekommande skyddsåtgärderna är enligt följande:

- Tillgänglig andningsutrustning för brandgaser och damm vid släckningsarbete
- Rutiner och kontroll av syrefattig miljö
- ATEX klassning för utrymmen där dammexplosion kan förväntas

- Utrustning för nöddusch och ögonskölj
- Krav på varselkläder, hjälm och skyddsskor
- Rutiner vid indikation på fliseldarsjuka samt ventilation för utrymmen där material hanteras

Hos de anläggningar som intervjuats har det framkommit att kontinuerligt arbete med att riskbedöma arbetsmoment sker för att reducera riskerna för arbetsmiljöskador.

9.4.2 Miljöaspekter

Utöver de miljöaspekter som angivits i rapporten är det författarnas uppfattning att utifrån miljökrav och miljölagstiftning bör det inkluderas i ett fortsatt forskningsarbete behovet att reducera den kontinuerliga varmgång och de glödbränder som inträffar utifrån då utsläpp av bland annat koldioxid samt koloxid sker kontinuerligt. Likaså bör alla anläggningar ha en noggrant utarbetad plan för hantering av släckvatten för både egenhändigt omhändertagna glödbränder såväl som fullskaleinsatser tillsammans med räddningstjänsten.

9.5 Fortsatt arbete inom området

Utifrån utförda intervjuerna i samband med platsbesöken visade det sig att respektive anläggning hanterar sitt bränsle främst utifrån driftserfarenhet och med mindre fokus vid de tillgängliga rekommendationerna för lagring av bränsle. Dessa riktlinjer som levt vidare i princip oförändrade under cirka 30 år bedöms enligt författarna till denna rapport vara föremål för fortsatta forskningsuppdrag. Detta forskningsuppdrag bör ha som huvuduppdrag att inkludera de senaste 30 årens bränsleutveckling och framför allt driftserfarenhet i lagringsrekommendationer så att riktlinjerna uppdateras. Det uppfattas av författarna en viss frustration över att riktlinjerna är begränsande i många fall där driftsansvariga bedömer att erfarenheten av bränslehanteringen visar att vissa bränslesorter kan lagras på annat sätt utan att risken för antändning ökar. De främsta punkter som bedöms behöva undersökas är följande:

- Hur kan varmgång och glödbland förhindras, både med hänsyn till att minska risken för bränder men även för att reducera förstörelsen av energiinnehållet i bränslet?
- Kostnad/nytta analys bör utföras för att få en uppfattning över de ekonomiska förlusterna som kan förväntas med hänsyn till kontinuerlig varmgång och även glödbland.
- Hur kan den kontinuerliga temperaturmätningen för dessa fenomen förbättras, finns det ny teknik som kan användas?
- Vilka lagringshöjder och lagringstider ska gälla för olika bränslen?
- Hur ska glödbränder släckas, och vilken metodik ska räddningstjänsten använda vid släckarbete?
- Vilka krav på skyddsavstånd mellan stackar av olika material samt till byggnad ska gälla för anläggningarna?
- Vilka miljökrav finns på bränslehanteringen och hur beaktas den kontinuerliga varmgången och vanligt förekommande glödbänderna?
- Hur ska anläggningarna hantera förorenat släckvatten både från internt hanterade släckarbeten samt från räddningstjänstens insats?

Det är författarnas rekommendation att detta arbete utförs i en arbetsgrupp där representanter finns med från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, branschorganisation samt forskningsorgan. Det skulle medföra att eventuella nya riktlinjer uppdateras med både driftserfarenhet och aktuell forskning med koppling till myndighetskrav. Detta skulle även förenkla för anläggningsägare som lagrar bränsle i olika kommuner som upplever att bland annat krav för lagring skiljer sig från kommun till kommun.

10 Slutsatser

- De parametrar som är mest styrande för uppkomst av brand är:
 - Varmgång till följt av biologisk- och kemisk nedbrytning som resulterar i glödbland
 - Metallpartiklar och främmande material som agerar som katalysatorer
 - Blandning av olika bränslesorter och olika fukthalt
 - För hög lagringshöjd för vissa bränslesorter såsom till exempel salix, GROT och stamvedsflis
 - För lång lagringstid
 - Körning av lastfordon i basen av bränslehögen som medför packning och högre densitet/tryck i stacken
 - För dålig avrinningsmöjlighet i bränslehögar med ansamlingar av vatten och fuktvandring som följd
 - Extern antändningskälla, oftast från lastfordon och leveransfordon
- Det finns för lite insamlad statistik kring olyckshändelser förknippade med utomhuslagring av trädbaserat biobränsle. Inrapporteringsystemet från räddningstjänsten bör bli mer detaljerat i syfte att kunna dra lärdom av tidigare inträffade olyckor alternativt bör ett gemensamt inrapporteringsystem i branschorganisationen implementeras
- Befintliga riktlinjerna bedöms inte upplevas som i kraftvärmebranschen som tillräckligt tillämpliga och har inte följt varken bränsleutvecklingen eller inkluderat de senaste 30 årens driftsinformation. De tillämpas heller inte fullt ut i praktiken
- Det krävs fortsatt arbete inom området för att förbättra och utveckla riktlinjerna. Arbetet bör bygga på tillgänglig driftserfarenhet och bör fokusera på följande punkter:
 - Hur kan varmgång och glödbland förhindras, både med hänsyn till att minska risken för bränder men även för att reducera förstörelsen av energiinnehållet i bränslet?
 - Hur kan den kontinuerliga temperaturmätningen för dessa fenomen förbättras, finns det ny teknik som kan användas?
 - Vilka lagringshöjder och lagringstider ska gälla för olika bränslen?
 - Hur ska glödbland släckas och vilken metodik ska räddningstjänsten använda vid släckarbete?
 - Vilka krav på skyddsavstånd mellan stackar av olika material samt till byggnad ska gälla för anläggningarna?
 - Vilka miljökrav finns på bränslehanteringen och hur beaktas den kontinuerliga varmgången och vanligt förekommande glödblanderna?
 - Hur ska anläggningarna hantera förorenat släckvatten både från internt hanterade släckarbeten samt från räddningstjänstens insats?
- Utifrån den beräknade sannolikheten som presenterats i rapporten framgick det att det är störst sannolikhet att varmgång inträffar. Efter det kommer storskalig brand och lägst sannolikhet att inträffa har fenomenet glödbland. Sannolikheten anses dock inte ge en korrekt återspeglning av praktiken på grund av tolkningsfel, svarsbortfall och definitionsproblematik. Sannolikheten är inte statistiskt säkerställd men tillsammans med kommentarerna i svaren kan resultatet användas som indikation på hur situationen ser ut på anläggningarna där det framgår tydligt att varmgång och glödbland är en normal driftsförutsättning. Därmed bör skyddsåtgärder implementeras för att reducera dessa risker. Detta bör i sin tur reducera sannolikheten för uppkomst av storskalig brand

- För att reducera konsekvensen vid utvecklad brand i bränslelager bör avstånd mellan bränslestackar, mellan stackar och bränsletransportsystem samt mellan stackar och byggnader definieras väl och säkerställas
- Silolagring tillsammans med gasinjektering är ett fördelaktigt sätt för att både minimera risken för glödbrand men också för att hantera en uppkommen sådan händelse. Detta bör ske i kombination med temperaturmätning eller annan form av tidig indikering för glödbrand
- Kontinuerligt arbete med insatsplaner och beredskapsplaner rekommenderas för att säkerställa att både verksamheten och räddningstjänsten är förberedda på vilka risker som finns och vilka insatser som ska utföras

Slutsatsen av utförd litteraturanlys visar även på att underlaget till lagringsrekommendationerna, och därmed även lagringsrekommendationerna, anses bristfälligt då de i princip endast bygger på en och samma undersökning. De olika och befintliga lagringsrekommendationerna bedöms av författarna inte alltid framtagna på ett tydligt metodiskt och vetenskapligt sätt. För att utveckla och förbättra befintliga riktlinjer föreslås fortsatt arbete inom området.

11 Litteraturförteckning

- Backman, J., (2008). 2:9 uppl. *Rapport och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur
- Bengtsson, L.-G., (2001). *Inomhusbrand*. Karlstad: Räddningsverket
- Lönnermark, A., Persson, H., Blomqvist, P & Hogland, W. (2008). *Biobränsle och avfall – Brandsäkerhet i samband med lagring*. Rapport 2008:51. Borås: Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP)
- Blomqvist, P., Persson, H. & Yan, Z. (2006). *Brand och brandsläckning i siloanläggningar – en experimentell studie*. Rapport 2006:47. Borås: Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP)
- Dyrke, J., Nilsson, M., Olsson, M. & Sjöblom, P. (1999). *Från pinne till panna – ekonomi, kvalitet och miljöpåverkan vid hantering av trädbränsle*. FVF 1999:13. SYCON Energikonstult
- Höst, M., Regnell, B. & Runeson, P. (2006). 1:6 uppl. *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press, Boca Roton
- Krause, U. (2009). *Fires in silo*. Weinheim: Wiley- VCH
- Knudsen, A. & Persson, H. (2000). *Brandsäkerhet vid torkning av biobränsle – anvisningar och råd för utförande och drift*. Rapport 709. Stockholm: Värmeforsk – Värmeteknik, forskning och utveckling
- Knuttsen, A. & Svedberg, U. (2011). *Faror och hälsorisker vid förvaring och transport av träpellets, träflis och timmer i slutna utrymmen*. Rapport 2011:2. Sundsvall: Arbetsmiljöverket, Arbets- och miljömedicinska kliniken, Sundsvalls sjukhus
- Lacasse, Y. & Cormier, Y. (2005). *Hypersensitivity pneumonitis*. In cordier, J.-F. (Ed.), *orphanet encyclopedia*
- Larsson, I. & Lönnermark, A. (2002). *Utsläpp från bränder – Analyser av brandgaser och släckvatten*. Rapport 2002:24. Borås: Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP)
- Lehtikangas, P. (1999). 2:a uppl. *Lagringshandbok för trädbränslen*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
- Martinsson, K. (2003). *Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige*. Rapport 813. Stockholm: Värmeforsk – Värmeteknik, forskning och utveckling
- Nyberg, L. (2010). *Olyckors miljöeffekter*. Karlstad: Karlstads universitet, centrum för klimat och säkerhet
- Persson, H. (2012). *Brand i silo – Brandsläckning samt förebyggande och förberedande åtgärder*. Karlstad: Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB)
- Rein, G. (2009). *Smouldering combustion phenomena in science and technology*. International Review of Chemical Engineering
- Robson, C. (2002). 2:a uppl. *Real world Research*. Oxford, UK: Blackwell Publishers

- Strömberg, B. (2005). *Bränslehandboken*. Rapport 911. Stockholm: Värmeforsk – Värmeteknik, forskning och utveckling
- Strömberg, B. & Herstad Svärd, S. (2012). *Bränslehandboken*. Rapport 1234. Stockholm: Värmeforsk – Värmeteknik, forskning och utveckling
- Särdqvist, S. (2006). 2:a uppl. *Vatten och andra släckmedel*. Karlstad: Räddningsverket
- Thörnqvist, T. (1987). *Bränder i stackar med sönderdelat trädbränsle*. Uppsats nr 163. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), institutionen för virkeslära.
- Thörnqvist, T. (1984). *Hyggesrester som råvara för energiproduktion – torkning, lagring, hantering och kvalitet*. Rapport nr 152. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), institutionen för virkeslära
- Thörnqvist, T. (1984). *Självuppvärmning och substansförluster vid lagring av torv – en litteraturstudie*. Rapport nr 159. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), institutionen för virkeslära

Skogsstyrelsen. (1997). *Skogsstatistisk årsbok*. Jönköping

Elektroniska källor

- Bioenergitidningen. Bioenergi – Nordens största bioenergitidning. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://bioenergitidningen.se/Om%20oss%20-%20Bioenergi>> (2014-10-24)
- Biokraft 2014. *Biokraft 2014*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.mynewsdesk.com/se/svebio/documents/biokraftkartan-2014-39290>> (2014-10-22)
- IDA. Beskrivning av kriterier, datatillgång, kvalitet etc. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://ida.msb.se/ida2#page=a0110>> (2014-11-03)
- Länsstyrelsen 1. *Förbränningsanläggningar*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.lansstyrelsen.se/skane/Sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/miljofarliga-verksamheter/branscher/forbranningsanlaggningar/Pages/Forbranningsanlaggningar.aspx>> (2014-10-14)
- Länsstyrelsen 2. *Exempel på vad en tillståndsansökan och miljökonsekvensbeskrivning för förbränningsanläggningar större än 20 MW installerad tillförd effekt minst skall innehålla*. (Elektronisk). Tillgänglig: <http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/miljofarlig-verksamhet/Innehall_tillstandsansokan_forbranningsanlaggningar.pdf> (2014-10-14)
- Länsstyrelsen 3. *Tillståndspliktig vattenverksamhet*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.lansstyrelsen.se/vasterbotten/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-Miljopaverkan/Vattenverksamhet/Information%20tillst%C3%A5ndspliktig%20vattenverksamhet.pdf>> (2014-10-14)
- Naturvårdsverket. *Samråd för miljökonsekvensbeskrivningar (verksamheter och åtgärder)*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljokonsekvensbeskrivning/Samrad/#>> (2014-10-14)

Nordic Innovation Centre. *Guidelines for storing and handling of solid biofuels*. (Elektronisk).

Tillgänglig: <http://www.nordtest.info/images/documents/nt-methods/environment/NT%20envir%20010_Guidelines%20for%20storing%20and%20handling%20of%20solid%20biofuels_Nordtest%20Method.pdf> (2014-10-14)

Ryaverket Borås. *Ryaverket i Borås*. (Elektronisk). Tillgänglig:

<<http://www.borasem.se/vanstermen/omforetaget/varaanlaggningar/ryaverket.4.7243a9a4125d5ad4db1800015547.html>> (2014-10-25)

Skogsstyrelsen. *Om statistiken*. (Elektronisk). Tillgänglig:

<<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Tradbransle/Beskrivning/>> (2014-09-16)

Skogssverige. *Finns någon definition på biobränslen?*. (Elektronisk). Tillgänglig:

<<http://skogssverige.se/finns-nagon-definition-pa-biobransle>> (2014-11-18)

SP. *Brandsäker lagring av biobränslen och avfall*. (Elektronisk). Tillgänglig:

<http://www.sp.se/sv/index/research/storage_biofuel/sidor/default.aspx> (2014-10-15)

Trygg Hansa. *Trygg Hansa*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.trygghansa.se/om-trygghansa/omforetaget/pages/default.aspx>> (2014-09-12)

ⁱ Brandingenjör och Civilingenjör Industriell Ekonomi Christian Jönsson, Sweco Systems, intervju 2014-10-12

Bilaga 1 – Rekommendationer utgivna av Trygg Hansa (2009).

Rekommendationerna gäller för utomhuslagring av trädbaserade biobränslen.

God skyddsnivå är bl a följande:

- Situationsplan över lagringsytorna upprättas. Planen ska visa stackarnas och brandposternas placering. Säkerhetsavstånd mot byggnader, uppgift om närmaste larmtelefon och övrig utrustning ska framgå
- Lagra på plan, fast och torr yta. Undvik gropar och upphöjningar utmed stackens sidor
- Kontrollera att lagringsplatsen inte ligger lägre än omgivande markyta. Helst bör den ligga högre än omgivningen och med lite lutning för god avrinning
- Lagringsplatsen bör ligga vindsyddad
- Placera stacken längst den vanligaste vindriktningen och på sådant sätt att vindpåverkan blir så liten som möjligt
- Lagra inte direkt mot en vägg eller byggnad. Avståndet från stack till transportband, järnvägsspår eller byggnad ska vara minst 15 meter. Vid brännbar byggnad gäller 30 meter
- Avstånd mellan stackarna ska vara minst 15 meter räknat vid normal rasvinkel (ca 45 grader)
- Lagring får inte ske i närheten av värmekällor och inte över rör, kablar eller andra markanläggningar. Lämningsyta skall finnas på förberedd plats i direkt anslutning till stacken och vara minst 20 % av lagringsytan
- Upprätta avtal med lämplig uthyrare av lastmaskin för lämpning (backup-avtal)
- Tillgång till släckvatten måste finnas inom lagringsområdet och vara väl utmärkt och påkörningssyddad
- Matning till brandpostnät bör vara ringmatat. Brandposter ska vara placerade så att man kan nå varje godtyckligt vald lagringsplats. Utformning ska ske tillsammans med lokal räddningstjänst
- Reparation eller bränslepåfyllning av arbetsfordon får inte förekomma på eller intill upplag
- Maskiner med lågt hjul- respektive bandtryck ger liten kompaktering och därigenom minskar risken för självantändning. Rengör maskinerna regelbundet med avseende på damm, olja m m
- Rökförbud ska gälla för hela lagringsplatsen
- Lagrat material får inte innehålla metallföremål

Lagringshöjder/omsättn				
Typ	Ej packat		Packat	
	Max höjd meter	Max lagr tid Månader	Max höjd meter	Max lagr tid månader
Barkad stamvedsflis (cellind)	20	12	16	9
Obarkad stamflis	15	9	12	6
Helträdsflis från lövträd	12	9	9	6
Helträdsflis från barrträd	10	9	7	6
Sönderdelade hyggesrester	7	6	Ej tillåtet	
Bark	7	3	4	3
Sågspån	15	6	12	4
Kutterspån	8	6	6	4
Frästörv	Ej		6	
Stycketörv			Ej tillåtet	
Förorenat material	6	3	Ej tillåtet	

- Lagra varje bränslesortiment i skilda stackar. Flis, bark, hyggesrester m m får inte blandas. I händelse av att förorenat material förekommer ska detta lagras i separat stack
- För upplag av bark, hyggesrester och förorenat material ska bevakningsrundor genomföras var 4:e timme

Temperaturmätning

- Utrustning för temperaturmätning ska finnas. I händelser av indikator på förhöjd temperatur i stackarna ska temperaturmätning utföras vid bevakningsrundor var 4:e timme. Vidtag erforderliga åtgärder om temperaturen överstiger 70 C.

Heta arbeten

- Var uppmärksam vid ”heta arbeten” såsom svetsning, skärning mm. Följ trygg Hansas säkerhetsföreskrifter för ”Brandfarliga heta arbeten”

Transportband

- Om transportband finns i anslutning till upplag ska rutiner för renhållning och brandsträckning finnas. Förse transportband med slirvakt. Bandet bör vara av självslocknande kvalitet

För frästörv och stycketörv gäller även följande riktlinjer;

Lagring av frästörv

- Fukthalten i stacken får inte överstiga 45 %
- Torksprickor i stackens ytskikt ska tätas
- Maximal stackvolym: 10 000 m³
- Stacken ska vara täckt och ventilerad

Lagring av stycketörv

- Fukthalten i hela stacken ska vara jämn och bör inte överstiga 55 %
- Torven ska sållas och vara av jämn kvalitet

Bilaga 2 – Beräkning av maximal lagringskapacitet för olika silotyper

Den maximala lagringskapaciteten som anges i tabellen nedan har tagits fram genom handberäkningar i samband med detta examensarbete. I beräkningarna har det antagits att de angivna måtten för diametern och höjden, som anges i tabellen, är innermått för diverse silon. Antagandet om att silon har en cylinderformad utformning har också utförts i samband med handberäkningarna. Grova avrundningar har utförts i samband med beräkningarna.

Utförda antaganden medför att de beräknade volymerna inte ger en helt korrekt återspeglning av praktiken. Den främsta anledningen till det är att silon ofta har en cylinderformad kropp som kompletteras med ett konformat tak. Beräkningarna är dock konservativa och utförs i syfte att ge ett ungefärligt volymmått som kan användas som diskussionsunderlag i examensarbetet. Av den anledningen anses dessa antaganden vara godtagbara.

Den maximala lagringskapaciteten beräknades med Ekvation 1 nedan:

Den

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (\text{Ekvation 1})$$

Där

V = Silons maximala volym [m³]

d = silons maximala diameter [m]

h = silons maximala höjd [m]

Resultatet från beräkningarna presenteras i nedanstående tabell:

Silotyp	Maximal Diameter [m]	Maximal höjd [m]	Maximal lagringskapacitet [m ³]
Tornsilo	12	50	~5700
Fristående stål- och betongsilo	30	30	~21200
Mindre bulksilo	10	15	~1200
Gastät silo	4	17	~200
Ensilage-silo	8	25	~1300

Bilaga 3 – Anläggningar som intervjuades

Intervjuade kraftvärmeanläggningar
Affärsverken, Bubbetorp, Karlskrona
Borås Energi och Miljö, Ryaverket, Borås
C4 Energi, Allöverket, Kristianstad
ENA Energi, Enköping
E.on Värme, Händelöverket, Norrköping
E.on Värme, Åbyverket, Örebro
Eskilstuna Energi och Miljö, Eskilstuna
Falu Kraft, Västermalmsverket, G1, G2, Falun
Fortum Värme, Brista 1, Sigtuna
Gällivare Energi, Hettvattencentralen, KVP3, Gällivare
Gävle Kraftvärme, Johannes, Gävle
Halmstads Energi, Kristinehedsverket, Halmstad
Hässleholm kraftvärmeverk, Hässleholm
Härnösand Energi, Kraftvärmeverket, Härnösand
Jämtkraft, Lugnviksverket, Östersund
Jönköping Energi, Torsvik, Jönköping
Kalmar Energi, Moskogen, Energi
Karlstads Energi, Heden, Karlstad
Landskrona Kraft AB, Energiknuten, Landskrona
Lomma kraftvärmeverk, Lomma
Mellanskog skogsägarna
Mälarenergi, Aros G1, G2, G3, G4, Västerås
Mölnadal Energi, Riskullaverket, Mölnadal
Norrtälje Energi, Arsta, Norrtälje
Nymölla kraftvärmeverk, Nymölla
Sakab, WTE2, Kumla
Skellefteå Kraft, Hedensbyn, Skellefteå
Skellefteå Kraft, Skogsbacka, Lycksele
Strängnäs Energi, Sevab, Strängnäs
Sundsvall Energi, Korstaverket inkl. G2, Sundsvall
Söderhamn Nära, Granskär, Söderhamn
Söderenergi, Igelsta, Södertälje
Tekniska verken i Kiruna, Kiruna
Tekniska verken, Gärstadsverket, Linköping
Tekniska verken, Kraftvärmeverket, Linköping
Tyringe kraftvärmeverk, Tyringe
Umeå Energi, Dåva 1, Umeå
Umeå Energi, Dåva 2, Umeå
Uddevalla Kraft, Lillesjöverket, Uddevalla
Värmevärden, Kraftvärmeverket, Nynäshamn
Växjö Energi, Sandviksverket 2, Växjö
Örtofta kraftvärmeverk, Örtofta
Öresundskraft, Åkerlundsverket, Ängelholm
Övik Energi, Hörneborgsverket, Örnsköldsvik

Bilaga 4 – Enkät vid intervjustudier

Frågeformulär bränslelager

Svara endast på de bränslesorter som är aktuella i nedanstående frågor.

Vänligen uppge vilket företag som Ni representerar där bränslelagren är aktuell.

Alla uppgifter hanteras konfidentiellt och kommer ej publiceras i rapporten.

Vilka av följande bränslen lagras på er anläggning?

- [] Barkad stamvedsflis
- [] Obarkad stamflis
- [] Helträdsflis från lövträd
- [] Helträdsflis från barrträd
- [] Sönderdelade hyggesrester
- [] Bark
- [] Förorenat material
- [] Övriga

Lagras barkad stamvedsflis packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av barkad stamvedsflis (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av barkad stamvedsflis (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Lagras obarkad stamflis packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av obarkad stamflis (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av obarkad stamflis (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Lagras helträdsflis från lövträd packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av helträdsflis från lövträd (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av helträdsflis från lövträd (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Lagras helträdsflis från barrträd packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av helträdsflis från barrträd (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av helträdsflis från barrträd (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Lagras sönderdelade hyggesrester packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av sönderdelade hyggesrester (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av sönderdelade hyggesrester (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Lagras bark packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av bark (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av bark (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Lagras förorenat material packat eller inte packat?

Bränsle kan packas m.h.a t.ex. hjullastare

- () Packat
- () Inte packat

Maximala mått på lagring av förorenat material (ange höjd, bredd och längd i meter)?

Ange era svar i textrutan nedan

Maximal lagringstid av förorenat material (månader)?

Ange ert svar i textrutan nedan

Övrigt: Vilket bränsle?

Ange ert svar i textrutan nedan

Hur många glödbränder i bränslelager har inträffat på er anläggning, under hur många driftår?

Definitionen av glödbrand är en nedbrytnings- eller förbränningsprocess som genererar värme och som kan ske antingen vid ytan eller inuti bränslelager

Hur många varmgångar i bränslelager har inträffat på er anläggning, under hur många driftår?

Definitionen av varmgång är värmeutveckling som sprider sig i bränslestaken

Hur många storskaliga bränder i bränslelager har inträffat på er anläggning, under hur många driftår?

Definitionen av storskalig brand är en omfattande brand där större mängd bränsle är involverad i branden och insats från räddningstjänsten kan krävas

Övrigt, kommentarer:

Bilaga 5 – Enkät till intervju i samband med platsbesök

Enkät till intervju i samband med platsbesök

Anläggning: _____

Har ni några rutiner vid inträffad brand? Vilka? Plan för begränsning av brand i stackar?
Släckmetodik?

Utför ni temperaturmätningar? Loggning över temperaturen i stackarna? Hur kontrollerar ni dem?
Använder ni andra metoder för kontroll av temperaturökning? Gränsvå? Vid vilken temperatur har ni
en handlingsplan och hur ser handlingsplanen ut?

Finns det något årstidsberoende vad gäller varmgång, glödbrand och storskalig brand i bränslelager?

Skiljer sig statistiken för varmgång åt för olika bränslen? Vilka risker ser ni förknippade med de olika
bränslena?

Följer ni riktlinjerna/ rekommendationerna kring bränslestackarnas storlek och form? (2:1 förhållandet) Vilka krav ställs på lagringen och av vem?

Vilka åtgärder anser ni är viktigast för att minimera riskerna för varmgång, glödbrand och storskalig brand?

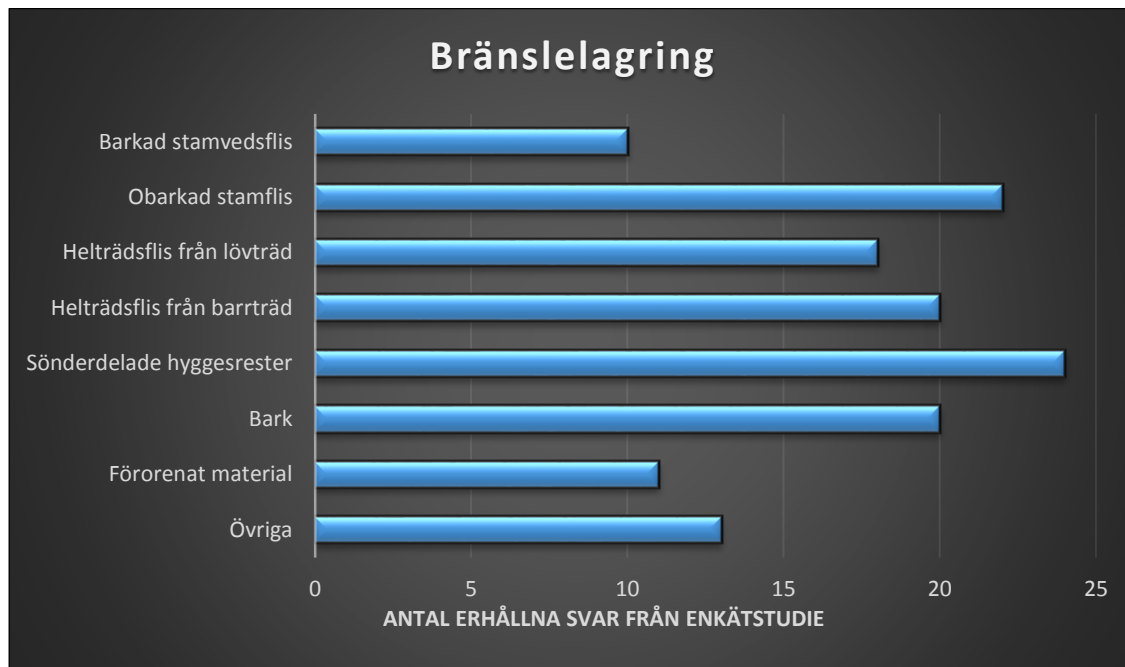
Hur ser ni på varmgång och glödbrand? Är det ett katastrofläge eller normal driftförutsättning?

Har ni gnistdetekteringssystem installerat? Hur ofta aktiveras detta?

Bilaga 6 – Information från enkätstudien

Bilagan presenterar insamlad information från enkätstudien.

Figuren nedan redovisar en sammanställning av bränslen som lagras vid de anläggningarna som deltog i studien.



Övriga bränslen är angivna som returträ, sågspån, verksamhetsavfall, kol, gummi, torv och kreosotimpregnerat returträ i de erhållna enkätsvaren.

Tabellerna nedan visar fördelningen mellan lagringsrekommendationer som överskrids eller inte.

Lagrat bränsle	Inte packat material: Rekommenderad lagringshöjd överskrids [antal svar]	Inte packat material: Rekommenderad lagringshöjd överskrids inte [antal svar]
Barkad stamvedsflis [20 m]	0	11
Obarkad stamflis [15 m]	2	22
Helträdsflis från lövträd [12 m]	2	16
Helträdsflis från barrträd [10 m]	3	15
Sönderdelade hyggesrester [7 m]	4 ¹⁾	16
Bark [7 m]	5	11
Förorenat material [6 m]	7	4 ²⁾
Totalt/ summa	23	95

¹⁾ En anläggning tolkade sönderdelade hyggesrester som GROT.

²⁾ En anläggning tolkade förorenat material som städbark

Lagrat bränsle	Packat material: Rekommenderad lagringshöjd överskrids [antal svar]	Packat material: Rekommenderad lagringshöjd överskrids inte [antal svar]
Sönderdelade hyggesrester ³⁾	1	-
Bark	1	1
Totalt/ summa	2	1

³⁾ En anläggning anger att de lagrar sönderdelade hyggesrester packat, vilket anges som ett inte tillåtet lagringssätt enligt de rekommendationer som Trygg Hansa publicerat. Resultatet har därför placerats under kategorin överskriden lagringshöjd.

En annan anläggning har angivit att de lagrar barkad stamvedsflis packat men inte angivit den maximala lagringshöjden. Det erhållna resultatet kan därför inte tas med i statistiken.

Lagrat bränsle	Lagringsförhållandet 2:1 uppfylls inte [antal svar]	Lagringsförhållande 2:1 uppfylls [antal svar]
Barkad stamvedsflis	6	1
Obarkad stamflis	15	2
Helträdsflis från lövträd	11	3
Helträdsflis från barrträd	10	3
Sönderdelade hyggesrester	15	3
Bark	11	6
Förorenat material	7	4
Totalt/ summa	75	22

Lagrat bränsle	Packat material: Rekommenderad maximal lagringstid överskrids [antal svar]	Packat material: Rekommenderad maximal lagringstid överskrids inte [antal svar]
Barkad stamvedsflis [12 mån]	0	12
Obarkad stamflis [9 mån]	3	16
Helträdsflis från lövträd [9 mån]	2	13
Helträdsflis från barrträd [9 mån]	3	12
Sönderdelade hyggesrester [6 mån]	6	13
Bark [3 mån]	9	7
Förorenat material [3 mån]	5	6
Totalt/ summa	28	79

Den maximala lagringstiden för icke packat material kan inte redovisas då det finns för lite insamlad statistik kring detta lagringssätt.

Tabellerna som presenteras nedan visar antalet inträffade fall av varmgång, glödbland och storskalig brand som erhöles från enkätstudien. Vid de fall antal driftår inte var angivet för anläggningarna utgick det från året anläggningen startade och utifrån det beräknades driftåren och antal inträffade händelser under anläggningens livstid.

Antal inträffade fall av varmgång under anläggningens driftår	Antal driftår	Antal inträffade fall av varmgång per driftår
200	50	4
126	6	21
84	14	6
60	30	2
28	14	2
25	25	1
22	22	1
5	12	0,42
4	4	1
0	1	0
0	5	0
0	6	0
0	6	0
0	14	0
0	14	0
0	15	0
0	15	0
0	17	0
0	18	0
0	22	0
0	25	0
0	29	0
0	29	0
$\Sigma=554$	$\Sigma=337$	$\Sigma=38,42$

Till ovanstående statistik har även följande kommentarer adderats och som är av intresse för diskussionsdelen i rapporten:

- Alla högar som ligger mer än en vecka får en förhöjd temperatur på mellan 50 – 80 °C. Det innebär att det råder konstant varmgång i bränslelager
- Varmgång uppkommer varje år
- Varmgång uppkommer otaliga gånger. Temperaturmätning sker regelbundet och när den börjar närma sig 90 °C vidtas åtgärder
- Varmgång inträffar hela tiden. Processen är snabb och drar igång fort

Antal inträffade fall av glödbbrand under anläggningens driftår	Antal driftår	Antal inträffade fall av glödbbrand per driftår
5	14	0,36
5	30	0,67
4	4	1
3	5	0,6
3	12	0,25
2	29	0,07
1	14	0,07
1	14	0,07
1	21	0,05
1	30	0,03
0	1	0
0	4	0
0	5	0
0	6	0
0	6	0
0	7	0
0	8	0
0	12	0
0	15	0
0	15	0
0	18	0
0	22	0
0	22	0
0	25	0
0	25	0
0	29	0
$\Sigma=26$	$\Sigma=393$	$\Sigma=3,17$

Till ovanstående statistik har även följande kommentarer adderats och som är av intresse för diskussionsdelen i rapporten:

- Glödbbrand har uppstått en gång och som kontrollerades genom kvävning och vattenbegjutning

Antal inträffade fall av storskalig brand under anläggningens driftår	Antal driftår	Antal inträffade fall av storskalig brand per driftår
60	30	2
2	4	0,50
1	6	0,17
1	14	0,07
1	14	0,07
1	30	0,03
0	1	0
0	4	0
0	5	0
0	6	0
0	7	0
0	8	0
0	12	0
0	14	0
0	14	0
0	15	0
0	15	0
0	17	0
0	18	0
0	21	0
0	22	0
0	22	0
0	25	0
0	25	0
0	29	0
0	29	0
0	30	0
$\Sigma=66$	$\Sigma=437$	$\Sigma=2,84$

Till ovanstående statistik har även följande kommentarer adderats och som är av intresse för diskussionsdelen i rapporten:

- Det är ytterst sällan som räddningstjänsten kan göra något vid storskalig brand. Istället löser vi det själva på anläggningen med vår egen utrustning

Bilaga 7 – insamlad information i samband med platsbesök

Fråga 1: Har ni några rutiner vid inträffad brand? Vilka? Plan för begränsning av brand i stackar? Släckmetodik?

Anläggning 1 och 2:

- Isolera
- Gräva av stacken
- Separera det bränsle som brinner från övrigt bränsle
- Placera brinnande bränsle på asfalt (lämpningsyta)
- Sprida ut bränslet och släck med vatten
- Larma räddningstjänsten – räddningstjänsten larmas endast i de fall där de gör bedömningen att de inte klarar av att släcka branden själva

Anläggning 3:

Insatsplan finns upprättad för anläggning. Begränsning av brand i stackar sker genom avgrävning med hjullastare (som finns upprättat jouravtal med leverantör som hanterar bränslet). Vid varmgång eller glödbland lämpas bränslet ut på hårdgjord yta och släcks antingen med vatten eller genom att påföra fuktigt bränsle. Driftpersonal möter upp räddningstjänsten och handleder dem för insats.

Anläggning 4:

Ingen direkt insatsplan finns för räddningstjänstens insats. Däremot finns rutiner och ett inarbetat sätt för eget arbete med bränslestackarna.

Rutiner vid brand i stack: Vid glödbland lämnas materialet helst under bevakning utan akutsatser då erfarenheten säger och visar att dessa ”glöder ut”. Ibland kan det uppstå en stickflamma igenom gångar som bildas i materialet. Detta är heller inget som föranleder akut insats. Glödbänder flammat till ibland men är oftast inga bekymmer utifrån riskperspektiv för varken anläggningen eller personal. Det slockna av sig självt oftast.

Glödbänder kan pågå i flera dagar innan det utvecklas till brand med synlig flamma. När öppen låga syns och beslut tas för att ingripa grävs så lite som möjligt i bränslestackarna då detta i sig kan orsaka ytterligare uppkomst av bränder i bränslet då syre tillförs. Om syre inte tillsätts är det mindre troligt att glödbänderna utvecklas till storskalig brand. De flesta glödbänder självdör är verksamhetens erfarenhet. Det material som är mest akut grävs av och placeras bort från stacken där det får ryka av under uppsyn. Brandgator finns mellan stackarna och materialet som brinner forslas bort. Vid brand stängs området av för trafik det vill säga inga lastbilar får köra in eller ut från anläggningen. Bränslet hanteras långt ifrån bränsletransportsystem, varpå spridningsrisk och risk för påverkan mellan transportband och bränslestackar inte kan uppstå.

Små glödbänder och varmgång anses vara normala driftsförutsättningar och inga större åtgärder vidtogs när dessa uppmärksammas.

Enligt erfarenhet är det bättre att ha kontroll över situationen genom att arbeta lite med bränslestackar när det råder glödbland istället för att gå på maximal kraft och försöka släcka eller flytta materialet. Resultatet av sådant agerande brukar inte ge bra resultat då arbete med stackarna i sig kan orsaka glödbänder.

Kontinuerlig rondering sker och glödbänder upptäcks vanligast genom att materialet ”sjunkit ner” på lokala platser. Vatten används sällan för att släcka eller kontrollera glödbänder. Det anses vara det

sista alternativet vid släckning för bränslestackar. Det finns brandposter runt hela bränslegården men de har aldrig använts mot bränder, endast mot att begränsa damm och nedsmutsning.

Material som glöder kan blandas med annat nytt material matas in till pannan för förbränning. Det finns inga identifierade risker med att köra in materialet till pannan.

Fråga 2: Utför ni temperaturmätningar? Loggning över temperaturen i stackarna? Hur kontrollerar ni dem? Använder ni andra metoder för kontroll av temperaturökning? Gränsnivå? Vid vilken temperatur har ni en handlingsplan och hur ser handlingsplanen ut?

Anläggning 1 och 2:

Ifall temperaturmätningar utförs eller inte beror på hur länge bränslet lagrats. För bränsle som lagrats ofta sker temperaturmätningar med hjälp av lansar som placeras i stackens sidor så högt upp som möjligt och med hjälp av IR- kamera. Personalen går aldrig upp på stackarna. På så sätt kan tidig indikering på temperaturökning ges. Ingen loggning eller kritisk gränsnivå. Andra metoder är rondering 1 gång per dag.

Anläggning 3:

Temperatur mäts kontinuerligt i stackarna, med tätare intervall då varmgång eller glödbrand misstänks. På verket används temperaturstav för mätning. Vid mätning är det viktigt att nå centrum av stackarna och nedre delar där trycket är som högst. Eftersom stackarnas bredd/längd överstiger 2:1 förhållandet så sker mätningar ovanifrån. Något definitivt gränsvärde för temperaturkontroll arbetar vi inte efter utan det beror helt och hållet på omständigheterna, vilken säsong det är och vilken typ av bränsle. Ett riktvärde 70-80 grader håller vi mer kontroll på.

Anläggning 4:

Tidigare mättes temperatur i stackarna genom egentillverkade temperaturlansar. Dessa används inte längre dels på grund av att det är svårt att få in dem i stackarna men även för att de inte anses vara så tillförlitliga då temperaturvariationer kan vara stora på olika punkter i stackarna.

Det finns ingen gränsnivå men tidigare utförda mätningar visar på att temperaturutvecklingen upp till 70 - 80 grader gick väldigt fort. Kanske det är någon form av brytgräns mellan varmgång och glödbrand? Efter att den temperaturen uppnåtts hålls temperaturen konstant eller utvecklas till glödbrand. Om luft eller vatten inte tillsätts förväntas temperaturen i stackarna avta.

Fråga 3: Finns det något årstidsberoende vad gäller varmgång, glödbrand och storskalig brand i bränslelagrena?

Anläggning 1 och 2:

Det finns en förhöjd risk om bränslet får lagras länge. Under sommaren är åtgången mindre och då kan lagringstiden bli längre.

Anläggning 3:

Den största risken föreligger i slutet på en eldningssäsong om säsongen varit varm vilket gör att bränslet legat under lägre tid och risken för spontanantändning ökar. Om våren varit varmare än ett normalt år blir det flis över som måste lagras i ca 4 månader och då kan glödbrand uppstå.

Anläggning 4:

Risken är inte direkt förknippad med årstiden utan mer i förhållande till lagringstiden. Däremot kan dock bränslet och riskerna för glödbränder påverkas av årstiderna på grund av överskott av bränsle om det varit ovanligt varmt och bränslet inte gått åt. Överskottet säljs dock vidare och detta anses därför inte medföra en förhöjd risk för anläggningen. Likaså kan risken för glödbrand öka för årstider med mycket nederbörd ifall bränslet packas eller på annat sätt påverkas så att vattenansamlingar kan ske i bränslet. Fuktransporten är en parameter som är drivande för uppkomst av glödbrand vilket innebär att bränsle som lagrats länge och utsätts för nederbörd ger en "jäsning" och normalt uppmärksammas detta genom att det lokalt ryker från bränslet på olika områden i stacken. Om materialet lagrats i 7 månader med de lagringshöjder som finns hos anläggningen, oberoende av årstid, pågår garanterat glödbränder i materialet.

Fråga 4: Skiljer sig statistiken för varmgång åt för olika bränslen? Vilka risker ser ni förknippade med de olika bränslena?

Anläggning 1 och 2:

Det finns material som är mer benäget att ge upphov till varmgång. Det är GROT, speciellt om bränslet är blött och lagras länge, bark och salixen.

Anläggning 3:

Torrare bränslen som skogsflisblandningar är ett större problem än bark trots att glödbränder i det materialet är vanligare. Barken är så fuktig att det slocknar av sig själv!

Anläggning 4:

GROT och Salix antags ha större benägenhet till varmgång men det anses ha med fukthalten att göra. Salix har högre fukthalt än trädbränslen. Dock kan inte detta sägas med säkerhet då vi oftast inte köper in Salix på grund av att det kan innehålla metaller som vi försöker undvika.

Rent skogsflis anses ha mindre benägenhet till varmgång medan rivet, trådigt och fuktigt material anses ha högre benägenhet. Detta tros ha koppling till att omslutningsarean på bränslet ökar och en större fuktvandring kan förväntas. Torrt material medför också en högre benägenhet för antändning.

Fråga 5: Följer ni riktlinjerna/ rekommendationerna kring bränslestackarnas storlek och form? (2:1 förhållandet) Vilka krav ställs på lagringen och av vem?

Anläggning 1 och 2:

Följer inga skriva regler. Istället har de:

- Brandgator
- God vattenförsörjning som går runt hela anläggningen och som räddningstjänsten och försäkringsbolaget Trygg Hansa är nöjda med
- Maximal lagringshöjd 7 meter förutom för RT- flis
- De kör aldrig med fordon i stackarna förutom för rent RT- flis (fukthalt 25-30 %)

Anläggning 3:

Nej det gör vi inte. Bränslehanteringen har presenterats i en rapport och bränslehanteringsplan vilken har redovisats och godkänts av lokal räddningstjänst samt Länsstyrelsen. Utöver dessa myndigheter ställer även vårt försäkringsbolag krav på hanteringen.

Anläggning 4:

Följer inga skrivna riktlinjer. De lagrar samtliga material, förutom rent flis, enligt: höjd 7-8 m, bredd 25-26 m och en längd upp till 200-300 m. Lagringshöjden är begränsad till just 8 m då de försöker packa så högt som möjligt utan att hjullastare kör upp i bränslet vilket ökar risken för uppkomst av glödbränder dramatiskt. Bränslet lagras i spetsiga stackar för att påskynda vattenavrinningen. Även om materialet lagras på 7-8 meters höjd brukar det sätta sig och sjunka till 5 meters höjd. Det krävs mycket utrymme på bränslegården för att kunna följa befintliga lagringsrekommendationer vilket inte är möjligt med gällande produktion och lagringsyta. Det finns många års driftserfarenhet kring bränslehanteringen och fullskaleförsök har gjorts på anläggningen för att säkerställa en säker hantering av bränslet. Ovanstående avser blandat bränsle.

Rent skogsflis utan föroreningar (ex bark, grenar etcetera) kan enligt erfarenheter i princip lagras hur högt och brett som helst då det inte anses medföra någon större antändningsrisk. Hjullastare kan även köra i materialet utan att medföra förhöjda risker. De för en kontinuerlig dialog med deras gällande försäkringsbolag IF kring hur bränslet lagras men anser dock att regelverk, riktlinjer och risker som är förknippade med lagring av bränsle är otydligt.

Fråga 6: Vilka åtgärder anser ni är viktigast för att minimera riskerna för varmgång, glödbland och storskalig brand?

Anläggning 1 och 2:

- Plocka bort metaller från bränslet med magnet
- Minimera lagringstiden
- Max lagringshöjd 7 meter
- Packa inte bränslet, kör inte i bränslet

Anläggning 3:

Omsättning på lagret. Försök att använda lagret till stabila bränslen som RT flis och sågspån.

Anläggning 4:

Glödbränder i det blandade bränslet som kan innehålla grenar, bark, pappersmassa etcetera är en normal driftförutsättning och uppstår kontinuerligt som oftast beror på lagringstiden. För att undvika glödbränder i denna typ av material har det visat sig vara viktigt att inte packa materialet med hjullastare och samt att kontrollera lagringstiden. Lagringstiden är den viktigaste faktorn som påverkar bränder i material.

Lagring sker i avlånga stackar då det är mer hanterligt när brand inträffar. Lagring i limpor medför en chans att gräva av det material som brinner vid behov och därmed begränsa risken för spridning av glödbland i stacken då det främst sänker bränslevärdet och är en ekonomisk fråga. Så kallade ”amöbor” där lagring sker i stora ansamlingar (det vill säga där bredd och längd är ungefär detsamma) undviks vid lagring då dessa bedöms svåra att hantera vid brand. De försöker även undvika vattensamling och vattengångar för att minimera riskerna.

För att minska risken för glödbbrand att utvecklas till storskalig brand grävs material bort som anses vara benäget att antändas och utvecklas till storskalig brand.

Det handlar också om bemanningsfrågan då det är personalen som upptäcker glödbänderna/bränderna och larmar in, så att det kan åtgärdas snabbt och effektivt. Glödbänders och till och med redan utvecklade bränder uppmärksammas tidigt av lastbils- och hjullastarförare samt ronderingspersonal då de kör och befinner sig på där kontinuerligt.

Tillbudsrapportering sker när något har inträffat. Lagring av bränsle sker så långt bort från transportband och panna som möjligt.

Fråga 7: Hur ser ni på varmgång och glödbbrand? Är det ett katastrofläge eller normal driftförutsättning?

Anläggning 1 och 2:

Anläggningen är utrustad med skraptransportörer, axellösa skruvar samt har tippfickor utplacerade. De använder klor + pusher för att flytta bränslet till pannan. Det medför en mindre risk för antändning och därför har de inte sprinkler eller självsläckningsband då de inte anses uppfylla någon funktion.

Varmgång och glödbbrand ses som normal driftförutsättning.

Anläggning 3:

Varmgång och glödbänders kan inträffa vid normal drift och kan hanteras av egen personal genom skyddsåtgärder, kontrollmätningar och rutiner för släckning/lämpling.

Anläggning 4:

Normal driftförutsättning.

Fråga 8: Har ni gnistdetekteringssystem installerat? Hur ofta aktiveras detta?

Anläggning 1 och 2:

Nej. Istället har de detektorer installerat i utrymmen där det lagras flis inomhus samt på andra känsliga områden inom anläggningen.

Anläggning 3:

Ja det har vi. Gnistdetekteringssystem och snabbsläckningssystem finns i fallschakt på olika platser i anläggningen.

Anläggning 4:

Nej.

Fråga 9: Vilka andra riskreducerande åtgärder anser ni är väsentliga när det gäller:

- a) Varmgång?
- b) Glödbrand?
- c) Storskalig brand?

Anläggning 1 och 2:

- Brandgatan – det är inget krav men det finns på anläggningen
- De tar hand om sitt släckvatten vid pump
- Kör inte i bränslet, lastar inte för högt
- Rondering
- God vattenförsörjning som räddningstjänsten kan koppla på vid inträffad händelse

Anläggning 3:

- Insatsplan och samarbete med räddningstjänsten
- Gnistdetekteringssystem och snabbsläckningssystem
- Kontrollmätningar och rutiner för släckning/lämpning.
- Kontinuerlig omsättning på lagret och att inte lagra bränslet för länge

Anläggning 4:

De har sprinklersystem installerat i sina transportband. Detta kombineras med städrutiner och ronderingar.

Anläggningen kan ibland ta emot material som brinner eller som har brunnit men då måste de få information kring detta så att de kan hantera det på speciellt sätt med kortare lagringstider samt att detta material inte blandas med annat som ska förvaras under längre tid. Sådant material går oftast direkt till förbränning i panna.

Fråga 10: Har ni en insatsplan? Hur fungerar samarbetet med räddningstjänsten?

Anläggning 1 och 2:

Ingen insatsplan. Samarbete i form av övningar, testar detektorer, utbildar personal till att leda räddningstjänstens personal vid brand.

Anläggning 3:

Insatsplan finns och samarbetet med räddningstjänsten fungerar bra.

Anläggning 4:

Nej, ingen insatsplan.

En sista utväg om det brinner är att tillkalla räddningstjänaren när inga andra åtgärder fungerar vid släckning av storskalig brand. Personalen på anläggningen är förberedda och övar med lokal räddningstjänst och har rutiner för insats samt tillgång till släckvatten och utrustning. Detta finns dock inte nedtecknat i en insatsplan.

Fråga 11: Vad är konsekvenserna (ekonomiska, produktionstekniska etcetera) för en brand som slår ut bränslestackar alternativt bränsleförsörjningssystem? Har ni nödmatningsfickor? Kan anläggningen fortsättningsvis vara i drift? Har ni en riskanalys som tar upp en sådan händelse utifrån produktionssäkerhet?

Anläggning 1 och 2:

Bränsleförlust. De kan inte beställa mer bränsle om det skulle gå förlorat då det inte finns något extra lager. Det kan leda till ekonomisk förlust men som reserv har de även oljepannor vilket innebär att de kommer klara värmehoven även vid större bränsleförluster.

Om pumphuset till fjärrvärmenätet skulle brinna skulle det medföra värre konsekvenser då de i sådana fall inte kan leverera värme.

Riskanalys utförs för central för reservpanna.

Anläggning 3:

Inga större risker då det finns nödmatningsfickor så anläggningen bör kunna fortsätta vara i drift.

Anläggning 4:

Eftersom bränslet lagras i andra änden av gården ifrån där pannan och transportbandet är placerat är risken för att en brand i bränslestackarna ska spridas till panna eller annan byggnad. Om brand inträffar och slår ut bränslestackarna eller bränsleförsörjningssystemet kan nytt material tas in och köras till pannan. Det bör inte påverka driften. Eldning av olja sker inte idag på grund av miljömål och kostnader men är givetvis ett alternativ.

Fråga 12: Vilka risker ser ni förknippade för er personal när det gäller släckinsats, det vill säga andningsutrustning i hjullastare, övrig skyddsutrustning, eftersläckningsarbete etcetera?

Anläggning 1 och 2:

- Det finns andningspaket i hjullastare
- Andningsmasker vid utsläpp av ammoniak eller brandgaser
- Brandvagnar utrustade med munstycken och annan anordning som ska användas vid släckinsats
- Eget brandpostnät
- Tvättning av använd utrustning vid insats utförs hos räddningstjänsten

Anläggning 3:

Vi tar hjälp av räddningstjänsten även vid en större glödbland även om det inte klassas som räddningsinsats med anledning av att vi saknar andningsutrustning.

Anläggning 4:

Inga större problem är identifierade. Om det ryker mycket eller ska göras en insats med hjullastare eller likande finns det tillgång till andningsutrustning om det behövs. Hjullastare är inköpta med partikelfilter/ gasfilter så de ska vara täta mot partiklar och rök. Släckutrustning, handbrandsläckare och andra hjälpmedel finns utplacerat på bränslegården. Ingen på anläggningen har drabbats av fliseldarsjukan troligtvis för att personal inte vistas på och i flihögar längre i samma utsträckning då temperaturmätningar inte genomförs aktivt. Likaså blåser det mycket på platsen och därmed

bedöms risken för syrefattig miljö vara kontrollerad utomhus. Samtliga maskiner är utrustade med sprinkler och detektorer.