

# Biobränslen och avfall - Brandsäkerhet i samband med lagring

Anders Lönnermark, Henry Persson och Per Blomqvist, SP  
William Hogland, Högskolan i Kalmar



Förstudie och framtagande av forskningsprogram åt BRANDFORSK (projekt 808-081)

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



# Biobränslen och avfall - Brandsäkerhet i samband med lagring

Anders Lönnermark, Henry Persson  
och Per Blomqvist SP  
William Hogland, Högskolan i Kalmar

## **Abstract**

### **Bio fuels and waste - Fire safety in connection with storage**

In the report fire risks with handling and storage of different types of biofuels or waste are discussed. The report gives an overview of different types of biofuels, future trends, different ways of storage, experiences from occurred fires, and previous or ongoing research project within the field.

The EC Directive on landfill of waste together with the need and interest for biofuels have resulted in increased amounts and a new type of storages. This also means new types of risks. There is therefore a great need for knowledge on the risks for spontaneous ignition and fire characteristics for these fuels and storages. If a fire occurs it can lead to significant problems with emissions and in many cases the rescue services have problems with handling these fires. The fires can also lead to large economic losses. It is, therefore, important to know both how to avoid and how to facilitate extinguishment of these fires. The information gathered and presented in the report has been used to develop a proposal for a research programme, which is also presented in the report.

The report deals mainly with solid biofuels and waste, but discussions on liquids and gaseous fuels are also included.

Key words: Bio fuels, solid bio fuels, pellets, wood, storage, fire safety, waste, auto-ignition, detection, extinguishment, guidelines, research

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2008:51  
ISBN 978-91-85829-70-5  
ISSN 0284-5172  
Borås 2008

#### **På rapportens framsida visas**

1. Lager av pellets (foto: Ingvar Hansson, SRV).
2. Silobrand (foto: Räddningstjänsten i Härnösand).
3. Lager av utsorterat verksamhetsavfall (foto: Henry Persson, SP).
4. Lager av balat avfall (foto: Henry Persson, SP).

## Förord

SP Brandteknik har under senare år arbetat med brandproblematik i biobränslen inom en rad olika projekt. Som en följd av detta genomfördes under 2007 en förstudie på uppdrag av Stena Metall AB med syfte att studera brandriskerna i samband med hantering och lagring av brännbart verksamhetsavfall. Resultaten från förstudien pekade, i likhet med erfarenheterna från tidigare forskningsarbete inom biobränsleområdet, på stora kunskapsluckor och ett större forskningsbehov kring denna typ av hantering och lagring.

SP fick därför i uppdrag av Brandforsk att genomföra den här förelagda förstudien med syfte att ta fram ett förslag till ett större forskningsprogram inom området. Arbetet har genomförts i samarbete med Professor Hogland på Högskolan i Kalmar som under många år bedrivit forskning kring avfallshantering. Arbetet bygger på sammanställningar av genomförd forskning inom området, publicerade rapporter m.m., intervjuer med forskare, myndigheter, räddningstjänst, personer inom branschen, försäkringsbolag och andra intressenter, etc..

Information om författarna:

Dr Anders Lönnermark är sedan 1995 forskare på SP Brandteknik. Anders är i grunden teknisk fysiker och har doktorerat i Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Vid SP har han arbetat både med experiment och modelleringsarbete och har erfarenhet både från modellskaleförsök och storskaliga brandförsök. Anders har på SP arbetat med flera olika områden: t.ex. modellering av förbränning, brandsläckning, brand och miljö (emissioner från bränder) samt bränder i tunnlar och undermarksanläggningar. När det gäller emissioner från bränder har flera undersökningar varit inriktade mot lager (hushållsavfall, elektronikskrot samt bildäck). Under åren 2004-2006 var Anders projektledare för projektet ”Emissioner från bränder – Metoder, modeller och mätningar” finansierat av Räddningsverket. Inom ramen för EU-projektet TOXFIRE, där Anders var ansvarig för planering, genomförande och utvärdering av de storskaliga brandförsök, studerades bl.a. brandförlopp och brandgassammansättning i samband med underventilerade bränder.

Henry Persson har arbetat på SP Brandteknik sedan 1979. Henry har som huvudinriktning arbetat med brand- och brandskyddsproblematik inom industrin och räddningstjänsten med släckning av bränder som specialområde. I flera fall har forskningsprojekten varit av problemlösande karaktär vilket lett till konkreta resultat och tillämpningar, t ex uppbyggnaden av den storskaliga släckutrustning för cisternbränder (SMC) som nu finns på fyra orter i Sverige. Sedan några år tillbaks har det varit stort fokus på biobränsle och här har Henry arbetat med flera projekt relaterade till brandrisker och brandsläckning, bl.a. riskerna vid hantering av biobränslen i siloanläggningar, både avseende risken för självantändning samt släckproblematiken. Ett annat område berör brand- och explosionsriskerna hos E85 samt brand- och brandsläckningsproblematiken vid lagring av etanol och E85 i stora cisterner.

Dr Per Blomqvist har i grunden en utbildning i analytisk kemi och har senare doktorerat i brandteknik. Per har under sin anställning på SP främst arbetat med områdena kemisk analys samt emissioner från material och produkter vid brand, men Per har även generell kunskap i brandtekniska samt miljörelaterade frågor. Per har specifikt expertis inom området biobränslen och självantändning då han arbetat inom ett flertal projekt där brand och speciellt självantändning i lager av biobränsle har undersöks genom mätningar, beräkningar och storskaliga experiment. Per har skrivit ett större antal artiklar för internationella tidskrifter och konferenser och arbetar aktivt med internationell standardisering inom brandområdet.

Professor William Hogland är professor i Miljöteknik vid Högskolan i Kalmar. William bedriver forskning inom deponering och lakvattenrening, energi ur avfall, lagring av organiskt material, vatten- och materialflöden i urbana områden, systemanalytiska studier inom industrin, industriell ekologi, marksanering, landfills mining, bränder i avfallsupplag, miljöekonomi, mm. Forskningsprojekten genomförs vanligen i samarbete med kommuner och företag. Han undervisar inom vatten- och avfallsrelaterade områden både nationellt och internationellt. Under försommaren 2000 började William arbeta med GIWA (Global International Water Assessment) och blev ordförande för GIWA-Baltic Test Team och GIWAs representant i GEF(Global Environmental Facility)/Baltic Sea Regional Project (båda UNEP-program). Sedan år 2001 har han varit mentor i Sidas Sydost Asien program ARRPET. William ordnar vart annat år konferenserna Kalmar Eco-tech och ungdomskonferensen Eco-Baltica tillsammans med St.Petersburg State Polytechnic University. Han har arbetat med forskning och undervisning i mer än 50 länder och skrivit mer än 350 rapporter och vetenskapliga artiklar. 2007 etablerade han the Swedish Centre of Excellence for Support of Development of a Sustainable Society in Nepal med stöd från Sida.

Till projektet knöts en referensgrupp bestående av följande personer:

Chris Blueckert, Zurich  
 Åke Fors, Brandforsk  
 Lennart Gustavsson, SP Energiteknik  
 Janina Helenius-Bylander, IF  
 Mikael Johnsson, Avfall Sverige  
 Raziye Khodayari, Värmeforsk  
 Mikael Rosvall, Scania  
 Patrick Van Hees, Lunds tekniska högskola

Följande personer, utöver författarna och referensgruppen, har bidragit med information:

Cecillia Alfredsson, Räddningsverket  
 Petra Andersson, SP Brandteknik  
 Mehrdad Arshadi, Sveriges Lantbruksuniversitet  
 Sune Bengtsson, Växjö universitet  
 Bosse Björklund, Södertörns Räddningstjänstförbund  
 Gullvi Borgström, Värmeforsk  
 Claes-Håkan Carlsson, Räddningsverket  
 Jessica Christiansen, Avfall Sverige  
 Stefan Dahlgren, Svenska Biogasföreningen och Svenska Gasföreningen  
 Nina Eskilson, Miljö- och hälsoskyddskontoret, Norrköpings kommun  
 Anna Forsberg, Energimyndigheten  
 Christer Forsgren, Stena Metall AB  
 Martin Gometz, Länsstyrelsen i Hallands län  
 Anders Hedenstedt, Avfall Sverige  
 Jan Hill, Brandskyddslaget  
 Staffan Ivarsson, Trygg-Hansa  
 Andreas Johansson, SP Energiteknik  
 Liselott Johansson, Länsstyrelsen i Hallands län  
 Per Johansson, Norrköpings Brandförsvär  
 Per Karlsson, Göteborgs Energi  
 Kjell Lager, Telge Energi  
 Lars Larsson, Lantmännen  
 Torbjörn Lestander, Pelletsplattformen, Sveriges Lantbruksuniversitet  
 Johan Nilsson, Räddningstjänsten Gislaved-Gnosjö

Martin Olsson, Värme- och Kraftföreningen  
Cecilia Petersen, Naturvårdsverket  
Sven Risberg, Energimyndigheten  
Marie Rönnbäck, SP Energiteknik  
Li Sundberg, Länsstyrelsen i Jönköpings län  
Ulf Svahn, Svenska Petroleum Institutet  
Henrik Thunman, Chalmers tekniska högskola  
Claes Tullin, SP Energiteknik  
Martin Uulas, WSP  
Evalena Wikström, Waste Refinery (SP Energiteknik)  
Hans-Erik Zetterström, Länsförsäkringar  
Håkan Örberg, Sveriges Lantbruksuniversitet  
Catarina Östlund, Naturvårdsverket

Författarna tackar samtliga personer för deras bidrag.

## Förkortningar

BTL	Biomass-to-liquid (biobränsle till vätska)
CAFS	Compressed air foam system
CECOST	Centre of Combustion Science and Technology
DME	Dimetyleter
DOAS	Differentiell Optisk AbsorbtionsSpektroskopi
EEA	European Environment Agency
EERC	Ethanol Emergency Response Coalition
ETBE	Etyl-tertiär-butyleter
FAEE	Fatty Acid Ethyl Ester (Fettsyraetyleter)
FAME	Fatty Acid Methyl Ester (Fettsyrametyleter)
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
FT	Fischer-Tropsch
HCB	Hexaklorbensen
IAFSS	International Symposium on Fire Safety Science
LIDAR	Light Detection and Ranging
LMG	Liquified Methane Gas (flytande metangas)
LNG	Liquified Natural Gas (flytande naturgas)
LRF	Lantbrukarnas riksförbund
MS	Mass-spektrometer
NICE	Nordic Innovation Centre
PAH	Polycykliska aromatiska kolväten
PBDE	Polybromerade difenyletrar
PCB	Polyklorerade bifenyler
PCDD	Polyklorerade dibenso-p-dioxiner
PCDF	Polyklorerade dibensofuraner
PiR	Pelletsindustrins Riksförbund
POP	Persistent Organic Pollutants
RDF	Refuse Derived Fuels (avfallsfraktion behandlad för förbränning)
RME	Rapsmetyleter
RVF	Svenska Renhållningsverksföreningen (numera Avfall Sverige)
SBF	Brandskyddsföreningen Sverige
SEKAB	Svensk Etanolkemi AB
SLU	Sveriges Lantbruksuniversitet
SLUP	SLU och pelletsindustrin i samverkan
SMC	Släckmedelcentralen
SPI	Svenska Petroleum Institutet
UBC	University of British Columbia
VOC	Volatile Organic Compounds (flyktiga organiska ämnen)
WPAC	Wood Pellet Association of Canada
ÖSA	Öresund Safety Advisors AB

# Innehållsförteckning

	<b>Abstract</b>	<b>3</b>
	<b>Förord</b>	<b>4</b>
	<b>Förkortningar</b>	<b>7</b>
	<b>Innehållsförteckning</b>	<b>8</b>
<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>15</b>
2.1	Mål och syfte med utredningen	15
2.2	Förändringar och trender för framtida energiproduktion och materialåtervinning	15
<b>3</b>	<b>Fasta biobränslen</b>	<b>21</b>
3.1	Flis och bark (fuktigt bränsle)	21
3.2	Träpellets (torrt bränsle)	22
3.3	Spannmål	22
3.4	Halm	22
3.5	Salix, rörfen och andra energigrödor	23
3.6	Lagringsformer	23
<b>4</b>	<b>Avfall</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Vätskebränslen</b>	<b>27</b>
5.1	Metanol	27
5.2	Etanol	28
5.3	FAME	28
5.4	Biobränslen till vätska (BTL-Biomass-to-liquid)	28
<b>6</b>	<b>Gasformiga bränslen</b>	<b>30</b>
6.1	Biogas genom rötning	30
6.2	Biobränsleförgasning	31
6.3	Vätgas	31
<b>7</b>	<b>Lagringsproblematik och brandrisker</b>	<b>32</b>
7.1	Självantändning i lager av fasta biobränslen/avfall	32
7.2	Brandsäkerhet i vätske- och gasformiga bränslen	40
<b>8</b>	<b>Incidenter och bränder</b>	<b>42</b>
8.1	Brandincidenter i fasta biobränslen och avfall	42
8.2	Brandincidenter i vätske- och gasformiga biobränslen	47
8.3	Kommentarer kring detektion, brandförlopp och släckning	48
<b>9</b>	<b>Riktlinjer</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>Summering av problemställningar</b>	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>Internationell utblick</b>	<b>57</b>



<b>12</b>	<b>Förslag till forskningsprogram</b>	<b>60</b>
12.1	Delområde 1 - Programkoordinering	60
12.2	Delområde 2 - Sammanställning av statistik över incidenter och bränder	61
12.3	Delområde 3 - Definiering och karaktärisering av olika typer av avfall och biobränslen	62
12.4	Delområde 4 - Lagring	63
12.5	Delområde 5 - Detektion	64
12.6	Delområde 6 - Emissioner från bränder i lager och annan miljöpåverkan	65
12.7	Delområde 7 - Släckning	67
12.8	Delområde 8 - Modellering	68
12.9	Delområde 9 - Storskaliga brandförsök	69
12.10	Delområde 10 - Kostnad/nytta och riskanalyser	70
12.11	Delområde 11 - Rekommendationer och riktlinjer	70
12.12	Delområde 12 - Rapportering, resultatspridning och utbildningsmaterial	71
<b>13</b>	<b>Forskningsaktörer</b>	<b>73</b>
<b>14</b>	<b>Referenser</b>	<b>75</b>



# 1 Sammanfattning

Denna rapport belyser brandriskproblematiken vid hantering och lagring av olika typer av biobränslen, verksamhetsavfall eller andra typer av mellanlager i avvaktan på uppbyggnad. Rapporten ger en översikt av olika typer av biobränslen, framtida trender, olika lagringssätt, erfarenheter från inträffade bränder samt tidigare/pågående forskningsarbeten inom problemområdet. Med detta som grund kompletterat med ett stort antal kontakter med olika intressenter har ett förslag till ett större samlat forskningsprogram utarbetats.

## **Hantering och lagring av fasta biobränslen och avfall kommer att öka dramatiskt**

Bakgrunden är att klimatförändringar och en ökad medvetenhet om ett överutnyttjande av jordens ändliga resurser sätter politiker, industri och allmänhet under stor press att sträva mot ett resurssnålt samhälle som nyttjar förnyelsebar energi och maximal resursåtervinning. En globalt ökad efterfrågan på energi samt ett importberoende av olja som bedöms som en politisk och ekonomisk riskfaktor har också ökat trycket för omställningar i energisystemet. Detta har redan lett till stora förändringar i samhället och fortsatta förändringar är att vänta.

På energisidan innebär det en övergång från fossila bränslen till förnyelsebara energikällor och användningen av olika former av bioenergi ökar kraftigt. För att optimera resursanvändningen i samhället ställs också stora krav på återvinning. Genom Deponeringsdirektivet (1999/31/EC) har det kommit större krav på sortering av avfallet eftersom hushållsavfall och annat organiskt avfall inte längre får deponeras. Detta har lett till en mycket omfattande verksamhet med sortering, insamling och uppbyggnad av avfall i olika specialbyggda anläggningar för senare användning som ny råvara eller i vissa fall bränsle/energi.

Totalt sett innebär detta att det byggs upp mycket stora produktions- och hanteringsanläggningar med stora lager. Från industrisida är oftast hantering och lagring fokuserad på maximal effektivitet. Biobränslen kan hanteras och lagras utomhus när det gäller fuktiga bränslen (sågspån, träflis, halm, etc.) eller inomhus i stora planlager eller i stora siloanläggningar när det gäller torra bränslen (t.ex. träpulver, pellets och briketter). Avfall som skall användas för energiåtervinning lagras normalt utomhus och eftersom avfallet produceras relativt jämnt under året medan behovet av värme och energi är störst under vinterhalvåret så kan det bildas mycket stora lager. Lagringen sker ofta i stora stackar, antingen löst (kompakterat eller icke kompakterat) eller i form av staplade balar (runda eller fyrkantiga). Vidare förekommer kompaktering och inplastning i långa ”limpor” och i vissa fall kan avfall pelleteras.

Den successiva övergången från fossila bränslen till olika typer av biobränslen/avfallsbränslen kommer att leda till betydligt mer omfattande hantering och troligen ännu större lager. Värmevärde och bulkdensitet för de flesta fraktioner är dessutom lägre än för olja vilket leder till en ytterligare ökning av hanterings- och lagringsvolymerna för en given energimängd. Eftersom materialet skall användas som ett högvärdigt bränsle ställs också ökade krav på lagringstekniken. Sannolikt kommer det också att finnas starka önskemål att lagren skall kunna placeras nära eller på ett rimligt avstånd från bebyggelse, t.ex. i anslutning till en industri eller ett kraftvärmeverk för att minimera transportbehovet.

## **Kunskap behövs för att bedöma de nya riskerna och vidta kostnadseffektiva åtgärder**

Det finns således ett stort behov av att denna utveckling åtföljs av en relevant riskvärdering och väl avvägda riskreducerande åtgärder så att inte utvecklingen leder till

stora kostnader i form av direkta och indirekta skador från brand, explosioner, etc. Tyvärr är kunskapsbristen ett stort problem i dagsläget och till stor del saknas generella råd och riktlinjer.

Den kanske vanligaste brandorsaken i stora bulklager är självantändning. Självuppvärmning erhålls från bl.a. mikrobiell aktivitet, kemisk oxidation samt fysikaliska processer och kan leda till självantändning redan efter några få dagar, men mer vanligt efter några månader eller längre, beroende på omständigheterna. I dagsläget är det mycket svårt att avgöra vad som är en normal temperaturhöjning respektive en "farlig" temperaturhöjning som leder till självantändning. Även andra brandorsaker kan naturligtvis förekomma i form av olika externa antändningskällor (brand i lastmaskiner, åska, gräsbrand, anlagd brand, etc.) som också måste beaktas.

Om brand uppstår erhålls ofta stora problem med emissioner (rök, lukt, giftiga gaser, släckvatten) till omgivningen och det ställs mycket stora krav på den lokala räddningstjänsten som i dagsläget inte är dimensionerad och utrustad för denna typ av bränder. Räddningstjänsterna kan genom ökad kunskap ges en rimlig chans att hantera denna typ av brandscenarier genom utbildning, anskaffning av relevant utrustning och tillämpning av rätt taktik. En aspekt som är mycket viktig att beakta och som också framkommer i flera av rapporterna från inträffade bränder är arbetsmiljöaspekterna i samband med en släckinsats.

För anläggningsägarna handlar det om att om möjligt redan vid planering och byggnation vidta lämpliga riskreducerande åtgärder så att bränder i möjligaste mån undviks eller begränsas i omfattning. Lagringssättet har naturligtvis stor påverkan på riskerna och här finns många frågeställningar som det är viktigt att industrin får ett snabbt svar på: Hur stora högar kan man lägga upp av olika material utan risk? Vad är minsta säkerhetsavstånd mellan lagringshögar? Är planlagerhantering säkrare än silohantering? Skall biobränslen respektive avfall kompakteras eller inte? Minskar riskerna vid lagring av utsorterade material? Hur säkert är lagring av balat material? Vilken är skillnaden mellan olika typer av balar?, etc.

Eftersom biobränslen och olika avfallsfraktioner hanteras och lagras i stora mängder i olika industriella anläggningar (t.ex. hos biobränsletillverkare, anläggningar för avfallssortering och upparbetning, kraftvärmeverk, industrin) så finns det en stor risk att en begynnande brand i bränslet snabbt kan sprida sig i anläggningen via transportörer, elevatorer, etc. och på så sätt åstadkomma mycket stora skador. Även brand i utomhuslager kan på olika sätt (gnistor, strålningsvärme, etc.) sprida sig till angränsande byggnader och anläggningar. Även här krävs kunskaper kring antändnings- och brandförlopp för att vidta rätt säkerhetsåtgärder

Slutligen kan man inte bortse från de ekonomiska aspekter som en brand i ett stort bränslelager medför. Dels kan de direkta kostnaderna för det förstörda bränslet, skadade anläggningsdelar, etc. respektive de direkta räddningstjänstinsatserna naturligtvis vara mycket omfattande men det uppkommer också en mängd indirekta kostnader som i många fall aldrig kommer med i en slutlig summering av den totala skadekostnaden. Detta kan vara stilleståndskostnader, både i den drabbade anläggningen men kanske också för omgivande verksamheter som måste stängas på grund av rök, etc. Boende i angränsande bostadsområden kan bli berörda och inte minst kan det uppstå långsiktiga kostnader på grund av föroreningar till luft, mark och vatten. Inträffar en brand under den kalla årstiden och en kritisk anläggningsdel i ett kraftverk slås ut så kan det också drabba tredje man högst påtagligt genom att t.ex. fjärrvärmens slås ut.

### **Kunskapsbristen kring vätske- och gasformiga biobränslen mer väldefinierad**

För att lyckas med att ersätta oljebaserade bränslen med förnybara bränslen krävs, i varje fall på kort sikt, att man kan tillverka vätskeformiga biobränslen som kan utnyttjas som drivmedel inom transportsektorn. I dagsläget är det framförallt användning av etanol och FAME (dieselbränsle från vegetabiliska oljor) som dominerar. Sannolikt kommer även gasformiga bränslen att bli viktiga inom drivmedelssidan, då främst i form av biogas. Den vanligaste framställningsmetoden för biogas är genom en rötningsprocess av organiskt material (t.ex. matavfall) i en syrefri miljö men den kan även framställas genom termisk förgasning. Råvaran kan utgöras både av fasta biobränslen eller olika typer av avfall. Även vätgas är ett intressant framtida bränsle men användningen är sannolikt förhållandevis begränsad på kort sikt.

Brandproblematiken med bränslen i vätske- respektive gasform skiljer sig från fasta biobränslen och fast avfall på flera fundamentala sätt. Hanteringen av vätskor sker till största delen i slutna system och de stora volymerna lagras antingen i cisterner eller i bergrum medan gasformiga bränslen hanteras i helt slutna system. För brandfarliga varor, som är den övergripande benämningen, finns definierade "riskparametrar" såsom flampunkt, termisk tändpunkt, brännbarhetsområde, explosionsgrupp, etc. som gör att man kan kategorisera olika produkter ur risk- och hanteringssynpunkt. En omfattande lagstiftning reglerar hela området och det finns dessutom mycket råd och riktlinjer som baseras på långvarig erfarenhet (och naturligtvis många bränder). "Riskparametrarna" ingår i lagstiftningen och dessa utgör också grund för de skyddsåtgärder som krävs.

De nya risker som kan uppträda i och med introduktionen av vätskeformiga biobränslen är framförallt att dessa kan ha andra egenskaper jämfört med existerande bränslen. Ett exempel är att många av de nya bränslena, t.ex. etanol, är vattenblandbara (polära) vilket gör att man måste ha speciella, s.k. alkoholbeständiga skumsläckmedel och speciell påföringstaktik för att inte skummet skall brytas ner omedelbart av bränslet. När det gäller gasformiga biobränslen så innebär dessa inte några direkta nya brandproblem förutom att nya risker kan skapas i nya transport- och distributionssystem på grund av de betydligt större hanteringsvolymerna.

### **Föreslaget forskningsprogram kommer att ge konkreta svar till berörda intressenter**

Utredningsarbetet och denna rapport visar tydligt på den stora omställning som har inletts för att ersätta fossila bränslen med olika typer av bioenergi. För att klara detta kommer det att krävas många olika energialternativ och tekniska lösningar. Inom brandsäkerhetsområdet kan man notera följande huvudsakliga kunskapsbrister:

- Det saknas "riskparametrar" för de olika nya fasta biobränslena och avfall, motsvarande dem som finns för traditionella bränslen i vätske- och gasform. En av målsättningarna med föreslagna insatser är att ta fram mer kunskap kring olika bränsletyper och deras karaktäristiska beteenden med avseende på brand och därmed på sikt också kunna ta fram specifika parametrar som kan användas vid riskbedömningar samt framtagande av riktlinjer och rekommendationer för lagring, förebyggande insatser, släckmetoder, etc.
- Statistik över lagring och bränder samt detaljinformation från olika bränder saknas. För att lära av de erfarenheter som vunnits hittills genom inträffade bränder och incidenter kommer en viktig del vara att ta fram och analysera denna information.
- Nya bränslen och lagringsmetoder (t.ex. balning) ger förutsättningar för nya och eventuellt större risker vad gäller antändning och brandspridning. Här krävs ny kunskap för att kunna utföra korrekta riskbedömningar.

- Inträffade bränder har visat att släckning är ett mycket stort problem. Här behövs mer kunskap för att kunna hjälpa både anläggningsägare och räddningstjänster att hantera en uppkommen brandsituation och detta problem får också en stor tyngd i föreslaget FoU-program. Delvis kan det handla om att utveckla nya släcktaktiker med målsättningen att både reducera den direkta skadan, upprätthålla en hög bränslekvalitet på materialet som ej varit utsatt för direkt brand samt minimera påverkan på människor och miljö.
- Bränder i lager av biobränslen och avfall ger upphov till stora emissioner som kan ge omfattande konsekvenser för miljö och samhälle. Mer kunskap behövs för att kunna kvantifiera mängderna och dess konsekvenser.

Sammantaget har denna förstudie lett fram till ett förslag på forskningsprogram som förutom projektkoordination redovisar behov av insatser inom följande områden: sammanställning av statistik, karaktärisering av avfall och biobränslen, lagringsproblematik, detektion, emissioner, släckning, modellering, storskaliga brandförsök, kostnad/nytta och riskanalyser, rekommendationer och riktlinjer samt resultatspridning och utbildning. Forskningsprogrammet föreslås ha en varaktighet på 5 år.

## 2 Bakgrund

Klimatförändringar och en ökad medvetenhet om ett överutnyttjande av jordens ändliga resurser sätter politiker, industri och allmänhet under stor press att sträva mot ett resurssnålt samhälle som nyttjar förnyelsebar energi och maximal resursåtervinning. En globalt ökad efterfrågan på energi samt ett importberoende av olja som bedöms som en politisk och ekonomisk riskfaktor har också ökat trycket för omställningar i energisystemet. Detta har redan lett till stora förändringar i samhället och fortsatta förändringar är att vänta. På energisidan innebär det en övergång från fossila bränslen till olika typer av förnyelsebara energikällor och användningen av olika former av bioenergi ökar kraftigt. För att optimera resursanvändningen i samhället ställs stora krav på återvinning. Detta innebär en omfattande sortering av avfall för att detta skall kunna nyttjas, antingen som en råvaruresurs eller för energiproduktion.

Denna utveckling har lett till att det under de senare åren har byggts upp produktionssystem för olika typer av biobränslen samt mellanlager och logistiska system för att hantera avfall som skall återvinnas eller förbrännas.

Om inte denna utveckling åtföljs av en relevant riskvärdering och riskreducerande åtgärder finns det stor risk att man ”bygger fast sig” i ett system som kan orsaka stora kostnader i form av direkta och indirekta skador från brand, explosioner, etc. på grund av avsaknad av relevant kunskap. Om dessa aspekter tas med i ett tidigt skede, t.ex. redan vid lokalisering av en anläggning, i samband med den övergripande planläggningen och senare i detaljutformningen av olika system, finns förutsättningen att många mycket viktiga åtgärder ur risksynpunkt kan åstadkommas till förhållandevis låga kostnader.

### 2.1 Mål och syfte med utredningen

Denna förstudie syftar till att belysa brandproblematiken kring hantering och lagring av olika typer av biobränslen och verksamhetsavfall, inklusive olika typer av mellanlager i avvaktan på upparbetning. Bland biobränslen kommer, utöver fasta bränslen, även vätskor och gasformiga bränslen att inkluderas, men de senare kommer att analyseras mer ytligt än de fasta bränslena. Projektet syftar till att kartlägga och sammanställa statistik och erfarenheter från inträffade bränder samt tidigare/pågående forskningsarbeten kring brandrisker, brandförlopp, detektion och släckning.

Underlaget skall utgöra grund för planering och inriktning av ett större samlat forskningsprogram med målsättning att ta fram kunskap som är direkt tillämpbar för berörda intressenter. I förstudien kommer vi att grovt skissa på detta forskningsprogram.

### 2.2 Förändringar och trender för framtida energiproduktion och materialåtervinning

#### 2.2.1 Politiska beslut och drivkrafter

Klimatförändringarna är ett faktum som fått stor betydelse på politisk nivå och som medfört att det behövs en bred och långsiktig ansats i politiken.

Kyotoprotokollet trädde i kraft den 16 februari 2005. I september 2007 hade 175 länder ratificerat protokollet. Enligt Kyotoprotokollet ska industriländernas sammanlagda utsläpp av växthusgaser minska med minst 5 % från 1990-års nivå under den första

åtagandeperioden 2008-2012. EU-länderna har kommit överens om en intern s.k. bördesfördelning mellan medlemsstaterna.

EG-kommissionen presenterade den 10 januari 2007 en strategisk energiöversyn. De föreslår bl.a. att EU skall minska sina växthusgaser med minst 20 % fram till 2020, jämfört med 1990. För förnybar energi är målet att öka andelen till 20 % till år 2020 och transportsektorn ska öka andelen biodrivmedel till 10 % år 2020.

Regeringen tillsatte i december 2005 en kommission (Kommissionen mot oljeberoende) som skulle utarbeta ett övergripande program för att minska Sveriges oljeberoende. Förutom klimatförändringarna fanns ytterligare flera starka argument för att minska Sveriges oljeberoende, bl.a. att oljepriset påverkar Sveriges tillväxt och sysselsättning och att oljan alltjämt spelar en stor roll för fred och säkerhet i hela världen. Man konstaterade också att det finns en stor potential för svenska råvaror som alternativ till oljan.

I den rapport som Kommissionen mot oljeberoende presenterade 2006 [1] föreslås en rad långtgående, konkreta åtgärder som till år 2020 kan bryta vårt oljeberoende och påtagligt minska användningen av oljeprodukter. Målen är följande:

- Svenska samhället bör i sin helhet genom energieffektivisering kunna minska energianvändningen med 20 % till 2020.
- Vägtransporterna, inkl transporter inom jord, skog, fiske, byggande, skall genom effektivisering och nya bränslen minska oljeanvändningen med 40-50 %
- Uppvärmning av bostäder och lokaler skall i princip ske helt utan olja
- Industrin skall minska sin oljeanvändning med 25-40 %.

På avfallssidan har behovet av lagring av avfallsbränslen ökat och förändrats kraftigt under de senaste 10 åren sedan EUs avfallsdirektiv infördes (EU-Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 (EU-Council, 1999)). Direktivet innebär i princip ett förbud mot att deponera avfall. Avfallet skall antingen återvinnas som en råvaruresurs eller som energi. Sedan 2002 är det förbjudet att deponera utsorterat brännbart avfall. 2005 utökades förbudet till att omfatta allt organiskt avfall med vissa undantag. Deponeringsförbuden finns i 9–10 §§ förordningen om deponering av avfall (2001:512). Naturvårdsverket har förtydligat reglerna i våra föreskrifter NFS 2004:4 och allmänna råd om hantering av brännbart avfall och organiskt avfall.

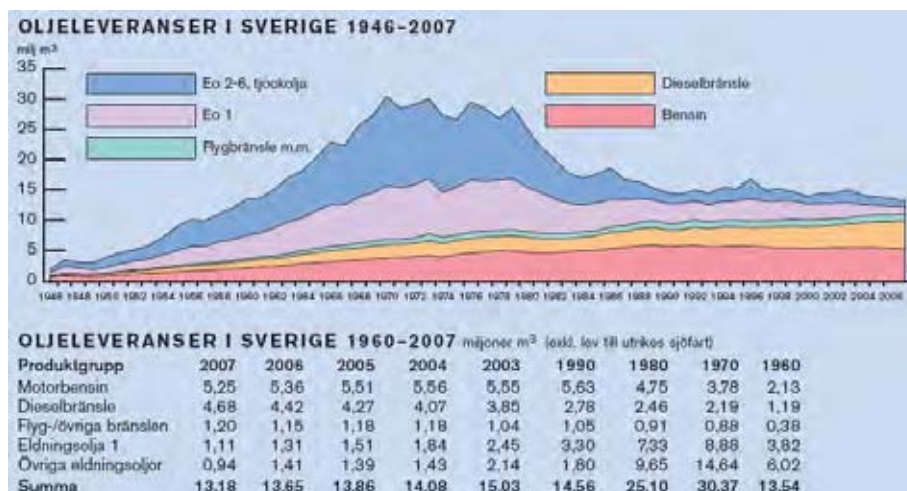
### **2.2.2 Energiförsörjning och framtida trender**

Ser man till den totala energiförbrukningen i Sverige så användes under 2005 totalt 89 TWh för uppvärmning av bostäder och lokaler, inklusive varmvatten [2]. Av dessa användes 37 TWh (42 %) i småhus, 28 TWh (32 %) i flerbostadshus och 23 TWh (26 %) i kontors- och affärslokaler samt offentliga lokaler. I småhus är det vanligt med kombinationer med direktverkande el. År 2005 hade ungefär 40 % av småhusen ett uppvärmningssystem med någon typ av kombination med el. Energianvändningen i transportsektorn uppgick 2006 till ungefär 126 TWh [2], av vilka 93 TWh var inrikestransporter. Av inrikestransporterna utgjorde bensin och diesel 89 %. År 1980 stod olja för 90 % av den tillförda energin i fjärrvärmeverken [2].

Ur klimatsynpunkt är energiomställningen fokuserad på att reducera användningen av fossila bränslen, d.v.s. kol och oljebaserade bränslen. För svensk del innebar industrialiseringen och urbaniseringen under 1900-talet ett kraftigt ökat energibehov och en stor del av denna energi kom från olja. Svenska Petroleuminstitutet redovisar årligen en sammanställning av oljeleveranserna till Sverige som sträcker sig tillbaka till 1946. Som framgår av Figur 1 så ökade oljeförbrukningen stadigt fram till början av 1970-talet för att därefter plana ut och sedan minska under framförallt 1980-talet. Som framgår av



statistiken var det främst användningen av eldningsolja som minskade medan förbrukningen av drivmedel legat kvar eller ökat något.



Figur 1 Sammanställning av oljeleveranser i Sverige [3].

Som tidigare nämnts har Oljekommissionen som mål att vi till år 2020 skall bryta vårt oljeberoende och påtagligt minska användningen av oljeprodukter. För att uppnå detta mål krävs enligt rapporten bl.a. att personbilsflottan energieffektiviseras. Även behovet av fysiskt resande skall minskas genom nyttjande av modern teknologi som resulterar i möjlighet till distansarbete och resfria möten. Staten skall medverka till storskalig produktion av nya, inhemska biodrivmedel från skog och åkermark. Kollektivtrafiken skall ges ökade resurser för att detta skall bli ett snabbare, bekvämare och mer prisvärt alternativ än idag. Detta leder till minskade utsläpp av växthusgaser men också till en mer tryggad energiförsörjning, förstärkning av landets ekonomi och en tillväxt för svenskt näringsliv som en ledande nation för hållbar utveckling.

Man konstaterar att arbetet i sig inte är någon nyhet, oljeanvändningen för uppvärmning av lokaler har minskat med 70 % under de senaste 30 åren. Detta har skett genom ersättning av olja mot biobränsleledad fjärrvärme, direktverkande el, eldrivna värmepumpar samt inte minst genom förbättrad isolering av byggnader. Målet blir även nu att i framtiden ersätta användningen av direktverkande el med uppvärmning med biobränsle.

I rapporten ges konkreta exempel på hur omställning till biobränslen kan ske och möjliga energieffektiviseringar inom olika områden. Utredningen visar med tydlighet att det inte handlar om en alternativ lösning utan det krävs många olika tekniker och lösningar för att hitta lämpliga alternativ till olika typer av energiförbrukningar. Det är också uppenbart att tekniken för att nå uppsatta mål inte finns idag och man har också grovt identifierat behovet av ökad forskning inom olika områden för att målen skall kunna förverkligas.

En viktig aspekt i detta sammanhang är att bioenergi utnyttjas så effektivt som möjligt beroende på användningsområde och att produktionen sker i så stor harmoni som möjligt med livsmedelsproduktionen och det existerade skogsbruket samt samhällets övriga allmänna mål, bl.a. biologisk mångfald, naturvård och friluftsliv i skogs- och odlingslandskapet.

I rapporten redovisas en sammanställning av dagens bioenergipotential samt prognoser för 2020 respektive 2050, se Tabell 1. Man nämner att biobränslemarknaden var ca 40 TWh på 1970-talet och uppgår idag alltså till ca 110 TWh och kommer alltså att öka kraftigt i framtiden. I sammanställningen ingår också energitillskottet från energiåtervinning av avfall.

**Tabell 1 Sammanställning av tillgänglig bioenergipotential respektive användningsområde för 2005 samt prognos för 2020 respektive 2050 [1].**

<b>Biobränslen, tillförsel och användning* [TWh]</b>			
*inklusive import/exportmöjlighet inom respektive sektor			
	2005	2020	2050
<b>Tillförsel brutto</b>			
Brännved, grot, stubbar	20	40	52
Industrins biprodukter för avsalu	16	22	35
Industrins biprodukter för intern anv	19	20	25
Avlutar mm	44	45	45
Avfall, tallbäck, torv, rivningsvirke, mm	8	15	31
Åkerbränslen (inkl restprodukter och energived)	1	10	32
Övrigt, mm		2	8
	108	154	228
<b>Användning brutto exklusive omvandlingsförluster</b>			
Bostäder	11	16	20
Fjärrvärme	20	26	36
Elproduktion	18	22	34
Skogsindustrin internt inkl avlutar mm	57	59	65
Transporter (gas, flytande, el till plugg-in-hybrid etc)	2	26	63
Övrigt, mm	1	5	10
	108	154	228

### Användning av bioenergi i dagsläget

Energimyndigheten ger varje år ut en sammanställning av energianvändningen i Sverige (notera att angivna siffror inte stämmer helt överens med siffrorna i Tabell 1 vilket sannolikt beror på olika definitioner). Enligt sammanställningen för 2006 har användningen av bioenergi ökat under de senare åren från 10 % av den totala energianvändningen 1980 till 19 % 2006 [4]. Den största delen av denna ökning har skett inom industrin och fjärrvärmeverken, men även inom bostadssektorn ökar bioenergianvändningen. Totalt användes under 2006 biobränslen, torv<sup>1</sup>, avfall mm motsvarande 116 TWh [4]; 53 TWh användes inom industrin, 14 TWh användes inom sektorn bostäder och service (exklusive fjärrvärme), 36 TWh för fjärrvärmeproduktion, samt drygt 2 TWh för transporter [4]. Den totala energitillförseln i Sverige var 624 TWh under 2006. Mellan 1980 och 2006 ökade användningen av biobränslen, torv, mm med 142 % (från 48 TWh till 116 TWh).

Mellan 1985 och 2006 ökade användningen av biobränslen, torv, mm inom fjärrvärmeverk med nästan 530 % (från 6,7 TWh till 42 TWh). Av dessa är 35,6 TWh för värmeproduktion och 6,1 TWh för elproduktion. För fjärrvärmeproduktion var 2006 andelen biobränslen 65 %. Enligt Energimyndigheten är siffrorna preliminära och mindre justeringar kan bli aktuella för de slutliga siffrorna.

Energianvändning av förnybara drivmedel har också ökat kraftigt under de senare åren. Användningen av etanol har ökat med över 1000 % (från 0.16 TWh år 2000 till 1.89 TWh 2006). Nästan lika stor relativ ökning (ungefär 950 %) har det varit i användningen av

<sup>1</sup> Energimyndigheten har slagit samman torv och andra biobränslen i sin statistik. Dessa går alltså inte alltid att separera. Torv är emellertid inte inkluderat i övrigt i denna rapport. Ibland redovisas torv som ett långsamt förnybart bränsle (Herland, E., "LRFs energiscenrio till år 2020: Förnybar energi från jord- och skogsbruket ger nya affärer och bättre miljö", LRF, Andra remissversionen, 2005). Sveriges torvtillgångar är mycket stora.

FAME (från 0.06 TWh 2000 till 0.60 TWh 2006). Under samma period har användningen av biogas som drivmedel ökat med 360 % (från 0.05 TWh 2000 till 0.23 TWh 2006) [4].

### **Hantering och energiåtervinning av avfall**

Genom Deponeringsdirektivet (1999/31/EC) har det kommit större krav på sortering av avfallet eftersom hushållsavfall och annat organiskt avfall inte längre får deponeras. Det finns flera anledningar till detta. Resursekonomiskt är det ohållbart i längden att deponera avfall som kan användas till annat. Det organiska avfallet är även problematiskt eftersom det ger emissioner av metan till atmosfären och orsakar sättningar på deponin. I takt med att förbättrad rökgasreningsteknik har utvecklats har också intresset för förbränning av avfallet och användandet av dess energiinnehåll för uppvärmning i vårt samhälle eller för produktion av elektricitet ökat.

Ända sedan 1970-talet har avfall använts i fjärrvärmeproduktionen. Mellan åren 1990 och 2006 fördubblades användning, från motsvarande 4 TWh till drygt 8 TWh [2]. Ökningen förväntas fortsätta och i Oljekommissionens utredning förutspås ett energitillskott på 15 TWh respektive 31 TWh år 2020 respektive år 2050.

Lagring av bränsle behövs främst eftersom behovet av värme under sommarperioden är litet och utgör under juli-augusti endast en liten del av behovet under januari-februari. 1990 förbrändes 55 vikt-% av hushållsavfallet och endast 5 % av industriavfallet vilket motsvarade ca 30 % av avfallets gemensamma energipotential [5]. Under 2004 var den totala mängden avfall från hushållen i Sverige drygt 4,8 miljoner ton vilket innebär ca 530 kg skräp per person och år.

Det finns cirka 30 anläggningar i Sverige för förbränning av hushållsavfall. Mängden avfall som går till förbränning har ökat under senare år, bland annat beroende på att det nu är förbjudet att deponera brännbart och organiskt avfall. Enligt Avfall Sveriges (tidigare Svenska Renhållningsverksföreningen, RVF) statistik förbrände man år 2006 ungefär 2,1 miljoner ton hushållsavfall. I samma anläggningar brändes också ungefär 2 miljoner ton avfall av annan typ. Den energi som alstras vid förbränning blir värme och i viss mån el. Vid anläggningarna som förbränner hushållsavfall utvann man under 2006 11,5 TWh energi, varav 10,3 TWh värme och 1,2 TWh el. (Avfall Sverige). Värmen från förbränning av avfall täcker ca 20 procent av det totala fjärrvärmebehovet i Sverige (<http://www.naturvardsverket.se/sv/Produkter-och-avfall/Avfall/Hantering-och-behandling-av-avfall/Avfallsforbranning/Siffror-om-avfallsforbranning-i-Sverige/>)

Ett av Sveriges miljömål är att senast år 2010 skall minst 50 % av hushållsavfallet återvinnas genom materialåtervinning, inklusive biologisk behandling [6]. Materialåtervinningen (inklusive biologisk behandling) har ökat under de senaste åren och var 2007 uppe i 48,7 %. Under samma år behandlades drygt 46 % av hushållsavfallet genom förbränning och 4 % deponerades (källa: Avfall Sverige, "Avfallstrenden 2008"). Mängden svenskt hushållsavfall som förbränns har legat relativt konstant (2,1–2,2 miljoner ton) de senaste tre åren, medan förbränningen av övrigt avfall (främst industriavfall och importerat hushållsavfall) ökat. Totalt sett ökar avfallsmängderna. Mellan åren 1998 och 2007 ökade hushållsavfallet med 24 %. Under samma period minskade deponeringen av hushållsavfall med ungefär 82 %.

I slutet av 1970-talet fick man större insikt i rökgas-emissionernas negativa inverkan på miljön vilket resulterade i högre reningskrav. Därmed började man installera mer avancerad rökgasrening och i slutet på 1980-talet fanns 21 förbränningsanläggningar för avfall i Sverige. Vid denna tidpunkt var försurningsdebatten och debatten om skogsskador och skogsdöd i full gång och beroende på den allmänna opinionen ansågs det då orealistiskt att fler förbränningsanläggningar skulle uppföras. Under 2000-talet har dock förhållandena förändrats och 8 nya anläggningar har tagits i bruk, främst beroende

på förbättrad rökgasrenings- och förbränningsteknik, men också genom en utökad sortering och utseparering av farligt avfall. Det har dessutom framkommit att skogsdöden kan ha haft helt andra, naturliga orsaker. Under senare år har också förbränningskapaciteten ökat hos gamla anläggningar och anläggningarna byggs numera vanligen också för produktion av elektricitet [5].

En viktig konsekvens av avfallsdirektivet är också en ökad materialåtervinning. Detta har lett till en mycket omfattande verksamhet med sortering, insamling, och upparbetning i olika specialbyggda anläggningar för senare användning som ny råvara eller i vissa fall bränsle/energi.

### **Framtida biobränslen**

Såsom nämns i Oljekommissionens rapport så handlar inte energiomställningen om att ta fram en alternativ lösning utan det krävs många olika tekniker och lösningar för att hitta lämpliga alternativ till olika typer av energiförbrukningar (t.ex. fjärrvärme eller drivmedel till fordon). I vissa fall saknas dessutom tekniken i dagsläget varför forskning behövs för att kunna utarbeta nya, i vissa fall mer energieffektiva, alternativa bränslen.

Totalt sett innebär detta att det byggs upp mycket stora produktions- och hanteringsanläggningar med stora lager av både råvara och färdig produkt. Från industrins sida är oftast hantering och lagring fokuserad på maximal effektivitet. Biobränslen hanteras primärt inomhus i stora planlager eller i stora siloanläggningar. Avfall för energiåtervinning lagras tills största delen utomhus men lagringsformen kan variera.

De biobränslealternativ som står till buds i dagsläget är många och i kapitel 3-6 ges en översikt av dessa olika alternativ grupperat som fasta biobränslen, avfall, vätskeformiga bränslen samt gasformiga bränslen. Kapitlen innehåller också beskrivningar av de tillverkningsprocesser samt hanterings- och lagringsformer som förekommer för respektive grupp. Lagringsproblematik och brandrisker för de olika bränsletyperna beskrivs därefter samlat i kapitel 7 och i kapitel 8 ges exempel på inträffade brandincidenter.

Hur stor den verkliga biobränslepotentialen är beror mycket på prisutvecklingen. Det har visats i siffror av EEA (European Environment Agency), där totala potentialen 2020 skiljer med flera hundra procent beroende på prisutvecklingen [7]. Enligt SOU 2007:36 uppskattas att avsättningen av biobränslen från jordbruket kan öka med 20 TWh inom ett par decennier [8].

### 3 Fasta biobränslen

Fasta biobränslen kan komma från skogsbruket, men även odlas på jordbruksmark. I dagsläget är bränsle från skogsbruket dominerande och här skiljer man på några olika typer beroende på råvara.

**Trädbränsle** definieras som ”bränsle med skogligt ursprung bestående av ved, bark, barr och/eller löv. Trädbränslet innefattar alla biobränslen där träd eller delar av träd är utgångsmaterial och där ingen kemisk omvandling av materialet har skett. Bränslet kan ha passerat annan användning” [9].

**Skogsbränslen** är en benämning som oftast har används i betydelsen grenar, toppar från gallrings- och slutavverkning, stubbar, virke utan industriell användning (vanligen olika slag av lövträd) övrigt, t.ex. kvarlämnade träd vid ordinarie avverkningar, röjningsvirke mm, bark från industrivirke, flis som biprodukt från skogsindustri, spån som biprodukter från sågverk och hyvlerier, övriga trädbränslen såsom återanvändningsvirke, t.ex. rivningsvirke. Definitionen bör även innefatta de industriella biprodukterna (exklusive lutar) som används som bränsle [9].

Dessa olika typer av råvaror kan sedan utnyttjas i olika former och en grov uppdelning kan göras i torra respektive fuktiga bränslen. Till den förstnämnda hör pulver, pellets och briketter där råvaran processas genom torkning, malning samt efterföljande komprimering till lämplig form. Till den sistnämnda gruppen hör träflis, halm, etc. som förbränns utan vidare behandling.

År 2004 uppskattade SLU att tillgången på trädbränsle (exklusive lutar) skulle kunna ökas från 55 TWh då till ca 94 TWh [10]. Vid samma tidpunkt uppskattade Svebio potentialen till 135 TWh (på 20 till 30 års sikt). Den största skillnaden ligger i potentialen för avverkningsrester, som alltså inkluderas i benämningen trädbränsle i detta fall.

#### 3.1 Flis och bark (fuktigt bränsle)

Flis kommer till stor del från grenar, toppar och annan röjningsved som ej lämpar sig för timmer- eller massavedsproduktion. Materialet samlas ihop på kalavverkningsområden under våren och sommaren och läggs i stora högar för att torka. För att skydda mot nederbörd täcks högen oftast med grovt väderbeständigt papper. Under eldningssäsong flisas materialet på plats ner i containrar som därefter fraktas direkt till mottagaren, vanligtvis kraftvärmeverk.

Flis kan även härstamma från utsorterat träavfall på olika avfallsanläggningar och benämns då returflis. För att få en rationell hantering lagras oftast virkesavfallet i stora högar och när högen nått en viss omfattning flisas materialet upp och läggs då upp i en ny hög ofta i direkt anslutning till högen med virkesavfall.

Inom trä- och pappersindustrin används flis och bark som bränsle för den egna produktionen och här kan lagringen omfatta mycket stora stackar.

Import av framförallt returflis sker även med båt från framförallt de angränsade Östersjöländerna.

### 3.2 Träpellets (torrt bränsle)

Träpellets har blivit det dominerande bibränslet under senare år och en bidragande orsak är sannolikt att pelletsformen gör bränslet mer homogent och lätthanterligt och förbränningssystem har utvecklats både för småskalig användning i villapannor och för storskaliga industriella system för värme och kraftproduktion. Under 2006 användes 1,7 miljoner ton träpellets (motsvarande ungefär 8 TWh) [2]. Det utgör mer än 1 % av den totala energitillförseln. Bara mellan 2005 och 2006 ökade leveranserna av pellets till den svenska marknaden med 14 %. Det finns idag inom Pelletsindustrins Riksförbund (PiR) 15 företag som pelleterar i fabriker på 22 platser i Sverige. Fram till slutet av 2010 pågår forskningsprogrammet ”Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri”, som i dagligt tal kallas Pelletsplattformen, och är ett samarbete mellan pelletsindustrin (via PiR), teknikleverantörer och forskningen (via SLU Biomassateknologi och kemi).

Dessutom sker en betydande import via båt, både från angränsande länder runt Östersjön och från Kanada, för användning i framförallt i kraftvärmeverk.

Utgångsmaterialet till träpellets är vanligtvis sågspån från sågverksindustrin som transporteras till pelletsfabriken. I tillverkningsprocessen torkas spånet varefter det mals och siktas för att få en bestämd fraktion. Det finfördelade materialet pressas därefter till pellets för att sedan kylas innan det matas ut i någon form av lager. Briketter tillverkas på samma sätt men pressas alltså till större block. Vid träpulvertillverkning sker ingen pressning och materialet är något mer finmalet än vid pelletstillverkning.

### 3.3 Spannmål

Spannmål (vete) används framförallt för etanolframställning. Det finns en stor produktionsanläggning i Norrköping där Lantmännen förbrukar ca 150 000 ton årligen. Under 2008 kommer Lantmännen att starta upp ytterligare en etanolfabrik i Norrköping och då beräknas spannmålsförbrukningen uppgå till totalt ca 500 000 ton. Utbytet är ca 1 liter etanol per 2,6 kg vete.

Jordbruksverket bedömer att totalt 20 000–30 000 ton spannmål används som direkt bränsle idag (t.ex. för att värma lantbrukets bostäder) [11]. Detta motsvarar en areal mellan 5 000 ha och 10 000 ha. Spannmål som bränsle bedöms av LRF ha en potential på ca 1 TWh/år.

Havre betingade under ett antal år ett lågt pris och blev då populärt som bränsle. Havre kan eldas småskaligt i modifierade pelletbrännare eller i större anläggningar på rost eller i fluidicerad bädd. Havrens och även andra spannmål eldas också vid lantbrukets kvarnar. Efter att spannmålspriserna generellt steg under 2007 har intresset för eldning av spannmål minskat markant. Partier av sämre kvalitet kommer dock troligtvis att eldas av lantbrukarna även i framtiden. Spannmål avsett för eldning skördas, torkas och lagras i princip på samma sätt som övrigt spannmål

### 3.4 Halm

Halm är en biprodukt från framför allt spannmålsodling. Halm är det åkerbränsle som bedöms ha största tillväxtpotentialen, åtminstone på kort sikt [11]. Halm används både i hel form och i förädlad form som briketter och pellettar med en densitet på 400–600 kg/m<sup>3</sup> [5]. Mängden halm som 1990 var tillgänglig för energiproduktion beräknades under ett år med normal skörd vara ca 3 miljoner ton. Vid 15 % fukthalt har halmen ett effektivt värmevärde på 4,2 kWh/kg och med dessa siffror ansågs den årliga

energipotentialet ligger i närheten av 12 TWh. Årligen producerades då omkring ca 0,5-1 TWh. Idag eldas strax under 0,5 TWh [11]. Idag sker eldning i Sverige huvudsakligen i gårdsanläggningar på några hundra kW. LRF bedömer den praktiska potentialen till knappt 2 miljoner ton, vilket motsvarar ca 7 TWh/år [10]. Andra bedömer potentialen till ca 4 TWh/år [12].

Lagring och hantering av halm förekommer framför allt i form av pressade balar, rundbalar eller fyrkantbalar. Halmen eldas i balar eller riven.

### 3.5 Salix, rörflen och andra energigrödor

Salix består av snabbväxande arter av pil och vide. Stammarna skördas med tre eller fyra års mellanrum. I Sverige skördas årligen ungefär 2500 ha av den totalt 15000 ha odlade åkermarken med salix. Salix odlas främst i södra Sverige. En negativ egenskap är att salix lätt tar upp olika tungmetaller [13]. Energimyndigheten bedömer Salixarealen år 2020 till ca 100 000 ha (motsvarande 4 TWh/år), medan Naturvårdsverket bedömer potentialen till 300 000 ha vid samma tidpunkt (motsvarande 10-15 TWh/år) [11]. Salix används alltid flisad och liknar bränsleflis vad gäller densitet och bränsleparametrar.

Rörflen är ett flerårigt energigräs som skördas årligen. Detta har setts som ett alternativ till Salix i norra Sverige. Enligt undersökningar genomförda av SLU bör rörflen förädlas till pellets, briketter eller pulver före förbränning [14]. Framför allt är det briketter som används kommersiellt medan pelleteringstekniken, som idag primärt är anpassad för sågspån, bör utvecklas för att öka produktionskapaciteten även om resultaten var acceptabla. En senare undersökning av pelletering av rörflen visade att bäst resultat erhöles om råvaran först briketterades, maldes och därefter pelleterades [15].

Efter ett beslut i EU-domstolen blev det 2003 återigen tillåtet att odla hampa i Sverige. Under 2006 odlades hampa på sammanlagt 527 ha [13]. Hampa är en ettårig gröda som måste etableras på nytt varje år. Hampa skördas lämpligen när bladen ramlat av eftersom bladen innehåller höga halter av kalium och dessutom ger upphov till en stor mängd aska. Produktionskostnaden för hampa som energibränsle är hög i jämförelse med andra energigrödor.

Andra träslag som har utvärderats i olika undersökningar är bl.a. hybridasp och poppel.

### 3.6 Lagringsformer

Fuktiga bränslen, inkl råvaran (sågspån) för t.ex. pelletstillverkning, lagras nästan uteslutande i stora stackar utomhus. Torra bränslen såsom träpellets måste förvaras inomhus och detta kan antingen ske i stora planlager eller i siloanläggningar. Transport ut till kund kan därefter ske i bulkform, i storsäck eller i säckar. Även ute hos större kunder/förbrukare kan lagringen ske antingen i planlager eller i silor.

Träpulver och briketter hanteras i princip endast i bulkform. Träpulver lagras i silor medan briketter lagras i planlager. I vissa fall sker en sönderdelning av pellets/briketter ute hos förbrukaren, d.v.s. man köper in bränslet i form av pellets eller briketter och lagrar de stora kvantiteterna i silo eller planlager. Som en del i förbränningsprocessen mals sedan materialet ner till pulverform och mellanlagras i en mindre silo för att sedan blåsas in i pannan via pulverbrännare.

I större pelletsfabriker pågår produktionen dygnet runt och avbrott för service och reparationer görs normalt sett endast 1-2 gånger per år. Detta innebär att produktionen sker i stort sett med samma kapacitet året runt medan förbrukningen varierar beroende på

årstiden. Stora lager byggs därigenom upp som ofta når maximal volym under senhösten för att sedan förbrukas genom den ökade förbrukningen under vinterhalvåret.



## 4 Avfall

Avfall är ett mycket vidlyftigt begrepp som kan delas upp i olika undergrupper på många olika sätt. Enligt EG-direktiv 2006/12/EG om avfall definieras avfall som varje föremål, ämne eller substans som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med. En indelning som ofta förekommer är hushållsavfall respektive verksamhetsavfall. Denna indelning grundar sig definitionsmässigt främst på var kostnadsansvaret ligger för avfallets omhändertagande. Hushållsavfall avser i detta läge allt avfall som genereras från enskilda hushåll eller liknande medan verksamhetsavfall genereras inom olika typer av näringsverksamheter och i båda fallen kan detta avfall bestå av i princip alla förekommande avfallsfraktioner.

I denna rapport används avfallsbegreppen primärt definierat utifrån olika fraktioner och med **hushållsavfall** menas köks- och grovavfall samt trädgårdsavfall som uppkommer i bostadsfastigheter, avfall från storkök och restauranger, skolor och liknande där utsortering av olika återvinningsfraktioner (pappkartonger, hårdplast, metallburkar, etc.) skett i mer eller mindre omfattning.

**Verksamhetsavfall** avser avfall från olika typer av industrier och näringsidkare som till stor del består av en blandning av bl.a. papper plast, trä och textilier. I detta avfall skall således inte ingå något hushållsavfall och det är ofta större kvantiteter av någon speciell utsorterad avfallsfraktion, t.ex. rent träavfall.

**Återvinningsfraktioner** är olika typer av specifikt utsorterade material som omhändertas och upparbetas antingen för någon typ av materialåtervinning eller i vissa fall för energiproduktion. Några vanligt förekommande fraktioner är papper, wellpapp, hårdplast, metaller, elektronikskrot, bilbatterier, däck.

I många fall ser man uttrycket RDF. Det är en förkortning av det engelska uttrycket ”refuse derived fuel” och i Avfallsförordningen [16] likställs detta med brännbart avfall (”avfallsfraktion behandlad för förbränning”). Detta innebär att RDF kan innebära olika material beroende på vilken verksamhet det kommer ifrån.

En viktig konsekvens av avfallsdirektivet är kravet på materialåtervinning vilket alltså skapat en mycket stor hantering av olika avfallsfraktioner. Denna verksamhet omfattar sortering, insamling, och upparbetning i olika specialbyggda anläggningar för senare användning som ny råvara eller i vissa fall bränsle/energi. Exempel på detta är metaller, elektronikskrot, batterier, däck och plast.

I de fall då hushållsavfall och verksamhetsavfall skall användas för energiåtervinning finns ett stort behov av att lagra materialet på ett ekonomiskt och effektivt sätt. Eftersom avfallet produceras i relativt jämn takt året runt medan behovet av värme och energi är störst under vinterhalvåret så kan det bildas mycket stora lager. Lagringen måste då ske på ett sådant sätt att energi- och massförlusterna blir så små som möjligt och att emissionerna till luft och vatten blir små. Nedan ges exempel på några olika och vanligt förekommande lagringstyper.

### Icke kompakterat lager

Det organiska avfallsmaterialet lagras i högar som är väl ventilerade med hjälp av vinden antingen genom fri eller tvingad konvektion av luft och utan att någon kompaktering förutom de sättningar som sker av eget tyngden. Syftet är hålla en låg fukthalt och låg temperatur i lagringshögen.

### **Hårdkompakterat lager**

Detta är en anaerobisk typ av lager som används för att lagra stora kvantiteter av avfallsbränslen på relativt små ytor. Med denna metod läggs avfallet ut i lager om 30-50 cm som kompakteras varefter ett nytt lager av avfall läggs ut och kompakteras. Lager på upp till 8-10 m höjd kan förekomma.

### **Balning**

Det finns två huvudtyper av balmingslager för organiskt avfalls- och återvinningsmaterial: (1) runda balar och (2) rektangulära balar. Dessa metoder utgör rena och välordnade sätt att lagra avfallsbränslen som ger mindre odör. Balarna är vanligtvis plastade. Fördelarna med balning är att de medför stabila förhållanden under lagringen, små energi- och massförluster, ren och ordentlig transport, volymreduktion genom balningen med 1/3, i stort sett vattentät lagring vid plastning och luktproblem blir betydligt mindre jämfört med andra lagringsformer.

Balarna lagras upp på höjd i stora stackar. Storleken på stackarna kan variera avsevärt men 20 m × 50 m och 4-5 balar på höjd är ingen ovanlig storlek. Utomlands förekommer stackar på 50 m × 200 m med 10-12 balar i höjd och ofta med flera enheter med ett avstånd på 10-20 m mellan varandra.

### **Limpor för lagring av avfallsbränsle**

Avfallet kompakteras och plastas in kontinuerlig process till långa ”limpor” som är ca 3 m i diameter och kan vara upp till 100 m långa. Fördelen är att det går mindre plast och metoden blir på det sättet mer ekonomisk. Nackdelen är att det kräver stor markyta då det inte går att bygga på höjden.

### **Pellets/pelletering**

Enligt uppgift pelleteras inte verksamhetsavfall i dagsläget i Sverige och det verkar inte finnas något större intresse av att göra det enligt dagens pelleteringsföretag [17]. Däremot finns det uppgifter som säger att det importeras pelleterat verksamhetsavfall [18].

## 5 Vätskebränslen

Bensin och diesel kommer enligt en rapport från VTT förmodligen att fortfarande 2030 vara de dominerande fordonsbränslena [7], men man säger i samma rapport att alternativa bränslen då kan representera 10–30 % av det totala transportbränslet. Det verkliga utfallet beror dock på vilka policybeslut som fattas under perioden.

För att lyckas med att ersätta oljebaserade bränslen med förnybara bränslen krävs, i varje fall på kort sikt, att man kan tillverka vätskeformiga bränslen som kan utnyttjas som drivmedel inom transportsektorn. Som framgår av Figur 1 så utgjordes ca 75 % av de totala oljeleveranserna 2007 av bensin och dieselbränsle. En process pågår för att ersätta de fossila bränslen med förnybara bränslen och ökningen har varit mycket kraftigt under de senaste åren. Mellan 2000 och 2006 ökade användningen av etanol som drivmedel med nästan 1100 % (från 0,16 TWh till 1,89 TWh) [4]. Under samma period ökade användningen av FAME med ungefär 900 % (från 0,06 TWh till 0,60 TWh). I dagsläget (2007) utgör förnyelsebara bränslen ca 4 % enligt statistik från SPI, se Figur 2. Som framgår av figuren utgörs den stora andelen av låginblandning av FAME i dieseloljan respektive etanol i bensinen, men det sker också en övergång till rena biobränslen. Mest omfattande är satsningen på E85 till s.k. flexifuel-bilar och totalt fanns ca 80000 flexifuel-bilar i slutet av 2007 med en ökning av ca 2000 bilar per månad. Antalet tankstationer med E85-pumpar växer också mycket snabbt och överstiger nu 1000 stationer.



Figur 2 Användning av förnybara bränslen inom drivmedelssidan [3].

Nedan följer lite mer specifik information kring de olika drivmedelsalternativ som anses intressanta i dagsläget.

### 5.1 Metanol

Metanol framställs i stora mängder från naturgas men anses i dagsläget tveksamt som fordonsbränsle. Metanol är toxisk, korrosiv och inte lika löslig i bensin som etanol. Försök med M85 på 1980-talet innebar stora materialproblem hos fordonen [7]. Det finns dock intressenter som menar att metanol är bättre än etanol, speciellt baserat på det faktum att energieffektiviteten är högre vid framställning från skogsråvara genom förgasningsteknik. En satsning pågår därför i Sverige att bygga en metanolfabrik i Värmland som skall stå klar 2011 och ha en produktion av ca 300 000 L per dygn. Inledningsvis är metanolen planerad att användas för låginblandning i bensin [19-21].

## 5.2 Etanol

I dagsläget är etanolförbrukningen ca 310 000 m<sup>3</sup> varav 70000 m<sup>3</sup> tillverkas av Lantmännen i Norrköping, 10000 m<sup>3</sup> av SEKAB medan ca 230000 m<sup>3</sup> importereras (uppgiften osäker, finns också uppgifter om en import på ca 310000 m<sup>3</sup>). Främst sker importen från Brasilien men en betydande import sker även från flera europeiska länder (från vin). Import sker både via SEKAB och av oljebolagen direkt. Idag används 250000 m<sup>3</sup> för låginblandning och ca 60000 m<sup>3</sup> till E85. Utöver detta importereras etanol för övrig användning inom industrin. Etanol används också till viss del som ersättning för diesel i framförallt bussar. Bränslet består då av ca 95 % etanol samt 5 % tändförbättrande tillsatser, denatureringsmedel, m.m. När Lantmännen startat upp sin andra etanolfabrik planeras deras totala etanolproduktion att uppgå till ca 200000 m<sup>3</sup> etanol.

I övriga Europa används inte lika mycket etanol som biodiesel när det gäller fordonbränsle. Istället konverteras etanolen framför allt till ETBE (etyl-tertiär-butyleter), som sedan används som inblandningskomponent i bensin.

Det forskas även på tyngre alkoholer, t.ex. biobutanol. Biobutanol har flera fördelar jämfört med etanol, t.ex. lågt ångtryck med mindre emissioner som följd, bättre energiinnehåll samt fördelen att biobutanol kan utnyttja industrins befintliga distributionsinfrastruktur [7].

## 5.3 FAME

FAME är en förkortning av fettsyrametylestrar (Fatty Acid Methyl Ester) och är ett dieselbränsle. Tekniska krav för FAME finns i SS-EN 14214. Som alternativ till FAME finns även FAEE (Fatty Acid Ethyl Ester).

RME (rapsmetylester) som framställs av rapsolja är den vanligaste råvaran till FAME. Det finns dock många alternativ, t.ex. solrosmetylester, olivoljametylester, talloljemetylester, etc. År 2004 bedömdes odlingspotentialen för oljeväxter att ligga mellan 150 000 ha och 200 000 ha [10].

Från och med 1 augusti 2006 är låginblandning av 5 % FAME i diesel tillåten och detta utgör den övervägande förbrukningen. I december 2006 innehöll 60 % av all diesel låginblandad FAME. Låginblandning av FAME innebär 5 % sommartid och 0 % vintertid (sedan vintern 2007) i Norrland medan inblandningen är 2 % i övriga landet (detta p.g.a. problem med motorer i vissa tyngre fordon). SS 155435 ställer tekniska krav på FAME-dieseln.

## 5.4 Biobränslen till vätska (BTL-Biomass-to-liquid)

På samma sätt som det går att omvandla en syntesgas<sup>2</sup> (CO/H<sub>2</sub>) med ursprung från naturgas till flytande kolväten så går detta att göra utgående från biobränslen.

Ett av de mest intressanta BTL-bränslena för framtiden anses vara FT-diesel (Fischer o Tropsch). FT-dieseln är mycket ren och ger låga utsläpp. I dagsläget finns dock ingen tillverkning i Sverige.

---

<sup>2</sup> Syntesgas är en blandning av kolmonoxid och vätgas som används mycket inom kemisk industri. T.ex. metanol framställs ur syntesgas.

Ett annat BTL-bränsle som bedöms ha en framtida potential är DME (Dimetyleter). I dagsläget framställs DME i liten skala i Piteå från svartlut som är en energirik vätska som blir över vid kokning av träflis när pappersmassa tillverkas. En större fabrik är planerad inom några år som skall producera ca 4-5 ton DME per dygn. DME är en kondenserad gas som har ungefär samma egenskaper som gasol [22].

## 6 Gasformiga bränslen

De gasformiga bränslen som används i större kvantiteter idag utgörs av naturgas, gasol samt biogas. Även vätgas är ett intressant framtida bränsle men användningen är förhållandevis liten.

I Figur 3 redovisas fördelningen av leveranser av energigas under 2007 och som framgår av detta är ännu så länge naturgasen helt dominerande. Naturgas och gasol är dock fossila bränslen och målsättningen är alltså att ersätta dessa med gas från förnyelsebara källor vilket innebär ett stort behov av utökad produktion av biogas/syntesgas. Nedan ges lite ytterligare information kring produktion och användning av dessa.



Figur 3 Leveranser av energigaser under 2007 (TWh) [23].

### 6.1 Biogas genom rötning

Den vanligaste framställningsmetoden för biogas är genom en röttningsprocess av organiskt material i en syrefri miljö. Lätt nedbrytbart organiskt avfall (t.ex. matavfall), slam från avloppsreningsverk och gödsel kan rötas för produktion av metangas [24].

Det var drygt 200 biogasanläggningar i drift 2006 i Sverige. De flesta finns i vattenreningsverk, där rötning sker av slam, samt på avfallsdeponier. För att kunna använda biogas till fordonsdrift krävs en extra reningsprocess för att uppnå den kvalitet som krävs för att definieras som fordonsgas. Det finns i dagsläget ca 90 tankställen för fordonsgas idag och ytterligare 70-75 st är planerade före utgången av 2009.

Biogas förutspås bli ett mycket intressant energialternativ i framtiden, dels för möjligheterna att använda olika typer av råvaror men inte minst för att man genom biogasproduktionen samtidigt reducerar utsläppen av metangas. Eftersom metangas har ca 22-23 ggr större växthuseffekt än koldioxid, är det ur klimatsynpunkt av mycket stort intresse att reducera dessa utsläpp och som bonus återvinner man alltså energi.

När det gäller hushållssopor är det betydligt mer energieffektivt att röta dessa till biogas jämfört med förbränning. Kostnaden för röttningsanläggningarna är dock för hög i många fall, men detta styrs av pris och politik och kan naturligtvis snabbt ändras.

## 6.2 Biobränsleförgasning

Biogas (syntesgas) kan även framställas genom termisk förgasning. Råvaran kan utgöras både av biobränsle eller olika typer av avfall. Förgasningen sker genom kontrollerad uppvärmning av bränslena och kan ske både under tryck eller utan tryckförhöjning. Vid uppvärmningen avges olika gaser från avfallet och trädbränslet, och beroende på processens uppbyggnad och hur denna styrs kan man inrikta sig mot att producera antingen en metanrik gasblandning (d.v.s. liknande biogas från rötning) eller en blandning av kolmonoxid och vätgas. Den senare gasblandningen är framförallt intressant om man avser att raffinera gasen ytterligare till olika vätskeformiga bränslen (BTL), t.ex. metanol, FT-diesel, DME.

Tekniken är fortfarande till stor del i ett utvecklingsstadium och det finns ”försöksanläggningar” i Värnamo (CHRISGAS-projektet), Piteå (förgasning av svartlut) samt en nyinvigd anläggning i Göteborg för produktion av biometan. Produktion av biogas genom förgasningsteknik ligger mycket bra till sett ur total energiverkningsgrad och ses därför som ett mycket intressant alternativ i den framtida energiproduktionen.

Beroende på lokaliseringen av produktionsanläggningarna kan antingen gasen distribueras direkt ut på ett befintligt gasnät eller komprimeras till ca 200 bar och distribueras i gasflaskor. Liksom naturgas (LNG) kan gasen även lagras och transporteras i flytande form i kryotankar (kondenserar vid  $-160\text{ °C}$ ) och gasen betecknas då som LMG (Liquified Methane Gas). Detta förekommer inte i Sverige i dagsläget men förutspås som ett mycket intressant alternativ då det reducerar distributionskostnaderna och minskar tankvolymen på t.ex. en bil till ca 1/3. Motsvarande hantering av LNG är relativt omfattande i USA.

## 6.3 Vätgas

Ren vätgas förekommer inte naturligt utan måste framställas och idag beräknas att 90 % av all vätgas produceras från naturgas. Vätgas kan vid första anblicken tyckas vara det ideala bränslet ur växthuseffektsynpunkt eftersom det endast bildas vattenånga vid förbränningen. Tyvärr är tillverkningen en energikrävande process som innebär höga kostnader och/eller koldioxidutsläpp [24]. Detta gör att den ännu så länge har en mycket begränsad praktisk användning som bränsle.

Normalt lagras vätgasen vid höga tryck (ca 700 bar) men transport och lagring kan även ske i flytande form i kryotankar (kondenserar vid  $-253\text{ °C}$ ).

## 7 Lagringsproblematik och brandrisker

Som beskrivits i föregående kapitel leder övergången från fossila bränslen till olika typer av biobränslen till att vi också behöver hantera och lagra dessa i stora mängder. Till stor del handlar det om olika typer av fasta material och lagring sker då ofta i stora högar av material som beroende på bränsletyp antingen kan vara belägna utomhus eller inomhus i stora lager. I vissa fall sker lagringen helt och hållet i bulkform, i andra lägen kan materialet vara förpackat (t.ex. balar) som sedan staplas i stora högar. Vissa torra material, t.ex. träpellets och träpulver, lämpar sig också för förvaring i silor vilka i sig kan innehålla mycket stora volymer.

Lagring i stora högar är i sig inget nytt men i och med att materialet skall användas som ett högvärdigt bränsle ställs nya krav på lagringstekniken och dessutom ökar lagringsvolymerna lokalt vid stora mellanlager eller hos stora förbrukare. En annan faktor är att lagren helst skall kunna lokaliseras nära eller på ett rimligt avstånd från bebyggelse, t.ex. i anslutning till en industri eller kraftvärmeverk. Andra faktorer som påverkats avsevärt av utvecklingen är egenskaperna hos det lagrade materialet, storleken på högarna respektive silorna, kombination av balning och lagring, där det finns många frågetecken kring brandriskproblematiken.

Den kanske vanligaste brandorsaken i denna typ av stora bulklager är risken för självantändning. Stora lager kan även skapa emissionsproblem (lukt, gasbildning, lakvattenproduktion, etc.) vid normala temperatur vilka sedan ökar om det uppstår en förhöjd temperatur i lagret vilket är mycket vanligt i stora lager. Det är också i dagsläget mycket svårt att avgöra vad som är en normal temperaturhöjning respektive en ”farlig” temperaturhöjning som leder till självantändning.

Brand kan naturligtvis uppstå på andra sätt genom externa tändkällor, t.ex. anlagd brand, varmgång, gnistbildning i transport- och produktionssystem, brand i fordon som används inom anläggningen, gräs och skogsbrand som sprider sig till lagret, etc.

När brand uppstår erhålls problem med emissioner (rök, lukt, giftiga gaser, släckvatten) till omgivningen och det ställs mycket stora krav på den lokala räddningstjänsten som inte är dimensionerad och utrustad för denna typ av bränder.

I kapitel 7.1 ges en något fördjupad beskrivning av självantändningsproblematiken samt de emissionsproblem som kan uppstå vid lagring av fasta material, under normala lagringsbetingelser och temperaturer, vid en viss temperaturförhöjning som eventuellt leder till självantändning samt de emissioner som kan uppträda när brand utbrutit.

I kapitel 7.2 diskuteras kortfattat den specifika problematik som kan hänföras till vätske- och gasformiga biobränslen. Här är det främst fråga om att karaktärisera de nya bränslena ur brand- och explosionssynpunkt samt att utvärdera bränslenas släckeegenskaper.

### 7.1 Självantändning i lager av fasta biobränslen/avfall

Fasta biobränslen och avfall är i många fall porösa, ofta fuktiga material, som kan uppvisa självuppvärmning från bl.a. mikrobiell aktivitet, kemisk oxidation samt fysikaliska processer som transport och adsorption av vatten. Resultatet av självuppvärmningen i ett lagrat material är en balans mellan värmeproduktionen i bulken och bortledningen av värmen från bulkens yta (gränsskikt). Detta ger som en följd att



riskerna för självantändning ökar med en större lagrad volym, då den relativa ytan minskar med ökande volym.

Självuppvärmning kan leda till självantändning redan efter några få dagar, men mer vanligt efter några månader eller längre, beroende på omständigheterna. Självantändning är en exoterm process (d.v.s. utvecklar värme) som erfordrar tillgång på nedbrytningsbart material och förekomst av syre. Fenomenet beskrivs vanligen som ett strömnings/diffusions problem där transport av fukt, värme och syre är de viktiga mekanismerna.

När man diskuterar självuppvärmning av fasta biobränslen bör man skilja på fuktiga bränslen och torra bränslen (fukthalt på max ca 10 vikt-%), då speciellt den initiala självuppvärmningsprocessen skiljer sig åt.

Lagrat avfall kan i vissa fall uppvisa självuppvärmning, då även denna typ av material ofta är poröst, fuktigt och innehåller organiska komponenter. Hushållsavfall är ett typiskt material med dessa egenskaper. Ett exempel på en helt annan typ av avfall som kan uppvisa självuppvärmning är oljeindränkta spån från metallbearbetning.

### 7.1.1 Fuktiga material

Detta innefattar bränslen med en relativt hög fukthalt såsom träflis, bark och vissa typer av avfall. Fuktiga biobränslen lagras normalt i stackar utomhus. Även fuktigt avfall lagras i många fall utomhus, men t.ex. hushållsavfall balanseras oftare. Mikroorganismer som svampar och bakterier kräver en relativt hög fukthalt för att trivas (>20 vikt-% i materialet). Mikroorganismer är den initiala källan till värmeproduktion för denna typ av material, tillsammans med fysikaliska processer, som vattentransport, i vissa fall.

Mikroorganismers metabolism orsakar en förhöjd temperatur i det lagrade bränslet. Mikrobiell aktivitet bidrar till temperaturökningen inom temperaturintervallet 0-75 °C. Den maximala temperaturen orsakad av mikroorganismer varierar med typ av mikroorganism och beror på den specifika mikroorganismens trivseltemperatur [25]. Kemiska oxidationsprocesser kan bidra till temperaturutvecklingen redan vid 40 °C och de kemiska processerna börjar dominera i temperaturintervallet 60-70 °C. Vid temperaturer över 90 °C styrs oxidationen endast av kemiska processer. Oxidationsprocessen kräver dock syre för att kunna fortgå. Det har visats att den oxidativa nedbrytningsprocessen är snabbare och därmed ger en större värmeproduktion i de trämaterial, som innehåller högre halter lignin [25] och att närvaron av metaller ökar oxidationshastigheten [26].

När självuppvärmningsprocessen fortgår i en stack med lagrat material transporteras värme från det inre av stacken ut mot ytan. Likaså vatten transporteras ut från stackens centrum, vilken torkas ut och vatten kondenserar när det når kallare delar i stackens periferi. De huvudsakliga faktorerna som påverkar temperaturen i en stack med en viss typ av träbränsle är: materialets fuktinnehåll, fuktgradienter i stacken när den läggs upp, stackens storlek, samt materialets densitet. Självantändningen kan resultera i flammande förbränning med synliga lågor i de fall pyrolysen sprids till ytan av stacken.

#### Fuktiga träbränslen

När det gäller forskning om lagring av fuktiga träbränslen och självuppvärmning/självantändning i stackar av skogsråvara har det tidigare utförts forskning på SLU i Uppsala. Thomas Thörnqvist studerade inträffade bränder i stackar under 1986/1987 och gav utifrån dessa studier riktlinjer om lagringshöjder [27]. Thörnqvist ledde också en stor experimentell studie med storskalig säsongslagring av träbränslen där olika parametrar kunde studeras under stackarnas livslängd. Materialen som studerades var nyflisade hyggesrester och nyflisad ekstamved. Man kunde notera förhöjda temperaturer i

stackarna. De högsta temperaturerna uppmättes i packade stackar med flisade hyggesrester [28]. Resultaten från Thörnqvists forskning vad gäller rekommendationer om stackhöjder förekommer i Lehtikangas "Lagringshandbok för trädbränslen" [29]. Dessa rekommendationer tillämpas än idag, se vidare kapitel 9. Mer nyligen har Raida Jirjis på SLU tillsammans med CRA-ISMA i Italien utfört storskaliga lagringsförsök med olika typer av trädbränslen [30]. Man såg vid dessa försök att man hade substans-/energiförluster från mikrobiell aktivitet vid all typ av lagring av sönderdelat material som studerades. Den lagringsmetod som fungerade bäst var en okompakterad täckt stack. Den metod som fungerade sämst var en kompakterad stack som gav den högsta temperaturen och därmed den största risken för självantändning.

### **Fuktigt avfall**

Även avfall är benäget att självantända och under 1990-talet rapporterades mer än 200 brandtillfällen i avfallshögar och deponier [31]. Forskning kring emissioner och självantändning har framförallt bedrivits vid Högskolan i Kalmar under ledning av Prof. Hogland. Erfarenheterna från detta arbete visar bl. a. att riskerna för självantändning är störst i lager som inte är kompakterade alternativt dåligt kompakterade. Luften tar sig vanligen in genom lagrens och högarnas väggar eller från ytan beroende på dålig kompaktering eller att man ej kompakterat alls, vilket skapar zoner med både aeroba och anaeroba förhållanden. Detta medför att risken för spontan brand är stor. I lagren sker också sättning och kompaktering beroende på avfallets egentyngd och avfallets nedbrytning och helt anaeroba zoner kan bildas.

Erfarenhetsmässigt har man kunnat konstatera att t.ex. hushållsavfall som lagras i högar självkompakteras och avfallet bör därför ej läggas upp högre än maximalt 3 m för att inte risken för självantändning ska bli för stor.

Hårdkompakterade lager, som är en anaerobisk typ av lager, kan göras högre. Lager på upp till 8-10 m höjd kan förekomma, men då är risken för brand överhängande. Temperaturen stiger i sådana fall vanligtvis mycket snabbt till 70 °C eller högre och självantändning inträffar vanligen efter en till åtta månader.

Undersökningar indikerar att balning av avfall kan vara den säkraste lagringsprincipen så länge som lagringsytan och lagringshöjden inte blir för stor. Temperaturen i en bal överstiger vanligen inte 70 °C vilket anses bero på den relativa fuktigheten i balarna (45-50 %). Det finns dock olika balningsprinciper (rundbalar, fyrkantbalar, plastade, oplastade) och inverkan av detta på självantändningsriskerna är ännu inte fullt utredd. Detsamma gäller materialberoendet. Omfattande utredningar av olika balningsteknik har dock gjorts avseende emissioner (se avsnitt 7.1.3). En observation som har gjorts är att det i stora ballager har mätts upp metangashalter på över 50 %. Detta kan innebära flera saker: 1) metanavgången tyder på nedbrytning, vilket borde generera värme, 2) metan är en mycket potent växthusgas och 3) det kan innebära en brandrisk om koncentrationen når brännbart område. Dessutom finns det en möjlighet att samla upp gasen för efterföljande användning.

En annan aspekt som bör beaktas vid lagring av fuktigt avfall (gäller även flis halm, etc) är arbetsmiljöproblematiken. Utgrävningar av lager med bygg- och rivningsavfall har visat på riklig förekomst av svampsporer [32]. Mikrosporer kan ge allergier, astma och hudåkommor. Spridningen av bakterier och svamp/mögelsporer utgör ett allvarligt arbetsmiljö- och omgivningshygieniskt problem och det är därför viktigt att hålla kontroll de anställdas exponering av mikrober, endo-toxinerna i det stoft som flyger omkring. Om man i samband med t ex en släckinsats gräver i materialet kan exponering naturligtvis öka dramatiskt och behovet av relevant skyddsutrustning får då inte försummas.

## 7.1.2 Torra material

### Torra träbränslen

Torra träbränslen innefattar t.ex. pellets och briketter. Dessa bränslen kräver en skyddad lagringsmiljö för att upprätthålla den låga fukthalten och bränslets struktur. Denna typ av bränslen kräver således en helt annan lagringshantering jämfört med fuktiga träbränslen. Då fukthalten är låg är också tillväxten av mikroorganismer låg och dessa utgör normalt inte ett problem ur självuppvärmningssynpunkt. En bidragande orsak är dessutom att temperaturen är mycket hög i tillverkningsprocessen vilket med största sannolikhet reducerar förekomsten av mikroorganismer.

Det har skett ett antal spektakulära bränder i lager med träpellets där orsaken har härletts till självantändning. Speciellt har man haft problem när man lagrat stora volymer träpellets i tornsilos som ursprungligen var avsedda för foder och spannmål. Det har också skett bränder i stora planlager där självantändning misstänks vara brandorsaken.

Det verkar som om benägenheten för spontan värmeproduktion varierar mellan olika kvaliteter hos pellets och att värmeproduktionen normalt sker relativt kort tid efter produktionen. Källan till värmeproduktionen är troligen oxidation av lättoxiderbara komponenter i trämaterialiet. Det har föreslagits att en hög halt av omättade fettsyror i materialet ökar problemet med oxidativ värmeproduktion från träpellets vid normal omgivningstemperatur [33]. Färskt sågspån från tall innehåller en hög andel omättade fettsyror.

Inom ramen för CECOST (Center for Combustion Science and Technology) bedrivs forskning om självantändning i biologiska och biogena bränslen. Målsättningen med projektet är att utveckla metoder för att bedöma självantändningsrisken vid lagring. Avsikten med projektet är att utveckla en generell metod som bygger på mätningar av lågtemperaturreaktivitet och som kombinerat med en beräkningsmetod för värme och gasflöde inne i lagret kan förutsäga självantändningsförlopp. Även om projektet är generellt inriktat har arbetet hittills varit fokuserat på träpellets. Självantändningsprojektet innefattar utveckling av en avancerad beräkningsmodell [34], bestämning av värmeproduktion från biologiska och kemiska processer [26, 35], samt utförande av komplexa valideringsförsök i olika skalor [36-40].

Energimyndigheten har under ett antal år satsat relativt stort på forskning om produktionsprocesser för träpellets inom projektet SLUP, vilket vid en förlängning nu drivs under namnet "Pelletsplattformen". Forskningen drivs av SLU i Umeå och innefattar även lagringsstudier där man tittat på kemiska förändringar i sågspån av tall och gran som är råmaterialiet för pelletstillverkningen [41]. Man kunde här se en minskning i halten av fettsyror vilket man förklarar med nedbrytning från oxidationsprocesser. Den huvudsakliga nedbrytningen skedde mellan sex och tolv veckors lagring. Speciellt tallspånet innehåller en relativt hög andel fettsyror och det är alltså tydligt att lagringen av trädråvaran har betydelse för andelen oxiderbart material i det pelleterade materialet.

### Torrt avfall

Självantändning i relativt torrt avfall som RDF (papper, plast, tyg) och annat torrt avfall borde vara mindre vanligt förekommande, men risken kan inte uteslutas helt, beroende på det specifika materialinnehållet och genom att en delmängd fuktigt material samlagras med ett torrt material.

Det bedrivs forskning i Japan om självantändningsriskerna med lagrat avfall då det där har skett ett antal allvarliga bränder i lager med pelleterat avfall [42]. Avfallet anges som RDF, men utgörs troligen till en viss eller stor del av hushållsavfall. Avfallets fukthalt är

relativt låg och fukthalten i undersökta prover anges i en källa variera mellan 3 vikt-% och 27 vikt-% [43]. Problemen med självantändning anges vara initierade av vätnings- och fukttransport i de fall materialet utsätts för fukt samt mikrobiell aktivitet [44, 45]. Forskningen i Japan bedrivs främst på National Institute of Fire and Disaster.

Förekomsten av självantändning och riskerna med RDF och liknande typer av avfall är därför av stor vikt att undersöka närmare.

Ett annat typ av torrt avfall som nämnts tidigare är metallspån, där det är känt att det finns risk för självantändning och där bränder har förekommit. Lättoxiderande oljor, t.ex. linolja i trasa, kan också vara en primär tändkälla och i sig starta en självantändningsprocess. Detta kan utgöra en risk i avfallslager eller i verksamheter där oljorna används.

### 7.1.3 Emissioner i samband med självuppvärmning

#### **Emissioner vid självuppvärmning av fasta biobränslen**

Det är välkänt att emissioner från fasta trädbränslen kan ge luktproblem vid lagring. Men emissionerna kan i vissa fall även vara en akut hälsorisk och faktiskt skapa livshotande förhållanden. Det har skett två olyckor med dödlig utgång vid utlastning av träpellets från långväga båttransport, i Rotterdam år 2002 samt i Helsingborg år 2006. Det har även skett en olycka med dödlig utgång vid båttransport av massaved i Östrand 2007. Wood Pellet Association of Canada (WPAC) har undersökt produktionen av giftiga emissioner vid båttransport av träpellets då det var pellets just från Kanada som var anledningen till de ovan nämnda dödsolyckorna [46]. Man har i undersökningarna sett att det produceras kolmonoxid samt uppstår en reducerad syrgasatmosfär under transporten vilket kan resultera i dödliga förhållanden i tillslutna lastrum och närliggande trapphus [47]. Man har tidigare sett att det även produceras reaktiva organiska ämnen som aldehyder och terpener vilka kan ge skador i andningsvägar och slemhinnor [48].

Höga halter av kolmonoxid tillsammans med koldioxid och en sänkt syrehalt har också uppmätts i topputrymmet på silor där träpellets lagras. Mätningar utfördes av SP i två fall under 2007. I det första fallet hade förhöjda temperaturer uppmätts i ett antal siloceller med importerad träpellets. Halterna av emitterade gaser var mycket höga i silorna och hälsofarliga halter av kolmonoxid hade spridit sig i stora delar av silobyggnaden. Man kunde också konstatera emissioner av reaktiva aldehyder och terpener. I det andra fallet hade självuppvärmningen lett till självantändning i en siloanläggning med inhemsk producerad pellets. Höga halter av giftiga gaser uppmättes i silocellen där branden pågick, men också i resterande siloceller och i angränsande delar av silobyggnaden. Resultaten från de ovan nämnda mätningarna presenterades på konferensen WorldBioenergy 2008 [37].

#### **Emissioner vid självuppvärmning av avfall**

Fysiska och kemiska processer i balat avfallsbränsle och emissioner av illaluktande och toxiska substanser har undersökts vid Högskolan i Kalmar av Nammari i flera projekt [49, 50]. Man kan konstatera att mycket av aktiviteten i balarna är förknippad med mikrobiell nedbrytning av avfallet. De processer som förekommer i plastade balar som står utomhus är; 1) Gas och fukttransport genom plasten, 2) Evaporation och kondensation av lakvatten och fukt (innehållande halv-flyktiga organiska ämnen, 3) Kondensering tillbaka på avfallet, 4) Transport av föroreningar, fukt och lösta gaser genom avfallet och 5) Kondensation av fukt på insidan av plastfilmen som rinner ned till den lägsta punkten och bildar lakvatten.

I en studie av effekten av olika balningsteknik jämfördes rundbalsteknik med rektangulära balar och även betydelsen av antalet lager med plast som används vid

balningen undersöktes [51]. Man fann att cylindriska balar emitterar högre koncentrationer av estrar än de rektangulära balar medan däremot aromatiska ämnen emitteras i större omfattning från rektangulära balar. Detta indikerar att olika nedbrytningsmekanismer återfinns i de olika baltyperna. Anaeroba nedbrytningsmekanismer dominerar i runda balar medan aeroba, dominerar i rektangulära balar efter den första månaden.

Man kunde konstatera att VOC emissionen hos cylindriska balar minskade från år 1 till år 2 med samma storleksordning som för rektangulära balar. Detta indikerar samma omfattning av biologisk aktivitet även om fördelningen av emissionsprodukter var olika. Skillnaden mellan baltyperna beror främst olikheter i fuktighet och tillgången på syre. När omgivningstemperaturen närmar sig 0 °C så sjunker emissionen från de båda baltyperna drastiskt och skiljer sig inte nämnvärt åt.

Några slutsatser är att VOC emissionerna som uppträder trots plastning sprider viss odör som kan göra sig gällande när lagren ökar i storlek. Balningstekniken behöver förbättras för att man skall kunna ha ballager med hushållsavfall även i närheten av bebodda områden. De gjorda studierna är genomförda i liten skala och forskning behövs i full skala.

Vid fältundersökningar i mycket stora ballager av hushållsavfall har man också mätt upp mycket höga halter, upp till 50 %, av metangas inne i ballagret. Förutom att de höga halterna är en klimatfråga med tanke på metangasens kraftiga växthuseffekt, så är den också ett tecken på att det pågår en nedbrytningsprocess inne i lagret som sannolikt också genererar värme som under vissa omständigheter kan leda till självantändning. Den höga metangashalterna är naturligtvis också en direkt brandriskfråga då det innebär att det kan förekomma en brännbar gasblandning inne i lagret som kan antändas och på så sätt utgöra en extern antändningskälla.

#### **7.1.4 Emissioner från lagrat avfall vid brand**

Bränder innebär alltid emissioner. Beroende på vad som brinner och förbränningsförhållanden kan olika ämnen emitteras till luft och vatten. Dessutom kan brandresterna innehålla ämnen som innebär att de måste tas om hand om på ett speciellt sätt.

Vid ofullständig förbränning av avfall, vilket alltid är fallet i större eller mindre grad vid en brand, produceras en rad miljöfarliga ämnen såsom dioxiner (PCDD), polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och polyklorerade bifenylter (PCB)

Det har genomförts olika arbeten för att uppskatta de totala utsläppen från bränder i Sverige [52, 53]. Dessa rapporter innehåller även emissionsfaktorer för enskilda ämnen. Den första rapporten behandlar främst produkter och material man kan finna i byggnader, men en del av dessa kan vara aktuella även i form av verksamhetsavfall. Den andra rapporten, som handlar om dioxiner, PAH och VOC (flyktiga organiska ämnen), diskuterar de potentiella emissionerna från avfallsupplag (framför allt dioxiner), men även andra potentiella bränder på deponier eller lager av betydelse, t.ex. flislager.

När det gäller emissioner från bränder mer generellt, har Blomqvist gjort en omfattande sammanställning av genomförda storskaliga försök där emissioner från olika typer av bränder har uppmätts [54]. Denna sammanställning kan ge en god vägledning kring vilka kemiska föreningar som kan bildas vid olika typer av bränder/brinnande material.

På grund av den historiskt sett stora omfattningen av deponibränder har ett antal studier genomförts för att uppskatta emissionerna från dessa bränder. I ett par omgångar har det genomförts enkätundersökningar angående inträffade deponibränder som visar att

inträffade deponibränder varierar mycket i storlek. Av 7000 ton avfall som brann upp i deponibränder under 2002 stod de två största bränderna för 4000 ton (57 %) [55]. Under detta år inträffade 69 deponibränder på 49 olika deponier i Sverige. I 71 % av bränderna förbrukades mindre än 10 ton och dessa bränder stod för endast 1 % av den totala uppbrunna massan under året. Om man tittar på vad som brinner står olika typer av "lagrade fraktioner" för den klart dominerande delen (4097 ton). Därefter följer ytbränder i deponi (1374 ton) och djupbränder på deponi (1074 ton). När det gäller antalet bränder är ytbränderna i deponi vanligast med 52 %. Det avfallsslag som brinner oftast är blandat hushållsavfall, men den största uppbrunna massan utgörs av trä, papper och plast, 2658 ton. Denna siffra skall jämföras med 325 ton uppbrunnet hushållsavfall. En reflektion kring detta faktum är att detta borde innebära att riskerna med den förändrade lagringen som en följd av avfallsdirektivet snarare borde öka än minska jämfört med den tidigare situationen eftersom de presenterade undersökningarna visar att det redan då var främst utsorterat avfall lagrat i olika fraktioner som brann. Avfallsdirektivet har medfört en ökad sortering och ökad mellanlagring, vilken i många fall kan skapa relativt stora lager. Dessa kan dessutom existera under förhållandevis lång tid.

Från den tidigare undersökningen dras även slutsatserna att miljöbelastningen från bränder i avfallsupplag är tre till fyra gånger större än från den samlade avfallsförbränningen. Detta baseras på dioxinutsläppen. Totalt beräknades bränderna involvera ungefär 25 000 ton avfall årligen. Bränderna inträffar huvudsakligen på sommarhalvåret (68 %) med hela 20 % i maj. Dessa uppskattningar är gjorda innan förbränningsanläggningarna förbättrades med avseende på emissioner. Detta visar på att emissionerna från bränder i avfall måste anses som ett stort miljöproblem. Räddningsverket har rapporterat 70-80 bränder per år med en omfattning mellan 500 m<sup>2</sup> och 2000 m<sup>2</sup> [56]. Av dessa ansågs 20 vara stora. I några fall var bränderna mycket stora och involverade 20 000 ton avfall eller mer. Vid de stora bränderna kan de stora mängderna emitterade partiklar och giftiga gaser innebära risk för hälsa och miljö. Bränder i deponier tas även upp i kapitel 8.

Uppskattningarna av de totala emissionerna grundar sig till stor del på olika studier som gjorts där emissionerna mätts på ett mer eller mindre kontrollerat sätt och nedan ges några exempel.

Pettersson m.fl. har genomfört mätningar med syfte att kartlägga kemiska risker i arbetsmiljön i samband med släckning av tippbränder samt för att uppskatta emissionen till den yttre miljön vid tippbränder [57]. Tre ytbrandsförsök med olika avfallssammansättningar genomfördes under tre olika år på Sobacken i Borås: en blandning av plast, papper, gummi, elektronikavfall etc. (1993), lika delar hushållsavfall, industriavfall och byggavfall (1994) samt lika delar industriavfall och byggavfall (1995). Dessutom har mätningar genomförts vid en verklig djupbrand på Månserydstippen. De ämnen som man studerat var bl.a. kvicksilver, PBDE och PCB, klorbensener, dioxiner och PAH. Resultaten visade bl.a. att emissionerna är större från ytbränder än från djupbränder, både angivet i koncentration och per ton sopor. För dioxiner var skillnaden speciellt stor. Den totala mängden emissioner från en djupbrand kan emellertid vara större än för en ytbrand eftersom en djupbrand ofta är svårsläckt och pågår under en längre tid. En anledning till lägre emissioner från en djupbrand antas vara den längre transportvägen till ytan och därmed avkylningen vilket skulle kunna leda till att tyngre gasformiga ämnen (högre kokpunkt) kondenserar ut på vägen.

Vid en lagringsstudie av industriavfall som utfördes på deponin Spillepeng utanför Malmö lades totalt 135 ton avfall i en hög [58] och kompakterades till en höjd av 3,5-4 m, vilken täckte en yta på 400 m<sup>2</sup>. Högen täcktes därefter med träflis. Mätningar av temperaturhistorik och gasemissioner O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO och metan i avfallshögen mättes i ett

antal punkter i högen. Temperaturen steg gradvis och efter 6,5 månader startade en brand i bränslehögen genom självantändning.

SP Brandteknik genomförde 2005 en studie av en simulerad djupbrand i hushållsavfall på uppdrag av Räddningsverket [59, 60]. Syftet var att karaktärisera och kvantifiera emissionerna från en sådan djupbrand genom att analysera brandgaserna med avseende på polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD), polyklorerade dibensofuraner (PCDF), polycykliska aromatiska kolväten (PAH), polyklorerade bifenyler (PCB), hexaklorbensen (HCB) samt partiklar och metaller på partiklar. Även vissa analyser av släckvattnet genomfördes.

I ett annat projekt åt Räddningsverket har SP Brandteknik i samarbete med Statens Geotekniska Institut (SGI) och IVL Svenska Miljöinstitutet genomfört ett projekt med syfte att utveckla en metodik för att bestämma emissionerna från en viss brand och hur dessa emissioner sprids [61]. Inom ramen för projektet genomfördes brandförsök med elektronikskrot respektive bildäck [62, 63]. Försök med och utan släckning genomfördes och i samband med försöken provtogs och analyserades brandgaserna, släckvattnet och brandresterna. Baserat på emissionerna från några utvalda brandscenarier har beräkningar och datorsimuleringar av spridning till luft, mark och vatten genomförts. Brandförsöken och emissionmodelleringen visar att det är många faktorer som påverkar emissioner, men ventilationsgraden är en av de viktigaste. Bränder är emellertid komplexa förlopp vilka sällan låter sig beskrivas av enstaka parametervärden. Vattenbegjutningen påverkade emissionerna och ökade utbytet av flera ämnen (t.ex. VOC och PAH).

Hogland, Nammari, m.fl.. rapporterar om brandförsök utförda med balat hushållsavfall [64, 65]. Syftet med försöken var att kvantifiera emissionerna till närmiljön från en brand i en lager med balar som antänts av en yttre brand, t.ex. en gräsbrand. Balarna vägde 800-1000 kg styck och var 120 cm i diameter, samt hade en höjd på 120 cm. Avfallet balades genom att tätomslutas med polyetenfilm. Två balar ingick i brandförsöket där balarna antändes med hjälp av kartong och 10 L diesel. Brandförsöket utfördes i en container och branden pågick under ca 3 timmar. Ett antal ämnen mättes i brandgaserna, såväl organiska gaser som organiska ämnen inklusive PAH och dioxiner.

SGI har på uppdrag av Räddningsverket och i samarbete med räddningstjänster och miljökontor i några utvalda kommuner under några år utfört provtagningar och analyser av framför allt släckvatten (men i vissa fall även mark och nedfall från luften till mark) i samband med speciellt intressanta bränder [66]. Bland de utvalda bränderna (23 st) var 10 st deponibränder. Det understryker betydelsen av denna typ av bränder. I den nämnda undersökningen visade det sig att för de bränder som involverade elektronikskrot (en i en sopförbränningsanläggning och en i en container), att i jämförelse med både riktvärden och andra brandtyper i undersökningen finns det en risk för höga utsläpp av flera ämnesgrupper (t.ex. PAH, dioxiner, bromerade flamskyddsmedel och metaller [67]). Detta var en av anledningarna till att elektronikskrot valdes ut som ett av de scenarier att studera i ett tidigare forskningsprojekt [62].

Som en följd av SGI's projekt med analyser av verkliga bränder har det gjorts en sammanställning av vilka ämnen som är speciellt intressanta ur ett emissionsperspektiv i samband med bränder och vad som bör analyseras [68].

Sammantaget måste detta leda till slutsatsen att emissioner från bränder kan innebära stora problem, både lokalt och ur nationell eller internationell synvinkel. Tyvärr inkluderas sällan bränder när uppskattningar görs av t.ex. nationella emissioner. Ett undantag är den sammanställning av källor till oavsiktligt bildade ämnen som publicerats av Naturvårdsverket [69]. I denna sammanställning inkluderas totala emissioner av dioxiner, PCB och hexaklorbensen från deponibränder.

## 7.2 Brandsäkerhet i vätske- och gasformiga bränslen

Brandproblematiken med bränslen i vätske- respektive gasform skiljer sig från fasta biobränslen och avfall på flera fundamentala sätt. Hanteringen av vätskor sker till största delen i slutna system och de stora volymerna lagras antingen i cisterner eller bergrum medan gasformiga bränslen hanteras i helt slutna system. För brandfarliga varor, som är den övergripande benämningen, finns definierade ”riskparametrar” såsom flampunkt, termisk tändpunkt, brännbarhetsområde, explosionsgrupp, etc. som gör att man kan kategorisera olika produkter ur risk och hanteringssynpunkt. En omfattande lagstiftning reglerar hela området och det finns dessutom mycket råd och riktlinjer som baseras på långvarig erfarenhet (och naturligtvis många bränder). ”Riskparametrarna” ingår i lagstiftningen och dessa utgör också grund för de skyddsåtgärder som krävs.

De nya risker som kan uppträda i och med introduktionen av vätskeformiga biobränslen är framförallt att dessa kan ha andra egenskaper jämfört med existerande bränslen. Som redovisats i kapitel 5 så sker just nu en kraftig ökning av användningen av etanol, både som låginblandning i vanlig bensin men även som E85. Denna typ av blandningar kan få andra egenskaper än de bränslen vi varit vana vid att hantera (t.ex. bensin, diesel) och det krävs därför att man i sådana fall utvärderar det nya bränslet så att man får fram specifik data om det nya bränslets ”riskparametrar”. En sådan undersökning har genomförts för E85 [70] där framförallt brännbarhetsområdet har studerats och som visade att egenskaperna kan förändras signifikant i förhållande till egenskaperna hos de enskilda produkterna som ingår i bränslet. För att kunna tillämpa existerande regelverk och rekommendationer är det således viktigt att ha kunskap om ”riskparametrarna” för alla nya biobränslen/bränsleblandningar som tas fram innan de börjar användas kommersiellt i större skala.

En annan aspekt som kan förändras drastiskt är de nya biobränslenas brinn- och släckegenskaper. Många av de nya bränslena, t.ex. etanol, är vattenblandbara (polära) vilket gör att man måste ha speciella, s.k. alkoholbeständiga skumsläckmedel för att inte skummet skall brytas ner omedelbart av bränslet. Trots alkoholbeständigt skum krävs också en annan släcktaktik för att kunna föra på skummet mycket mjukt på den brinnande ytan vilket i sin tur kan innebära behov av en annan skumpåföringsutrustning. I dagsläget finns det kunskap och utrustning för att släcka spillbränder av begränsad omfattning men däremot saknas kunskap om hur man skall släcka en större cisternbrand med t.ex. etanol eller annat polärt bränsle. En pågående utredning åt Svenska Petroleum Institutet (SPI) visar att det internationellt sett har inträffat ett antal cisternbränder i polära produkter. Hittills finns dock inga rapporter om att man lyckats släcka någon av dessa cisternbränder utan de har i praktiken släckts genom utspädning i kombination med att bränslet tagit slut. Förutom problematiken med släckning så kan även andra bränslekväligheter innebära att värmestrålningen mot omgivande cisterner och byggnader kan bli högre vilket både ökar risken för brandspridning och försvårar släckinsatsen.

När det gäller gasformiga biobränslen så innebär dessa inte några direkta nya brandproblem. Det viktigaste är att bygga täta system som innebär att risken för läckage minimeras. Som ett komplement till existerande regelverk arbetar Svenska Gasföreningen respektive Svenska Biogasföreningen med att ge ut olika typer av rekommendationer och utbildningsmaterial för att få så säkra anläggningar som möjligt.

Den biogas som produceras idag genom rötning består i princip av metan och har därmed samma egenskaper som naturgas. En framtida risk kan vara att rötningsanläggningarna kommer att bli vanligare och i många fall är anläggningarna småskaliga. Detta innebär att involverad personal inte har ”gasvana” vilket kan medföra fler olyckor där den mänskliga faktorn är orsaken. Även förbrukarsidan av biogas kommer att växa, både när det gäller



användning som energikälla i bostäder och som drivmedel i fordon. Detta innebär naturligtvis att också här kommer antalet personer som använder gas men som saknar ”gasvana” att öka kraftigt.

Vid förgasning för framställning av syntesgas kan man genom att styra processen få fram olika gassammansättning bestående av bl.a. metan, kolmonoxid och vätgas. Processen i sig är komplex och en förgasningsanläggning kan på så sätt innehålla många olika brandrisker på samma sätt som t.ex. ett raffinaderi men får ändå i detta sammanhang betecknas som känd teknik. Här utgör sannolikt inte kompetensbrist samma problem.

Normalt sett är inte brandsläckning ett problem då huvudprincipen är att stoppa läckaget för att på så sätt få branden att självslockna. De största riskerna utgörs snarare av ett gasläckage som inte antänt. Förvaras gasen i gasflaskor under högt tryck finns ofta en risk för uppvärmning och explosion men detta är också kända problem. Om t.ex. metangas börjar hanteras i flytande form som LMG kommer det att bli ett stort behov av utbildning av personal och räddningstjänst för att veta hur man skall hantera dessa system på ett säkert sätt.

## 8 Incidenter och bränder

Det finns inte någon specifikt sammanställd statistik för bränder i biobränslelager och biobränsleanläggningar men enligt de kontakter som tagits med försäkringsbolag, räddningstjänster, anläggningsägare är det relativt vanligt förekommande. Enligt försäkringsbolagen så har framförallt träpelletsindustrin just nu ett mycket högt skadeutfall av bränder. I detta läget handlar det både om bränder i produktionsanläggningarna och i olika typer av lager.

När det gäller bränder i avfallshögar och deponier rapporterades mer än 200 brandtillfällen årligen under 1990-talet till en uppskattad mängd av 25 000 ton [31]. Svenskt Avfall (tidigare RVF) samlar också in skadestatistik och har vid några tillfällen publicerat denna. Denna visar att det t.ex. 2002 rapporterades 69 bränder i avfallsdeponier i Sverige. Av de ca 7000 ton avfall som brann upp i deponibränder under 2002 stod de två största bränderna för 4000 ton [55]. I drygt 2/3 av alla bränder förbrukades mindre än 10 ton vilket motsvarar ca 1 % av den totalt uppbrunna massan under året. Uppföljningen visar också att brand i olika typer av ”lagrade fraktioner” dominerar (4097 ton). Det avfallslag som brinner oftast är blandat hushållsavfall (totalt ca 325 ton) men den största uppbrunna massan utgörs av trä, papper och plast, 2658 ton. Slutsatsen av detta är således inte att brandriskerna minskar när man hanterar sorterade fraktioner utan snarare kan det vara tvärtom. Någon statistik som visar på en tydlig orsak till detta saknas, eventuellt skulle det kunna vara en effekt av större lager och längre lagringstid.

Eftersom biobränslen och olika avfallsfraktioner hanteras och lagras i stora mängder i olika industriella anläggningar (t.ex. hos biobränsletillverkare, anläggningar för avfallssortering och upparbetning, kraftvärmeverk, industrin) så finns det en stor risk att en begynnande brand i bränslet snabbt kan sprida sig i anläggningen via transportörer, elevatorer, etc. och på så sätt åstadkomma mycket stora skador. Även brand i utomhuslager kan på olika sätt (gnistor, strålningsvärme, etc.) sprida sig till angränsande byggnader och anläggningar.

Såsom tidigare nämnts kan brandröken från denna typ av bränder vara mycket besvärande och bränderna kan generera stora emissioner till omgivningen och som mängdmässigt kan vara avsevärda även i ett nationellt perspektiv. De skapar också ofta stora problem för omgivningen och kan leda till att både bostäder, offentliga byggnader och angränsande industrier får problem eller kanske t.o.m. behöver stänga. En brand kan således leda till omfattande konsekvenser och stora indirekta kostnader. Detta innebär också mycket stor press på den lokala räddningstjänsten som förväntas hantera alla bränder snabbt och effektivt.

### 8.1 Brandincidenter i fasta biobränslen och avfall

För att ge en bild av brandsituationer som kan uppkomma ges nedan en kort resumé av ett axplock av bränder som inträffat under senare tid i lite olika typer av lager/anläggningar. Tyvärr varierar graden av information högst avsevärt vilket är ett mycket vanligt problem vid en djupare analys av inträffade bränder. Ofta finns detaljerade tidsuppgifter om larm, utnyttjad personal, utrustning, etc. vilket är en del i räddningstjänstens insatsrapportering men ofta saknas detaljer om själva orsaken, brandförloppet och detaljerad information om släckinsatsen (taktik, påföringsmängder, etc.). I några fall som redovisas nedan har dock bränder uppstått i deponier upplagda i forskningssyfte och här finns då av naturliga skäl mer detaljerade uppgifter.

### 8.1.1 Silobränder med träpellets

I september 2004 erhöles självantändning i en siloanläggning i Härnösand innehållande träpellets.

Inledningsvis (7/9 ca 17:00) noterades en skarp lukt från siloanläggningen men man kunde inte notera något tecken på rök eller förhöjda temperaturer och antog i detta skede att lukten kom från pelletens ”normala” avgasning av aldehyder. Ett halvt dygn senare (8/9 ca 07:00) konstaterades att läget ändrats radikalt och det var nu kraftig rökutveckling från silotoppen. Efter ett inledande tömningsförsök gjordes misslyckade släckinsatser med lättskum på toppen resp. med koldioxid i silons botten. Efter ca ett dygn togs ett hål upp i siloväggen och pelleten fick rinna ut på den omgivande marken under kraftig vattenbegjutning. Materialet transporterades sedan bort med hjälp av lastmaskiner och lastbilar. Efter ca 4 timmar tömning antändes brandgaserna i silotoppen och en fullt utvecklad brand erhöles i den gemensamma överbyggnaden av silorna. Silon var tömd efter ca ett dygn men det visade sig kort därefter att det var brand i ytterligare två angränsade silor. Dessa tömdes på liknande sätt och när samtliga silor tömts kunde man konstatera tendenser till antändning i ytterligare en silo medan den 5:e silon var opåverkad [71, 72].

En liknande brand inträffade i september 2007 i Kristinehamn och även här uppstod självantändning i en av silocellerna innehållande träpellets. Efter en inledande släckinsats med koldioxid mot toppen av silon kunde branden kontrolleras/släckas med en kontinuerlig injicering av kvävgas enligt de riktlinjer och rekommendationer som utarbetats i ett tidigare Brandforsk-projekt kring silobrandsläckning [39]. Kvävgasinjiceringen pågick under hela tömningsförloppet och för att kontrollera släckningsförloppet och upprätthålla en hög säkerhet för arbetande personal gjordes kontinuerliga gasanalyser i silotoppen under hela förloppet. I en normal situation skulle tömningen tagit ca 20 timmar men tog nu istället ca 50 timmar [73].

### 8.1.2 Planlager med träpellets

I oktober 2005 erhöles brand i Ramvik i ett stort planlager (125 m × 50 m × 7 m) med 43000 m<sup>3</sup> träpellets. Räddningstjänsten tog sig in i lagret genom väggarna med hjälp av grävmaskin och använde sedan vatten respektive skum för att släcka av de öppna lågorna. Därefter lämpades hela innehållet på konventionellt sätt med lastmaskin [72].

### 8.1.3 Flislager och silor

I maj 2008 uppstod en brand i ett stort flislager vid ett pappersbruk i Norrköping. I den kraftiga vinden spred sig branden genom kringflygande gnistor och hotade flera byggnader, bl.a. ett stort kemikalielager. Detta kunde förhindras, men i stället tog sig branden i flishögarna ytterligare och spred sig också till ett skogsområde. Branden medförde även takbränder på angränsande byggnader och spridning in i några silor via transportband. Bränderna i flishögen och i silorna var svårsläckta och släckinsatser pågick flera dygn efter brandstart. Branden medförde att all produktion på pappersbruket var tvungen att stoppas vilket beräknades kosta ungefär en miljon kronor per dygn. Vattenreningsanläggningen slogs också ut och var tvungen att repareras före produktionsstart igen. (Internetsidor: Expressen [74] respektive Sveriges Radio [75])

### 8.1.4 Mellanlager av utsorterat brännbart avfall

Under 2006 uppstod brand i ett mellanlager bestående av utsorterat brännbart avfall vid två tillfällen (aug respektive sept) i Södertälje. Lagret innehöll ca 16000-18000 ton och bestod av en stack som var ca 200 m lång, ca 70 m bred och ca 6-10 m hög. Detta var betydligt större än avsett på grund av att avsättningen varit för låg och visst material hade därför lagrats länge. Normalt sett kompakterar man inte lagret men på grund av den stora avfallsmängden hade man varit tvungen att börja kompaktera. Detta innebar att det var

mindre kompakterat i botten av stacken medan det var mer kompakterat i den övre delen. Lagret var ej täckt då detta förorenar materialet och ger problem vid efterföljande förbränning. Brandorsaken var troligtvis självantändning, eventuellt beroende på att det förekommit organiskt avfall som följt med av misstag.

Vid den första branden inriktade man sig primärt på att genom schaktning dela av stacken en bit bort från branden så man fick en brandgata med syfte att låta materialet i den drabbade stacken brinna ut. Detta medförde dock problem, dels genom ökad brandintensitet på grund av syresättning, dels var energiinnehållet så stort att det skulle ta mycket lång tid för materialet att brinna ut. På grund av rökproblem var man tvungen att ändra taktik efter ca en vecka och tillämpa en mer aktiv släckning genom att schakta undan materialet och mer eller mindre dränka detta i vatten. Vid släckningen provade man även att blanda in skum i släckvattnet för att minska ytspänningen och därmed förbättra vätförmågan men detta gav ingen märkbar effekt.

Efter ca 4 veckor antände den ”friska” högen igen. Det var svårt att avgöra exakt var branden uppstått men den mest aktiva brandhärden var lokaliserad någon meter ovanför asfalten. Vid detta brandtillfälle startade man en aktiv insats direkt med schaktning och vattenbegjutning, i vissa fall rullade man materialet i vatten. Vid insatsen använde man skumbeläggning (mellanscum) av stacken vilket medförde att rökutvecklingen reducerades markant. Totalt pågick insatsen under 6-8 dygn vilket innebar en avsevärd skumvätskeförbrukning. För att säkerställa att inga kvarvarande/nya brandhårdar fanns grävdes hela stacken igenom. Släckning med vatten skapar dock många problem med mycket stora mängder släckvatten och ett mycket vått material som medför avsättningsproblem. Totalt användes ca 17 000 m<sup>3</sup> vatten och 4 400 L skum vid brandbekämpningen. Det fuktiga materialet medför också ökad risk för självantändning. Räddningstjänster pekar på de stora problem som röken innebär vid insatser, speciellt då man måste använda maskiner. Risker för olyckor är uppenbar när maskiner och insatspersonal tvingas arbeta parallellt. Brandorsak och släckinsats har också studerats av Hogland [76, 77].

### **8.1.5 RDF-lager**

Hösten 1989 uppstod en brand i ett RDF-lager (siktrest från Falkenbergs avfallsverks separerings- och komposteringsanläggning) i Steninge. Under perioden juni-september lagrades 5 200 ton RDF och 1 700 ton flis i ett tidigare stenbrott. Området var avskärmat från omgivningen genom höga bergsväggar och den totala ytan var ca 100 m × 120 m. Varje ny RDF-sändning som anlände till platsen täcktes med ett ca 3 dm tjockt lager med flis för att hålla RDF:en på plats. Flisen ska också göra det möjligt att avdunsta genom god ventilation. RDF:en lades upp med hjälp av en frontlastare med ”teleskoparm” och packades således inte. På detta sätt lyckades man lägga upp 7-8 m höga stackar. Stacken var som högst på mitten där branden började. Branden föregicks av ett par kalla nätter och personalen menade att den isbildning som förekommit på högen kan ha bidragit till en temperaturökning med brand som följd. Det tog ca fem dagar att bekämpa elden. De första tre dagarna bekämpades branden endast med vatten. Vattenbrist uppstod och brandkåren fick använda tankbilar. Efter tre dagars släckningsarbete accelererade branden och man fick istället sprida ut materialet med frontlastare under samtidigt begjutning av vatten vilket visade sig effektivare. Några direkta lågor observerades inte bortsett ifrån de lågor som flammade upp när frontlastaren satte skopan i materialet. Befolkningen i närheten besvärades av de starkt luktande gaserna. Stora mängder vatten användes vid släckningsarbetet och för att få bättre kunskap om miljökonsekvenserna togs vattenprover [32].

### 8.1.6 Brand i lager med avfallsbränslen som uppförts i forskningssyfte

Under 1992 uppstod brand i ett avfallsbränslelager som uppförts i forskningssyfte vid en avfallsanläggning i Malmö. Bränslelagret bestod av tre högar, två med sorterat blandat industriavfall av typ verksamhetsavfall (110 ton med lagringshöjd 3 m respektive 130 ton med lagringshöjd 4 m) samt en tredje hög (110 ton med lagringshöjd 4 m) med processpill från förpackningsindustrin och avfall från köpcenter med viss iblandning av frukt och grönsaker. Högarna var hårdkompakterade och täckta med 2-3 dm träflis samt instrumenterade för datorövervakade mätningar och temperatur, syre, koldioxid och metan. Före brandtillfället hade temperaturen legat relativt stabilt på omkring 80 °C – 85 °C i 5 månader i vissa delar av lagret. I samband med brandtillfället såg personalen först kraftig rök stiga upp från lagret. Branden föregicks av kraftig vind i riktning mot de partier som förmodligen varit dåligt kompakterade p.g.a. av kraftig släntlutning och ingångsväg för mätutrustningen. Brandsläckningsutrustning hämtades omedelbart efter att rök hade upptäckts och en traktorgrävare var på plats efter en halvtimme men då hade lågor redan slagit upp och branden utvecklade kraftig rök och skarp lukt. Man släckte lågorna genom att lerhaltig jord placerades längs lagrets hela långsida där branden uppstått och ovanpå högen. Därefter försökte man gräva ut brandhärden varvid branden blossade upp igen. För att inte riskera hela lagret täcktes det därför med 0,5 m-1,5 m med lerhaltig jord varefter själva brandhärden (4-6 m in i högen) grävdes ut och lades i en separat hög samt täcktes med jord. Arbetsmiljömässiga problem observerades bl.a. föraren av traktorgrävaren som klagade över huvudvärk efter arbetets genomförande då han och övrig personal inte använde friskluftsmasker. Drygt 2 månader efter branden grävdes den brandhärjade lagringshögen ut och materialet analyserades [32].

Åren 1992-1993, under ett forskningsförsök vid avfallsdeponin i Tagene utanför Göteborg inträffade en brand i ett lager med mätutrustning installerad på samma sätt som i Malmö. Lagret var byggt av vallar av slagg som täcktes med lera. Totalt lagrades 8 300 ton bygg- och rivningsavfall och 7 000 ton hushållsavfall. Avfallen lades upp till max 8 meter och kompakterades. De första metrarna kompakterades för att de skulle fungera som ett kapillärbrytande skikt närmast botten där också en dräneringsledning fanns placerad. Avfallet som lades upp var mycket torrt och dammade och begöts därför med vatten och överytan täcktes ej. Brand utbröt efter 5 månaders lagring i nära anslutning till slaggvallarna och rök och vattenånga trängde ut ur vallarna. Brandhärden grävdes ut och släcktes samtidigt som kompakteringen intensifierades. Dålig kompaktering, luftinträde via slaggvallar och via det kapillärbrytande makadamlagret i botten samt järnskröt i slaggvallarna ansågs vara bidragande orsak till självantändningen [32].

### 8.1.7 Balat verksamhetsavfall

I oktober 2005 inträffade en större brand i balat material i Ålborg i Danmark. Totalt fanns ca 12000 ton avfall inom det 8000 m<sup>2</sup> stora området när branden startade. Till stor del var avfallet balat och delvis inplastat men på grund av ett driftstopp i den förbränningsanläggning som normalt nyttjade avfallet blev lagringsplatsen, som normalt rymmer 5000 ton, överfull. Vid brandtillfället var balarna av fyrkantstyp och staplade 4 st på höjd vilket gav en lagringshöjd av ca 4-5 m. Branden startade inte som en självantändning i det balade materialet utan uppstod i angränsande, löst lagrat material i ena hörnet av lagringsområdet. Någon orsak till primärbranden finns inte rapporterad men branden spreds snabbt till ballagret. Trots att räddningstjänsten snabbt var på plats hade man ingen chans att få branden under kontroll. Detta berodde dels på att lagret var överfullt vilket förhindrade räddningstjänsten att komma fram med bilar och utrustning, dels att vattnet inte trängde in i balarna utan bara lade sig ovanpå och sedan rann av. När lagret brann för fullt var lågornas höjd ca 30-40 m med enstaka gnistor som nådde ca 70 m. Eftersom värmestrålningen var mycket hög och släckresurserna var underlägsna tog man efter ca 2 timmar beslutet att låta lagret brinna ut och istället inrikta sig på att

förhindra spridning till byggnader inom området och omgivningen. Efter 3 dygn vände vinden in mot Ålborg och beslut togs därför om att försöka släcka branden. Detta gjordes genom att kväva branden med ca 10000 m<sup>3</sup> av en jordblandning bestående av våt lera, krita och jord. Tretton dumpers, tre grävmaskiner och två bulldozers användes och arbetet tog mer än ett dygn. Rök var fortfarande synlig från delar av området under 2-3 veckor efter täckningen [78, 79].

### **8.1.8 Brand i deponi med utsorterat avfall**

I juni 2008 uppstod en brand i en deponi i Huddinge. Deponin användes för utsorterat avfall som enligt avfallsdirektivet får innehålla max 10% organiskt material. Deponin hade en yta av ca 350 m × 150 m och ett djup på upp till ca 20 m. Strax intill deponin fanns ett mellanlager av balat brännbart avfall (verksamhetsavfall) i form av två stora stackar, ca 200 m långa, ca 10 balar breda och 4-5 balar på höjden. Branden blev mycket kraftig och genererade mycket stora mängder rök. Den stack med balar som låg närmast branden var starkt hotad men kunde inte nås av räddningstjänsten på grund av att den låg i vindriktningen och den kraftiga röken förhindrade all sikt. För att förhindra brandspridning till ballagret vattenbombades därför detta med hjälp av helikopter. Från vindsidan attackerades branden med tryckluftsgenererat skum (CAFS) med hjälp av en CAFS-anläggning inlånad från Norrtälje. Detta dämpade branden och reducerade rökutvecklingen betydligt. CAFS-skummet visade sig fungera mycket bra och genom den låga skuminblandning som krävs åtgick endast ca 30-40 L skumkoncentrat. Slutlig släckning genomfördes genom att täcka deponin med slagg (restprodukt från förbränningsanläggningar) som fanns upplagd inom området. Arbetet utfördes med hjälp av ett stort antal schaktmaskiner och transportfordon. Till viss del användes även stenhjul och lera när slaggen var förbrukad. Brandspridning till ballagret förhindrades men efteråt kunde man konstatera att värmeexponeringen varit så hög att plasten runt balarna smält.

### **8.1.9 Återvinningsanläggning**

I maj 2008 totalförstördes en 6000 m<sup>2</sup> lagerbyggnad med återvunnen plast och papper vid en återvinningsanläggning i Ulm i sydvästra Tyskland. Nästan 300 brandmän deltog i släckningsarbetet som försvårades av att brandposterna inte klarade brandvattenbehovet. Istället fick vatten pumpas i slangar från floden Donau. Allt släckvatten samlades upp i en regnvattentank och återanvändes i ett försök att reducera den totala mängden kontaminerat släckvatten. Brandsläckningsarbetet tog mer än ett dygn och skadorna uppskattas till €10 miljoner [80].

### **8.1.10 Elektronikåtervinningsföretag**

I juni 2007 uppstod en brand i ett elektronikskrotningsföretag i Norrköping. Branden startade förmodligen (undersökningen är ej klar) i en stor hög med malt (2-5 cm stora bitar) tekniskskrot (skrot från elektronikprylar, datorer, kretskort, plast till hårdvara mm). Branden uppstod inne i en industribyggnad men spred sig efter ett tag till en hög och balar på baksidan. Det bildades mycket rök och ett 20-tal brandmän arbetade med att bekämpa branden. Uppskattningsvis användes 3000 m<sup>3</sup> vatten och 200 L skumvätska.

### **8.1.11 Batterilager**

I juli 2001 uppstod en brand i batterilagret hos ett batteriåtervinningsföretag i Landskrona. Batterilagret innehöll ca 14 000 ton kasserade batterier. Företaget var semesterstängt men underhållspersonal som arbetade på industriområdet upptäckte branden. Branden fick ett snabbt förlopp men kunde begränsas till själva batterilagret. Ohälsosam rök spreds i vindriktningen och nådde ett villaområde omkring en kilometer bort. De boende i villaområdet uppmärksammades på situationen med hjälp av polisens högtalarbilar och via lokalradion. Till en början användes stora mängder vatten för brandsläckningen men det gav inte önskat resultat. Efter ca 1 ½ dygn förbereddes istället

att täcka batterilagret med sand. När hela batterilagret blivit övertäckt med sand, ca 2 dygn efter brandutbrottet upphörde den kraftiga rökutvecklingen [81].

### 8.1.12 Däcklager

I september 2001 inträffade en brand i ett återvinningsföretag i Malmö för gummiavfall och totalt involverades 6000 ton. Företaget återvinner däck som mals ner till gummiflis och som används till vägbanor, idrottsanläggningar, etc. Orsaken till branden var troligen friktion från främmande föremål i en kvarn. När räddningstjänsten anlände var byggnaden övertänd. Eftersom det fanns ett antal acetylenflaskor i byggnaden upprättades ett säkerhetsavstånd på 300 m under det första dygnet. De primära problemen vid insatsen var explosionsrisk, brandspridning samt miljöföroreningar (luft, vatten, mark). Lyckligtvis var vindriktningen ut över Öresund varför ingen bebyggelse besvärades av röken. Man inriktade sig mot en defensiv insats, med vetskap om att gummi är svårsläckt. Olika släckmetoder övervägdes (skumbegjutning, sandtäckning, schaktning, lämpning, etc.) och efter en miljökonsekvensutredning föreslogs att lämpa de brinnande däcken i hamnbassängen då man var rädd för en eventuell vindkantring. Beslutet om lämpning försenades dock på grund av diskussioner med hamnen om garantier att någon tog hand om lämpade däckresterna i vattnet efter avslutad insats. Lämpningen påbörjades på kvällen dag 2 och avslutades sedan dag 4, ca 3 dygn efter brandutbrottet. Försäkringsskadan uppgick till 60 miljoner men kunde ha blivit mycket större om vindriktningen varit annorlunda. Man konstaterar också att brand- och släckförloppet hade blivit helt annorlunda om anläggningen inte legat i direkt anslutning till hamnen [82].

### 8.1.13 Skrotupplag

I oktober 2007 uppstod en brand i ett 46 000 m<sup>3</sup> stort upplag med skrot på en fragmenterings- och återvinningsanläggning i Herbertingen i Tyskland. Det blev den största branden i regionen under efterkrigstiden. Branden uppstod inne i det stora upplaget. Till en början noterades endast rökutveckling. Sedan var dock brandtillväxten snabbare än räddningstjänstens möjlighet att mobilisera utrustning och personal. Det ledde till att i stort sett hela upplaget övertändes. Det var först efter en omfattande insats med skum som man lyckades kontrollera branden som pågick i totalt fem dygn. Totalt deltog 700 man, 184 fordon och den totala arbetsinsatsen var över 20 000 mantimmar. Mer än 120 000 L skumvätska förbrukades och ett antal brand- och polisbilar förstördes [83, 84].

## 8.2 Brandincidenter i vätske- och gasformiga biobränslen

Som tidigare redovisats är det etanol och E85 som dominerar volymmässigt bland de vätskeformiga biobränslena. På grund av de stora volymerna sker därmed lagring av dessa bränslen i betydligt större cisterner än tidigare. Cisternbränder är mycket ovanliga i Sverige (inträffade senast 1956) och någon brand i ett svenskt cisternlager finns således inte att rapportera. I en litteraturgenomgång av inträffade cisternbränder och de erfarenheter man kan dra av dessa identifierades totalt sett ca 480 bränder internationellt sett under tiden 1951-2003 [85]. De allra flesta involverade av naturliga skäl olika typer av petroleumprodukter men det fanns också knappt 10 bränder rapporterade där cisterninnehållet var en vattenblandbar produkt, d.v.s. samma egenskaper som etanol och E85. Informationen är generellt bristfällig men indikerar att man inte lyckats släcka någon av dessa bränder på ett aktivt sätt utan i praktiken har de mer eller mindre självslocknat genom utspädning i kombination med att bränslet tagit slut. Det finns en cisternbrand rapporterad med ren etanol och i avsnitt 8.2.1 ges en kort summering av denna. En annan

aspekt är att vegetabiliska biobränslen kan vara självoxiderande precis på samma sätt som linolja. Detta beskrivs kortfattat i avsnitt 8.2.2.

När det gäller olyckor och incidenter med olika typer av energigas i Sverige så finns mycket bra statistikuppgifter. Svenska Gasföreningen samlar löpande in uppgifter som involverar någon av energigaserna naturgas, stadsgas, biogas, gasol, fordonsgas och vätgas. Sammanställningen bygger på rapporter från Svenska Gasföreningens medlemsföretag och på bevakning av artiklar i dagspressen. Under 2007 rapporterades totalt 95 olyckor och incidenter och dessa medförde två dödsfall (förgiftning av gasol) samt 8 personskador. Av de 95 fallen var det 1 incident med biogas (läckage), 6 med fordonsgas (läckage i samtliga fall varvid mindre brand uppstod vid ett tillfälle), samt 1 med vätgas (läckage). Det största antalet incidenter involverade naturgas (38 st) och stadsgas (27 st). I de flesta fall har det även här rört sig om läckage, t.ex. i samband med schaktning som skadat en gasledning och i några fall har det uppstått brand. Förutom förgiftningsolyckan så är de största riskerna för personskador (och materiella skador) då läckage inträffar i ett slutet utrymme och sedan antänds med en kraftig explosion som följd [86].

### 8.2.1 Brand i etanolcistern

I januari 2004 uppstod en explosion i en etanolcistern i Port Kembla i Australien. Cisternen hade en volym på ca 7000 m<sup>3</sup> (ca 32 m i diameter och 9 m hög) och innehöll ca 4000 m<sup>3</sup> etanol vid brandtillfället. Cisterntaket lyfte ca 30 m vid explosionen och skadade sedan det fasta brandsläckningssystemet när det landade vid sidan av cisternen. Brandorsaken antas vara svetsning på en anslutande produktledning. Flammorna var ca 50 m höga och producerade mycket lite rök men däremot var värmestrålningen mycket hög och medförde antändning av både angränsande byggnader och bilar. Räddningstjänsten som anlände efter ca 20 minuter prioriterade därför att släcka dessa bränder samt att påbörja kylning av angränsade cisterner för att förhindra brandspridning. När kylning var etablerad påbörjades en insats med alkoholbeständigt skum via tre mobila skumutrustningar. Det var dock problem med räckvidden och den höga värmestrålningen varför endast en viss kontroll erhöles av branden. Ca 20 timmar efter brandutbrottet kunde branden släckas genom en utökad skuminsats. Etanolen var i detta läget utspädd till ca 10 % koncentration vilket var den helt avgörande faktorn till att insatsen lyckades. För att minimera risken för återantändning fortsatte därefter vatten- och skumbegjutning tills etanolhalten var ca 5 %. Totalt förbrukades 45000 m<sup>3</sup> vatten för kylning och släckning samt 50 000 L skumvätska [87, 88].

### 8.2.2 Självantändning i bioolja

Tre självantändningsincidenter har inträffat när bioolja införts som ett alternativ till brännolja i ett reservkraftsverk i Göteborg. Vid konverteringen av förbränningsanläggningen uppstod bränsleläckage och bioolja kontaminerade mineralull som isolerade pannan. Vid två tillfällen uppstod brand i isoleringen, både när pannan var i drift och vid ett tillfälle när pannan var ur drift och kall. Ytterligare en brandincident inträffade i en papperskorg där oljeindränkta trasor slängts. Provningar på SP visade att det var oljans oxiderande egenskaper och värmeutveckling som orsakade bränderna [89].

## 8.3 Kommentarer kring detektion, brandförlopp och släckning

Historiskt har olika typer av bränslen för energiproduktion till allra största del varit vätskeformiga. Förvaring av större mängder sker i slutna utrymnen, t.ex. cisterner eller bergrum. Uppstår brand, är antändningen av bränsleytan ofta momentan och brandförloppet når snabbt full intensitet med stora flammor och hög värmestrålning mot



omgivningen. Brand i vätskor är dock två-dimensionell, d.v.s. det är en ytbrand och släcks denna så är i princip problemet löst. Möjlighet finns dessutom oftast att, under pågående brand i slutna system, kunna pumpa över produkt till andra cisterner för att på så sätt rädda stora mängder av den brinnande produkten. För detta ändamål har under årens lopp utvecklats både utrustning, släckmedel och taktik och generellt sett finns en ganska god kunskap och beredskap. Eftersom raffinaderier och större cisternlager ofta är samlokaliserade och placerade vid hamnar är de stora riskobjekten ganska få och på dessa orter har oljeindustrin tillsammans med den lokala räddningstjänsten byggt upp kunskaper och släckresurser. Oljebolagen har dessutom under senare år på nationell basis byggt upp en storskalig släckutrustning (SMC) med tillhörande personal på fyra orter i Sverige och speciellt taktik för att kunna hantera stora cisternbränder i olika petroleumprodukter.

Genom övergången till olika typer av biobränslen och återvinning av avfall (både som energi eller materialresurs) hanterar vi nu istället stora mängder fast material. Eftersom värmevärdet (och bulkdensiteten) för de flesta fraktioner är lägre än för olja blir dessutom hanterings- och lagringsmängderna betydligt större. Hantering, lagring, och förädling kommer dessutom i många fall att ske mer lokalt för att reducera transporter vilket innebär att i stort sett varje kommun kommer att behöva hantera dessa risker i mindre eller större omfattning. Av utrymmesskäl sker oftast lagringen av materialet utomhus i stora stackar. För förädlade, torra produkter, t.ex. träpellets, sker dock lagringen inomhus i stora planlager eller silor. Gemensamt för dessa material är att vi saknar tydliga, definierade ”riskparametrar” på samma sätt som för vätskeformiga bränslen (motsvarande t.ex. flampunkt, termisk tändpunkt, etc.) och att det saknas en tydlig lagstiftning kring hanteringen. I och med att egenskaperna hos de olika biobränslena/avfallstyperna kan variera oerhört så är det också svårt att i dagsläget ge generella råd och riktlinjer.

Inträffade bränder visar att ett vanligt brandscenario är en brand som uppstår genom självantändning och börjar då djupt nere i materialet. Branden (pyrolysen/glödbranden) är svår detekterad och hinner ofta bli relativt omfattande innan den upptäcks. Resultatet blir en 3-dimensionell brand som är svår att definiera i omfattning och oftast svårare att släcka. Omflyttning av opåverkat material är betydligt mer komplicerat då man måste frakta undan detta med maskiner under pågående brand. För detta måste det då finnas fria lagringsytor dit materialet kan flyttas och dessutom måste man hela tiden kontrollera att man inte får med någon glöd-/brandhärd som på så sätt sprider branden. I samband med ingrepp i lagren kan detta resultera i ökad syresättning vilket kan leda till en fullt utvecklad ytbrand som ytterligare förvärrar situationen.

Redovisade incidenter visar också att räddningstjänsten i de allra flesta fall saknar erfarenhet, anpassad släckutrustning och taktik för att hantera dessa bränder. Stora mängder släckvatten används, vilket i sin tur kan skapa miljöproblem. I vissa fall har det använts skum, ibland med avsikt att förbättra vattnets penetrationsförmåga, i andra fall för att täcka den brinnande ytan men den observerade nyttan av detta varierar påtagligt. Incidenterna visar att både anläggningsägarna och räddningstjänsterna är i stort behov av ökade kunskaper. För anläggningsägarna handlar det om att baserat på detta kunna vidta lämpliga riskreducerande åtgärder så att bränder i möjligaste mån undviks eller begränsas i omfattning. Räddningstjänsterna kan genom ökad kunskap ges en rimlig chans att hantera denna typ av brandscenarier genom utbildning, anskaffning av relevant utrustning och tillämpning av rätt taktik.

En aspekt som är mycket viktig att beakta och som också framkommer i flera av rapporterna från inträffade bränder är arbetsmiljöaspekterna i samband med en släckinsats. Branden i sig utgör naturligtvis en fara men detta är något som räddningstjänstpersonalen är vana vid och de har också den personliga skyddsutrustning som krävs. Den släcktaktik som nästan genomgående tillämpas, d.v.s. att lämna materialet under samtidig vattenbegjutning skapar dock en mycket farlig arbetsmiljö på

flera sätt. Lämpningen innebär omfattande trafik med lastmaskiner och bilar och på grund av kraftig rök kan sikten vara begränsad. Insatsen pågår dessutom sannolikt under flera dygn och då alltså även nattetid vilket ökar riskerna ytterligare. För att lösa uppgiften krävs medverkan av både anläggningspersonal och extern personal, tex. förare av olika typer av fordon. Risken är att dessa inte har tillgång till friskluftsmasker som brandpersonalen har och därmed exponeras för både brandrök och damm som bildas vid lämpningsarbetet. Eftersom luktsinnet avtrubbas är det också större risk att denna personal bedömer riskerna med inandning av brandgaser annorlunda än utbildad brandpersonal och därmed utsätter sig för större risker. Även för räddningstjänsten innebär det ökade risker då personal kan tvingas arbeta långa pass utan sammanhängande vila. Till viss del kan man kalla in deltidspersonal, men dessa har oftast ett ordinarie arbete som kan begränsa möjligheten att ställa upp. Även tillgången till andningstuber kan utgöra ett problem och kan kräva flera man som enbart jobbar med att fylla på använda tuber.

Slutligen kan man inte bortse från de ekonomiska aspekter som en brand i ett stort bränslelager medför. Dels kan de direkta kostnaderna för det förstörda bränslet och de direkta räddningstjänstinsatserna naturligtvis vara mycket omfattande men det uppkommer också en mängd indirekta kostnader som i många fall aldrig kommer med i en slutlig summering av den totala skadekostnaden. Detta kan vara stilleståndskostnader, både i den drabbade anläggningen men kanske också för omgivande verksamheter som måste stängas på grund av rök, etc. Boende i angränsande bostadsområden kan bli berörda och inte minst kan det uppstå långsiktiga kostnader på grund av föroreningar till luft, mark och vatten. Även socioekonomiska kostnader kan uppstå i form av t.ex. rädsla hos allmänheten som kan få konsekvenser för anläggningens fortsatta drift. Inträffar en brand under den kalla årstiden och en kritisk anläggningsdel i ett kraftverk slås ut så kan det också drabba tredje man högst påtagligt genom att t.ex. fjärrvärmens slås ut.

Det kan vara läge att i samband med inträffade bränder nämna även explosioner. Det har de senaste åren inträffat ett antal dammexplosioner i samband med lager av biobränslen och det finns risk för damm- och gasexplosioner i lager i slutna utrymmen. Det är emellertid främst en fråga om utbildning och utnyttjande av kunskap som finns. Området anses också ligga utanför det område som presenteras i denna rapport och tas därför inte med i det föreslagna forskningsprogrammet.

## 9 Riktlinjer

Det finns idag inte mycket riktlinjer vad gäller lagring inom områdena biobränslen och verksamhetsavfall. I detta kapitel sammanfattas några olika regler eller riktlinjer kring deponering och lagring. De sammanfattade dokumenten har olika karaktär. Vissa är direktiv och förordningar, medan andra är bransch- eller företags specifika riktlinjer. Tillsammans ger de dock en relativt bra bild av situationen i dagsläget.

### SLU

Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, har sedan 1980-talet studerat stacklagring av olika typer av sönderdelat träbränsle, primärt med syfte att optimera bränslets kvalitet, men också för att minimera risker för självantändning. Arbetet är publicerat i ett flertal rapporter. Baserat på detta ges råd om lagringsförhållanden och stackhöjder för sönderdelat träbränsle för att undvika självantändning av Thörnqvist [27] och Lehtikangas [29]. Nedan ges en summering av dessa rekommendationer.

- Lagra olika träbränslesortiment i skilda stackar
- Försök minimera fukthaltspridningen i stacken
- Packa absolut inte stackar med sönderdelade hyggesrester eller liknande material
- Undvik metallföremål i stacken
- Lagra träbränslen i en avlång stack med tvärsnittsareans bas lika med dubbla stackhöjden
- Undvik gropar och upphöjningar utmed stackens sidor
- Bygg upp stacken längs med huvudvindriktningen
- Undvik att överskrida följande höjder vid uppläggning av träbränslelager

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

\*) I ett tillägg till Lagringshandboken skriver Lehtikangas att man har konstaterat att sågspån kan lagras med stackhöjder upp till 12 m med ett bra resultat.

För att erhålla en god uttorkning av träbränslet samt låga energiförluster under lagringen bör lagringshöjden inte underskrida 6-7 m vid uppläggningsen.

### SBF

Brandförsvarsföreningen gav i slutet av 1980-talet (reviderad i början av 1990-talet) ut en rekommendation vad gäller Brandrisker och skydd vid kraft- och värmeanläggningar för fasta bränslen [90]. Den innehåller en del information om olika bränslen och brandrisker för olika delar av processen och anläggningen. När det gäller lagring av träbränsle hänvisas till Thörnqvists rekommendationer (se ovan).

### Trygg-Hansa

Trygg-Hansa har tagit fram egna riktlinjer när det gäller lagring av träpellets [91]. Några utdrag ur dessa riktlinjer är att generellt får fuktig pellets ej inlagras. Vid planlagring bör ytor över 2000 m<sup>2</sup> sektioneras. Angreppsvägar för räddningstjänsten skall vara anordnade. Vid stora lager (>2000 m<sup>2</sup>) bör det finnas lättskumsaggregat i tak. I stora slutna utrymmen bör det även finnas detektionsutrustning. För lagring i silos skall det vid större volymer än 500 m<sup>3</sup> finnas fasta införingsanordningar från säker plats för släckning med gas samt detektionsutrustning i form av ”gasanalysator”. I båda fallen kan effektiv

temperaturmätning inne i den lagrade pelletsen eventuellt ersätta andra detektionsmetoder.

### Myndigheter

När det gäller avfall finns det flera direktiv och förordningar som är aktuella. Tidigare i rapporten har nämnts deponeringsdirektivet [92], vilket behandlar vad man får och inte får deponera. I detta direktiv står det bl.a. att ”För att hushålla med naturresurser och undvika onödig markanvändning bör uppkomst av avfall förebyggas samt återanvändning och återvinning av avfall liksom användning av återvunna material och återvunnen energi uppmuntras”. Det står vidare att ”Deponering, liksom varje annat slag av avfallshantering, bör övervakas och hanteras på ett lämpligt sätt så att potentiellt skadliga effekter på miljön och risker för människors hälsa förebyggs eller minskas”. Några år senare kom förordningen om deponering av avfall [93]. I denna står det att utsorterat brännbart avfall respektive organiskt avfall inte får deponeras. Det är detta som på många sätt förändrat avfallshanteringen under de senaste åren. Tyvärr saknas emellertid tydliga riktlinjer för hur avfallet bör lagras.

Räddningsverket gav 1996 ut riktlinjer för lagring av bildäck [94], men har inte ansett att det ingår i deras ansvarsområden att ta fram riktlinjer för lagring av avfall.

Redan 2004 skickade Länsstyrelsen i Hallands Län en begäran att Naturvårdsverket (i samråd med andra berörda) skulle utreda miljöeffekterna vid bränder i avfallslager och ta fram riktlinjer och föreskrifter för lagring av brännbart avfall för att undvika okontrollerade bränder med stora miljö- och hälsofarliga utsläpp till miljön som en följd [95]. Räddningsverket har också uppmärksammat Naturvårdsverket om behovet av centrala riktlinjer och att det borde vara Naturvårdsverkets ansvar. Detsamma gäller Länsstyrelsen i Jönköpings län som har skickat en skrivelse till Naturvårdsverket angående tillsynsvägledning och centrala riktlinjer för lagring av brännbart material, främst verksamhetsavfall med även andra råvaror. De fick svaret att Naturvårdsverket för tillfället inte har tid till arbete med denna fråga utan hänvisade till arbete utfört på annat håll. Bl.a. nämnde de en rapport inom området som Avfall Sverige skulle publicera. Förmodligen syftar de på det förslag till brandriskanalys som konsulter har arbetat fram och som Avfall Sverige publicerade 2007 (se nedan).

### ÖSA

På uppdrag av Avfall Sverige (RVF) har ÖSA Öresund Safety Advisors AB utarbetat ett förslag till guide för brandriskanalyser i avfallsupplag [96]. Målet med guiden är att ge riktlinjer för hur en brandriskanalys för upplag kan genomföras samt vad den bör innehålla. Utifrån upplagets innehåll samt placering i förhållande till omgivningen kan då upplagsinnehavaren finna förslag på lämplig utformning av det specifika upplaget. Det kan dock finnas anläggningar där guiden inte är fullt tillämpbar varför applicerbarheten alltid måste beaktas.

Själva guiden innehåller ett antal frågeställningar med olika svarsalternativ som skall besvaras för den aktuella anläggningen. Svarsalternativen har klassningen ”Låg, Medel och Högt” vilket gör det möjligt att få en grov riskbild och en möjlighet att prioritera och optimera fortsatta förbättringsåtgärder.

De frågeställningar som skall besvaras innefattar:

- Generell information om anläggningen
- Applicerbarhet
- Verksamhet
- Brandens uppkomst och tändkällor
- Brandens utbredning och spridning

- Bildandet av giftiga brandgaser
- Påverkan på människor
- Miljöpåverkan
- Räddningstjänstinsats

Som stöd för fortsatta förbättringsinsatser ges också förslag till riskreducerande åtgärder och beräkningsexempel på hur bl.a. värmestrålningsnivåer, brandspridningsförlopp och emissioner kan beräknas. Vid genomgång av dessa har vi noterat vissa tveksamheter i gjorda antaganden.

Som mer generella kommentarer till redovisade beräkningar kan man nämna att:

- Flera antaganden angående antändningsegenskaper, brandspridningsförlopp och brandeffekt är mycket tveksamma. Dessutom används många värden generellt oavsett typ av avfall eller lagringstyp.
- Man behandlar allt kompakterat/balat material helt utan urskiljning om detta består av t.ex. av blött hushållsavfall eller torrt verksamhetsavfall. Antaganden kring brandspridning i och brandeffekt från balat material är dåligt underbyggda och är tveksamma.
- Antagen brandeffekt för balat material (100 kW per bal) är grundat på försök med en djup glödbrand i hushållsavfall [59] och är sannolikt ett alldeles för lågt antagande för en ytbrand, speciellt i verksamhetsavfall. Detta bekräftas också av erfarenheterna från branden i Ålborg [78]. Å andra sidan är antagen brandeffekt i löslagrat avfall ( $5 \text{ MW/m}^2$ ) sannolikt ett högt antagande även om det är fråga om en tredimensionell brand. Bensin (tvådimensionell) ger som jämförelse en effektutveckling på drygt  $2 \text{ MW/m}^2$ .
- Som skyddsavstånd mellan stackar nämns generellt 4 m vilket är mycket kort i många fall.
- Referenser till underlag för rekommenderad maximal lagringsyta för olika typer av avfall saknas. Antagen brandyta är ej underbyggd med referens eller annan information.
- Spridningsberäkningarna är gjorda under olika vindförhållanden medan värmestrålningsberäkningarna endast är redovisade för vindstilla förhållanden
- Osäkert om antagna värden för kritisk strålningsnivå,  $30 \text{ kW/m}^2$  är relevant för alla avfallsslag

Detta visar framförallt att det idag saknas kunskap om flera viktiga områden för att kunna genomföra riskanalyser baserade på vetenskapliga resultat. Det finns därför ett stort behov av att fylla dessa kunskapsluckor genom att t.ex. genomföra olika typer av brandförsök.

### **RVF**

Redan 2003 gav RVF (Svenska Renhållningsverksföreningen; numera Avfall Sverige) ut vissa råd för deponier och förbränningsanläggningar [55]. Syftet med denna publikation var att lämna åtgärdsförslag och diskussionsunderlag för hur hanteringen av avfall kan förbättras för att undvika brandsituationer. Utredning var en uppföljning av en liknande utredning gjord ca 10 år tidigare. Rapporten är fokuserad mot deponibränder och innehåller statistik över inträffade bränder, typ, storlek, orsak, mm. Rapporten innehåller också en kort redogörelse av de tre största deponibränderna som inträffade i Sverige under 2002.

De slutsatser som dras och de rekommendationer som ges kan kort summeras enligt följande.

- Ett fåtal bränder står för huvuddelen av utsläppen och man bör således fokusera på dessa.
- Obehöriga på anläggningarna misstänks ha orsakat två av de tre största bränderna. Viktigt att ha striktare förhållningsorder och regelbunden bevakning.
- För att minimera brandutvecklingen bör materialet förvaras i mindre celler utan direkt kontakt dem emellan.
- Man bör tillämpa regelbunden mellantäckning av tippytan.
- Olika avfallsslag bör särdeponeras
- Askor bör deponeras helt separat om möjligt, i annat fall bör släckutrustning finnas lätt tillgänglig i närheten av stacken.
- Ju mer välsorterade fraktioner man har, desto mer välanpassat kan också brandskyddet vara.
- Rekommendationerna gäller även för deponier vid förbränningsanläggningar.

### **NICe**

Experter från de nordiska länderna har under 2008 arbetat på ett riktlinje-dokument för lagring och hantering av fasta biobränslen. Dokumentet kommer att publiceras som ett Nordtest-dokument och innehåller en del råd och riktlinjer för att öka brandsäkerheten. Informationen i dokumentet bygger på nuvarande kunskapsläge och är begränsad.

Sammantaget kan man säga att eftersom det saknas tydliga och generella riktlinjer är det mycket upp till de enskilda tillståndsmyndigheterna och deras handläggare att avgöra vilka krav som skall ställas. Ett domstolsutslag från Miljödomstolen vid Växjö Tingsrätt visar emellertid att Länsstyrelsen har rätt att ställa krav, även vad gäller brandsäkerhet, på verksamheter där avfall hanteras och lagras.

Det kan avslutningsvis här noteras att existerande rekommendationer skiljer sig markant mellan träbränslelager och avfallsdeponier. I det senare fallet är rekommendationen att hårdkompakta lagret för att minska risken för självantändning medan för sönderdelade hyggesrester och liknande skall man absolut inte packa materialet. En tydlig förklaring till denna skillnad saknas. Detta är därför ett område som behöver studeras vidare.

## 10 Summering av problemställningar

Utredningsarbetet och denna rapport visar tydligt på den stora omställning som har inletts för att ersätta fossila bränslen med olika typer av bioenergi. För att klara detta kommer att krävas många olika energialternativ och tekniska lösningar.

Ett grundläggande problem är att det saknas "riskparametrar" för de olika nya biobränslena och avfall, motsvarande dem som finns för traditionella bränslen i vätske- och gasform (flampunkt, termisk tändpunkt, etc.). En av målsättningarna med föreslagna insatser är att ta fram mer kunskap kring olika bränsletyper och deras karaktäristiska beteenden med avseende på brand och därmed på sikt också kunna ta fram specifika parametrar som kan användas vid riskbedömningar, riktlinjer och rekommendationer, föreskrifter, etc.

För att lära av de erfarenheter som vunnits hittills genom inträffade bränder och incidenter kommer en viktig del vara att skaffa statistik över lagring och bränder samt detaljinformation från olika bränder.

### **Fasta biobränslen**

Prognoser för 2020 respektive 2050 visar att användningen av biobränslen kommer att öka dramatiskt och i många fall är vi ännu bara i startfällan. Detta innebär att hantering och lagring också kommer att öka och för att trygga en säker energiförsörjning krävs också att man är medveten om olika risker och kan hantera dessa på ett relevant sätt. Brand är en sådan risk, som kan ge mycket stora skador.

### **Vätske- respektive gasformiga biobränslen**

Inom petroleumbranschen har man under hela seklet successivt byggt upp kunskap kring brandriskerna vid hantering och lagring av brandfarliga vätskor och gaser och skadefrekvensen är i dagsläget mycket låg i förhållande till hanterade volymer och målsättningen måste naturligtvis vara att nå en liknande säkerhetsnivå för de nya bränslealternativen. I flera fall, t.ex. när det gäller biobränsle i gasform, har biobränslet samma egenskaper och risker som traditionella bränslen vad gäller hantering och transporter. Kunskap om dessa risker finns därför till stor del redan idag och fokus kommer därför inte att läggas på dessa risker i det föreliggande forskningsprogrammet. Det kan däremot finnas fall där biobränslen (framför allt vätskor) med nya egenskaper utvecklas och börjar användas i större utsträckning. Där kan det vara viktigt att genomföra speciella studier av brandrisker, hanteringsproblematik, släckmetoder, etc.

### **Verksamhetsavfall**

Lagringssättet har naturligtvis stor påverkan på riskerna och här finns många frågeställningar som är viktigt att industrin får ett snabbt svar på, bl.a.

- Kompaktering eller inte. Vad kommer det sig att råden är olika för biobränsle respektive avfall? Vilka processer är viktigast? Vad säger statistiken?
- Hur säkert är balning? Vilka erfarenheter finns och från vilka bränslen?
- Ovan beskrevs en undersökning av Nammari där man konstaterade att anaeroba nedbrytningsmekanismer dominerar i runda balar medan aeroba, dominerar i rektangulära balar efter den första månaden. Det bör vara viktigt att förstå vad detta beror på och vad det får för effekt på brandsäkerhet och brandbeteende för de olika baltyperna.
- Förekomsten av självantändning och riskerna med RDF och liknande typer av avfall bör undersökas närmare (se avsnitt 7.1.2).

Som nämndes tidigare borde riskerna med den förändrade lagringen som en följd av avfallsdirektivet snarare öka än minska jämfört med den tidigare situationen eftersom de presenterade undersökningarna visar att det redan då var främst utsorterat avfall lagrat i olika fraktioner som brann. Avfallsdirektivet har medfört en ökad sortering och ökad mellanlagring, vilken i många fall kan skapa relativt stora lager. Dessa kan dessutom existera under förhållandevis lång tid. Det finns ett stort behov av uppdaterad statistik både vad gäller lagring (typ, materialsammansättning, mängder, etc.) och inträffade incidenter/bränder.

### **Släckning**

Inträffade bränder visar att släckning är ett stort problem. Här behövs mer kunskap för att kunna hjälpa både anläggningsägare och räddningstjänster att hantera en uppkommen brandsituation och detta problem får också en stor tyngd i föreslaget FoU-program. Delvis kan det handla om att utveckla nya släcktaktiker med målsättningen att både reducera den direkta skadan, upprätthålla en hög bränslekvalitet på materialet som ej varit utsatt för direkt brand samt minimera påverkan på människor och miljö. Detta område är även kopplat till behovet av tidig detektion.



## 11 Internationell utblick

I denna internationella utblick försöker vi göra en sammanställning över de grupper som är aktiva eller nyligen har varit aktiva inom området brandrisker med lagring av biobränslen och avfall. Detta skall absolut inte ses som en detaljerad eller heltäckande litteraturstudie utan en sammanfattning av den forskning som pågår med relevans för det föreslagna forskningsprogrammet.

När det gäller självuppvärmning och självantändning finns det en hel del gjort och forskning pågår i Sverige och i andra delar av världen. Mycket av det som finns gjort och en del av den forskning som pågår handlar om kol, men det har gjorts och görs en del på biomassa också. Ett problem är att de traditionella metoderna för bestämning av självuppvärmning inte är direkt överförbara till biobränslen och därmed kan vara svårtolkade [26]. Biobränslen kan vara komplexa och går inte alltid att beskriva med enkla Arrheniusuttryck.

En grupp som har arbetat mycket med självantändning är Nugroho m.fl. vid University of Indonesia. De har främst studerat kol [97], men även i vissa fall biomassa. De har även jämfört några av de metoder som används för att studera risker för självantändning [98].

Chong m.fl. (Nya Zeeland) har studerat kinetiken för termisk antändning av sågspån [99]. Briseid och Eidså (Norge) studerade biologiska och kemiska processer under självuppvärmning av hö och halm [100]. Huruvida dessa forskargrupper fortfarande är aktiva inom området är inte känt. Gray m.fl. i Australien analyserade applicerbarheten av den s.k. Frank-Kamenetskii-metoden genom att studera bagasse (biprodukt från sockerrör) [101]. Gray har varit aktiv länge inom området och har bl.a. skrivit ett kapitel om självantändning och självuppvärmning i SFPE-handboken [102], men verkar inte ha publicerat något efter 2004.

KEMA Power Generation & Sustainables från Nederländerna har gjort en del arbete på självuppvärmning och självantändning [103]. De har genomfört experiment i småskala och fann bl.a. att tendensen till självuppvärmning och dess beroende på t.ex. fukthalt skiljer mycket mellan olika typer av biomassa. KEMA har inte publicerat något inom området sedan 2004.

Det bedrivs forskning i Japan om självantändningsriskerna med lagrat avfall då det där har skett ett antal allvarliga bränder i lager med pelleterat avfall [42]. Avfallet anges som RDF, men utgörs troligen till en viss eller stor del av hushållsavfall. Avfallets fukthalt är relativt låg och fukthalten i undersökta prover anges i en källa variera mellan 3 vikt-% och 27 vikt-% [43]. Problemen med självantändning anges vara initierad av vätning och fuktransport i de fall materialet utsätts för fukt samt mikrobiell aktivitet [44, 45]. Forskningen i Japan bedrivs främst på National Institute of Fire and Disaster. De har t.ex. jämfört egenskaperna för några olika bränslen [104].

På National University of Singapore studerar man delar av området. De håller för närvarande på med forskning inom området ”self-heating of carbonised wood”. De har även modellerat fuktkölen och dess inverkan på självantändning [105].

Gruppen med Eric Kennedy och Bogdan Z. Dlugogorski vid University of Newcastle i Australien har genom åren studerat självantändning, framför allt i kol, men även andra fasta material. De har även genomfört några studier av antändnings- och brandegenskaper i avfall [106]. Detta är framför allt småskaliga studier. De har även modellerat värmetransport i porösa fasta material [107].

Vid University of British Columbia (UBC) i Kanada bildades en forskningsgrupp 2006 som inriktat sig mot problematiken och logistiken från avverkningen av biomassa fram till produktion av bioenergi i olika former. Gruppen, "Biomass and Bioenergy Research Group", har vuxit snabbt och består av 8 doktorander och 4 disputerade forskare. Lagring och självantändning är således ett delområde som täcks in av gruppen. Man har också i nära samarbete Wood Pellets Association of Canada (WPAC) studerat problem med "avgasning", bl a kolmonoxidbildning, från träpellets under lagring och transport [47]. WPAC och deras forskningschef Staffan Melin medverkar i pågående BRANDFORSK-projekt kring silobrandsläckning.

Brandriskproblematiken i samband med hantering och lagring av biobränslen har också uppmärksamats av VGB (European technical association for power and heat generation). Som ett led i detta har man inom VGB-organisationen bildat en "Biomass" arbetsgrupp med inriktning att ta fram rekommendationer och riktlinjer. VGB har ingen egen forskningskompetens inom området utan kan ses som en potentiell intressent och eventuell finansör av olika forskningsprojekt inom området.

Nordic Innovation Centre (NICE) har tagit fram ett guideline dokument för lagring och hantering av fasta biobränslen som skall publiceras i årsskiftet 08/09, "Guideline for storing and handling of solid biofuels". Dokumentet tar upp flera frågor, såsom t.ex. nedbrytning av bränslet och därmed minskande energivärde, samt emissioner och hälsorisker. Ett ganska stort utrymme ägnas åt brandproblematiken, innefattande självantändning och släckning. Bakgrunden till guidelinedokumentet är den kraftiga ökningen av hantering av fasta biobränslen och att man uppmärksammat bristen på vägledning inom detta område. Man säger från NICE att det saknas vägledning i nationella standarder samt CEN standarder i dessa frågor. Arbetet med guideline-dokumentet har gjorts inom NICE projektet "Market harmonization by dissemination on new solid biofuel standards and development of ash classification and storage guidelines, Biostandard project - NICE00618". I projektgruppen ingick Dansk Tekniskt Institut (Peter Dauberg Jensen, projektledare), VTT – Finland, samt NAH Consulting – Sverige. En grupp personer från industri, högskola och institut ingick också i en referensgrupp, som också skrev stora delar av dokumentet. Här ingick DONG Energi, ÅF-Process AB, Statoil, Energi Randers Supply A/S, Skov og Naturstyrelsen, Faculty of Life Sciences KU, Danska Arbetsmiljöinstitutet, SLU Uppsala, Växjö Universitet, LTH Brandteknik, SP Brandteknik. Dokumentet ger en grundläggande vägledning, men bygger naturligtvis på nuvarande kunskap och har därmed brister inom många områden vad gäller brand. SP's erfarenheter vad gäller självantändning i silos med träpellets samt släckning av sådana bränder ingår i dokumentet, vilket är bra.

Standardiseringsarbete om fasta biobränslen har pågått en tid inom CEN TC335 som tagit fram ett antal Europastandarder, men ingen i nuläget om säkerhet och brand. Det fanns intresse under ovan nämnda arbete inom NICE att fortsätta arbetet inom CEN. Detta för att föra ut guideline dokumentet på Europainivå. Det har även relativt nyligen startat standardiseringsarbete inom ISO om fasta biobränslen (ISO/TC328). Sverige leder detta arbete. Här finns i nuläget inget arbete runt säkerhetsfrågor. Arbete inom standardiseringsorgan baseras dock alltid på den befintliga kunskapsnivå. I detta fall krävs prenormativt arbete för att komma vidare.

När det gäller brand och explosionsegenskaper hos etanol och E85 har vissa undersökningar gjorts vid PTB i Tyskland. Även INERIS i Frankrike har visat intresse för etanol och E85-problematiken men om något provnings- eller forskningsarbete har inletts är oklart. Problematiken kring släckning av etanolbränder har också uppmärksamats i USA och här har en intressegruppering bildats, Ethanol Emergency Response Coalition (EERC). Hittills har man finansierat en serie standardiserade släckförsök med olika typer

av brandsläckningsskum och det har diskuterats att genomföra ytterligare försök i större skala för att simulera förhållandena vid en cisternbrand.

Ämnet brandsäkerhet i biobränslen och avfall får inget större utrymme på de olika brandkonferenser som hålls i världen, men vid senaste International Symposium on Fire Safety Science (IAFSS 2008) i Karlsruhe presenterades några artiklar som har viss relevans för området. Det handlar om småskaliga studier av underventilerade bränder i bulklagrat material efter en självantändning [108], småskaliga studier av temperaturprofiler i avfall utsatt för strålning [109] samt två olika effekter av fukt, dels hur fukten i materialet påverkar tiden till antändning [110], dels luftfuktigheten betydelse för självuppvärmning av kol [97].

Även på ämnesspecifika konferenser om biobränsle respektive avfall är informationen om brandsäkerhet mycket begränsad. Vid den internationella konferensen ECO-TECH 2007 (6th International Conference on Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Energy from Waste, Remediation of Contaminated Sites, and Emissions Related to Climate) i Kalmar presenterades två artiklar med relation till bränder [77, 111]. På World Bioenergy 2008, en stor internationell konferens i Jönköping om bioenergi, presenterades tre artiklar med relation till brand, självuppvärmning, etc. [30, 37, 112]. För samtliga dessa artiklar kommer huvudbidragen från Sverige.

När det gäller avfallsområdet så finns det generellt ännu mindre publicerat än på biobränsleområdet. Det genomförs en del arbete ute i världen, men i de flesta fall är detta opublicerat arbete som genomförs av företag själva eller av konsulter på uppdrag av ett visst företag. Detta finns därför oftast i interna rapporter. Det kan dock även finnas en del publicerat i Asien på inhemska språk.

Ett undantag är forskning som bedrivs i Tyskland. Universitetet i Halle-Wittenberg har tillsammans med BAM (Tysklands nationella provnings- och materialforskningsinstitut) nyligen publicerat resultat från en studie om självantändning i avfall [113]. Studien verkar dock relativt begränsad och innefattar småskaliga försök på en modellsubstans och ett avfallsprov, men också förslag på en matematisk modell för beräkning av självantändningsprocessen.

Sammanfattningsvis kan man alltså säga att det mesta av det internationella arbetet har handlat om självuppvärmning/självantändning (varav en stor del för kol) och till största delen i småskala.

## 12 Förslag till forskningsprogram

Det föreslagna forskningsprogrammet kommer att ha huvudfokus på brand och brandrelaterade problem. Eftersom val av material och lagringssätt sällan väljs enbart med brandsäkerhet som utgångspunkt är det emellertid viktigt att se hur brandproblematiken relaterar till närliggande forskningsområden och pågående forskningsprogram inom biobränsle- respektive avfallsområdet. I biobränslen ingår här även olika biodrivmedel även om fokus ligger på fasta biobränslen. Denna samverkan kan ske på flera olika nivåer: aktivt deltagande i gemensamma projekt, inbjudan till deltagande i referensgrupp, gemensamma seminarier eller informationsutbyte på annat sätt. Av denna anledning kommer uppräknningen av tänkbara forskningsutövare (se kapitel 13) att ha ett bredare angreppssätt än programmet som alltså har ett fokus på just brandproblematiken.

Forskningsprogrammet är uppbyggt på sådant sätt att det går att se en viss kronologi i upplägget. Det går också från sammanställningar och småskala till fullskala. Det finns även en indelning enligt ämnesområden utifrån typ av material eller typ av frågeställning. Man skall dock inte läsa in någon tänkt prioriteringsordning i programmet. Det kan även i vissa fall vara lämpligt att kombinera arbete inom flera underområden för att på bästa sätt utnyttja olika resurser. Ett sådant exempel är att underområdena 3.2 (Mellanskaleförsök), 4.3 (Skalningseffekter), 6.1 (Emissionsmätningar) och 7.1 (Släckning) bör planeras och samordnas så att resurser utnyttjas på bästa sätt. För att poängtera att forskningsprogrammet beskriver problemområden och inte projekt har det delats in i delområden och underområden. Delar från olika delområden kan sedan kombineras till lämpliga projekt inom programmet för att få en bra samordning och på bästa sätt utnyttja tillgängliga resurser.

### 12.1 Delområde 1 - Programkoordinering

För att driva ett forskningsprogram av denna storlek krävs noggrann planering, styrning och uppföljning. Det kommer även att innebära många kontakter både inom programmet och utåt mot intressenter, anläggningsägare och andra forskargrupper. Detta delområde kommer därför att löpa under hela programmet.

En viktig uppgift inom detta delområde blir att färdigställa forskningsprogrammet genom att begära in detaljerade forskningsplaner och budget från de tänkta forskningsaktörer samt att skapa en programövergripande **styrgrupp** bestående av i första hand forskningsfinansiärerna. De detaljerade forskningsidéerna skall sedan granskas av **styrgruppen** och förhandlas av **BRANDFORSK** för att fastställa den totala forskningsvolymen innan de olika projekten kan påbörjas. Vidare kommer en **referensgrupp** bestående av lämpliga intressenter att följa projekten under programtiden för att diskutera tekniskt innehåll och utveckling samt samverka mellan de olika delprojekten. Inom ramen för detta arbete kommer även kopplingar till andra forskningsprojekt och forskningsprogram att definieras. En grov budget för forskningsprogrammet har tagits fram och rapporteras separat. En mer detaljerad budget kommer att definieras och beslutas om i samband med att detaljerna inom respektive delprojekt arbetas fram.

Under programmets gång kommer detta delområde dessutom att organisera möten och informationsutbyten samt sammanställa gemensamma programrapporter för intressenterna.

## **12.2 Delområde 2 - Sammanställning av statistik över incidenter och bränder**

Inom ramen för förstudien har kontakter tagits med flera försäkringsbolag och andra intressenter och även om det kan finnas viss information om olika inträffade bränder är det uppenbart att det finns ett stort behov av en sammanställning både av lagringssituation och av inträffade incidenter och bränder. Det finns mycket att lära av incidenter, även om de inte utvecklades till någon allvarlig olycka. Statistiken är också avgörande för att kunna genomföra relevanta risk- och kostnad/nytta-analyser (se Delområde 10)

### **12.2.1 Underområde 2.1 - Statistik över lagrat biobränsle och avfall**

Hur biobränslen och avfall lagras kan ha många olika orsaker: närhet till verksamhet, säsongsvariationer, hanterbarhet, materialbeständighet, brandrisk, etc. Tillståndsförfaranden, domstolsutslag, förändrad lagstiftning och tillfälliga bidrag eller andra morötter kan också ha stor inverkan.

För att kunna bedöma potentiella risker är det viktigt att ha kunskap om vilka typer av lagringssätt som är aktuella. Det är också viktigt att ha förståelse för orsakerna till en viss typ av lagring för att både logistiska behov och rimlig säkerhetsnivå kan uppnås. Målet med detta underområde är att ta fram statistik och sammanställa kunskap vad gäller lagring av biobränslen och avfall.

Inom ramen för detta underområde kommer även olika definitioner vad gäller biobränslen och avfall att specificeras. Ett exempel är verksamhetsavfall: hur skall det definieras och vilka fraktioner ingår i detta. Sådana definitioner kommer att vara viktiga för att få en samsyn inom och mellan de olika forskningsgrupperna och de olika delområdena. Det kommer därför att ha stor betydelse för det fortsatta arbetet inom programmet.

Tyngdpunkten inom detta delområde är alltså att få en övergripande bild av hur och hur mycket olika material lagras. I underområde 4.1 kommer sedan de olika lagringssätten att beskrivas mer i detalj.

### **12.2.2 Underområde 2.2 - Statistik över inträffade bränder**

Det finns en del publicerad statistik över bränder i deponier och större lager, men i och med att reglerna kring deponier har förändrats och avfallet därmed numera lagras på nya sätt (t.ex. i större utsträckning i sorterade fraktioner) är det viktigt att göra en ny analys över inträffade bränder. En annan viktig skillnad nuförtiden är att alltmer avfall balas. Det kan vara rundbalar eller fyrkantsbalar med eller utan plast och kan bestå av hushållsavfall eller olika typer av utsorterat verksamhetsavfall. Dessa skillnader kan ha stor inverkan på bedömningen av brandriskerna och det är därför viktigt att så aktuell statistik som möjligt görs tillgänglig. Den snabba utveckling på biobränsleområdet innebär också att nya bränslen eller nya typer av lager utvecklas.

Statistiken över inträffade bränder skall omfatta både avfall och biobränslen. Även internationell statistik skall studeras och inkluderas där det finns tillgängligt.

För att få fram så mycket information som möjligt kommer det att krävas samarbete med branschen (branschorganisationer och enskilda företag), försäkringsbolag, räddningsverket/räddningstjänsten, länsstyrelser, m.fl.

### **12.2.3 Underområde 2.3 - Sammanställning av erfarenheter från enskilda verkliga bränder**

Där information finns tillgänglig bör erfarenheter från enskilda verkliga bränder sammanställas. Det finns mycket att lära från sådana erfarenheter, oavsett om de är positiva eller negativa. Viktigt är också att samla in information om incidenter som inte utvecklades till allvarliga bränder. Varför uppstod incidenterna? Vad var orsaken att dessa inte blev allvarliga? Vilka beslut fattades och vad var resultatet av dessa beslut?

Resultat från en undersökning som denna kan dels användas direkt i form av erfarenhetsåterföring till branschen, dels användas som bakgrundsinformation vid framtagandet av de detaljerade forskningsplanerna för andra delområdena. Precis som för underområde 2.2 kräver detta samarbete med flera olika organisationer.

## **12.3 Delområde 3 - Definiering och karaktärisering av olika typer av avfall och bibränslen**

De olika bibränslen och avfallsfraktioner som existerar i Sverige behöver definieras och beskrivas. Denna kunskap behövs för att kunna uppskatta riskerna på ett korrekt sätt. Inom samma typ av bibränsle eller avfall kan det förekomma stora variationer i egenskaper. Det är viktigt att dessa variationer studeras och kvantifieras. En av målsättningarna med föreslagna insatser är att ta fram mer kunskap kring olika bränsletyper och deras karaktäristiska beteenden med avseende på brand och därmed på sikt också kunna ta fram specifika parametrar, motsvarande "riskparametrar" för traditionella bränslen. Kunskap om egenskaperna kan sedan kopplas till resultat från andra delområden (t.ex. släckning) och vara viktiga indata vid modellering. De kan även inkluderas i det förebyggande arbetet, vid riskbedömningar i riktlinjer och rekommendationer, föreskrifter, etc.

### **12.3.1 Underområde 3.1 - Småskaliga försök**

För att kunna göra beräkningar och bedömningar av antändning, brandspridning, brandeffekt, etc. behövs information om egenskaperna hos olika typer av avfall och bibränslen. För att bedöma självantändningsegenskaper kan det röra sig om bestämning av värmeledning, porositet, värmeproduktion/oxidation vid olika temperaturer, "crossing-point-mätningar". Andra viktiga egenskaper är förbränningsentalpi, strålningsstyrd antändning, etc. Mycket information kan fås i småskaliga metoder, medan vissa egenskaper kan påverkas av konfiguration och skala (se underområde 4.3).

### **12.3.2 Underområde 3.2 - Mellanskaleförsök**

Målet med detta delområde är att studera spridningen i egenskaper mellan olika typer av bränslen, beskriva hur man bäst bestämmer dessa egenskaper samt kartlägga hur skillnader i beskrivna egenskaper påverkar brandsäkerheten. Med försök i mellanskala kan antändningsegenskaper, brand- och spridningsförlopp studeras. Det ger även möjlighet att inkludera vissa tredimensionella effekter och effekter av lagringssätt (t.ex. vad gäller brandspridning, rasrisk. Detektion och släckning behandlas i två separata delområde (5 respektive 7)

### **12.3.3 Underområde 3.3 - Produktionsfaktorer**

Det har visat sig (t.ex. för pellets) att olika produktionsfaktorer kan ha stor inverkan på kvalitet och egenskaper hos det färdiga bränslet. Detta bör därför också studeras för att få en helhetsbild av vad som påverkar egenskaperna hos lagrat avfall och bibränsle. Här pågår det forskning (t.ex. inom ramen för projektet Pelletsplattformen), som ligger utanför detta föreslagna program, men eftersom kvalitets- och egenskapsvariationer kan

påverka självantändningsrisk och brandegenskaper är det viktigt att koppla ihop dessa områden.

Ett exempel på produktionsfaktorer är olika additiver som tillsätts för att förbättra pelleterings- respektive förbränningsegenskaper. Det bör utredas vilken inverkan detta har på självantändnings- och brandegenskaper. Detsamma gäller för olika bränsleblandningar.

## **12.4 Delområde 4 - Lagring**

### **12.4.1 Underområde 4.1 - Beskrivning av lagringstyper**

Avfall och bibränslen kan lagras på ett antal olika sätt. Brandrisker och släckningsmetoder kan variera kraftigt mellan dessa lagringstyper och därför är det viktigt att beskriva dessa olika typer och kartlägga den relativa förekomsten av dem. Fördelar och nackdelar bör också beskrivas. I underområde 2.1 skall en statistisk översikt göras för olika lagringstyper. I detta underområde (4.1) beskrivs de olika lagringstyperna mer i detalj.

Exempel på olika lagringstyper är: löslagrat i högar, balat avfall, kompakterat avfall, limpor och silo. För balar finns flera olika variationer: plastat, oplastat, rundbalar, fyrkantsbalar, etc. Egenskaperna är olika för dessa olika varianter. Inom underområdet kommer för- och nackdelar med olika lagringstyper att beskrivas. Det kan bli aktuellt med besök vid olika lager.

Inom samma typ av lagringssätt kan konfiguration (d.v.s. höjd, bredd, längd, lagringstäthet, avstånd, etc.) variera och detta kan ha signifikant betydelse för brandsäkerheten och risk för brandspridning.

### **12.4.2 Underområde 4.2 - Emissioner och åldringsegenskaper**

Det är viktigt att studera hur egenskaperna hos bibränslet eller avfallet för olika lagringssätt varierar med tiden, d.v.s. åldringsegenskaper. I samband med detta bör emissioner, temperaturförändring, etc. studeras för att se hur förändrade egenskaper och olika processer påverkar olika säkerhetsaspekter. Försök bör göras dels i mellanskala, dels i fullskala (se delområde 9). Detta underområde bör samordnas med underområde 5.1.

### **12.4.3 Underområde 4.3 - Skalningseffekter**

Lager av avfall och bibränslen är i många fall mycket storskaliga. Det är viktigt att studera skaleffekter (avseende antändning, brand- och spridningsförlopp, etc.), både för att se hur stora skillnaderna är mellan lager av olika storlek och för att se hur representativa försök i små- eller mellanskala är. Av ekonomiska orsaker och säkerhets- och miljöskäl är man ofta tvingad att genomföra brandförsök i mindre skala och då behöver man veta hur representativa resultaten kan anses vara. Detta kan ses som en fortsättning på eller komplettering till underområde 3.2.

### **12.4.4 Underområde 4.4 - Rasrisk**

I samband med lager föreligger i många fall en viss rasrisk, både i normalfallet och i samband med brand. Målet måste vara att minimera rasrisken. Därför behöver det studeras hur bränder och släckinsatser påverkar rasrisken.

### **12.4.5 Underområde 4.5 - Transporter**

Ökad användning av bibränslen samt ökning av återvinning av avfall innebär förmodligen ökade transporter. Detta kan innebära ökade risker som bör studeras. I vissa

fall, t.ex. vätskeformiga biobränslen, kan de nya bränslena ha andra egenskaper än traditionella bränslen. I andra fall, t.ex. metan, är egenskaperna desamma och det finns god kunskap om risker och hur bränslet skall hanteras på ett säkert sätt. En ökad användning kan dock innebära att transport- och distributionssystem förändras, vilket kan leda till nya typer av risker.

Transporter av avfall och biobränslen kan i vissa fall även utgöra miljö- och hälsofara (t.ex. kemiska processer i samband med transporter på fartyg, se även underområde 5.3). Det kan t.ex. vara produktion av CO. Lukt kan också innebära ett stort problem. Vissa av dessa processer handlar inte om bränder, men är nära kopplade till självuppvärmningsproblematiken.

## **12.5 Delområde 5 - Detektion**

### **12.5.1 Underområde 5.1 - Detektion i avfallslager och högar med biobränsle**

Erfarenheter har visat att bränder i avfallslager kan ha många olika orsaker: ej tillräckligt kompakterade lager, ofullständigt sorterade lager med katalytisk verkan av metaller som följd, oxidationsreaktioner, lokal självuppvärmning och förbränning (p.g.a. metan och andra kolväten i håligheter i avfallsstrukturen). Detta är processer och parametrar som kommer att studeras i ett annat delområde (delområde 3). Det är emellertid viktig bakgrundskunskap för att förstå hur förstadier till bränder kan detekteras. Detta gäller också för lager i biobränslen.

För att kunna förebygga en större brand är det viktigt att ha kontroll över lagrens egenskaper och att kontinuerligt få uppdaterad information utan att behöva göra fysiska ingrepp i lagren. För att kunna dra slutsatser om optimala lagringsförhållanden och bedöma olika risker är det viktigt att ha information om 1) väderförhållanden (lufttemperatur, luftfuktighet, lufttryck, vindhastighet och vindriktning) 2) emitterade gaser 3) temperatur på olika platser i lagret.

Inom ramen för detta underområde kommer bl.a. ett trådlöst övervakningssystem att utnyttjas med sensorer som utplaceras på olika platser i ett lager (högar, balar, etc.). Detta ska testas dels för utveckling av ett s.k. "Early Warning System" och dels som ett mätsystem som kan ge en tydligare bild än tidigare hur olika processer fortgår i lagren. Parametrar som temperatur, fuktighet, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> skall registreras så att en tredimensionell bild kan erhållas över situation i lagren.

Det finns även andra tänkbara metoder som kan vara aktuellt att testa, t.ex. samplande gasanalyssystem, temperaturkablar, etc. Det är också viktigt att studera systemens robusthet, d.v.s. hur fungerar ett visst system efter en viss tid eller efter hantering av det lagrade materialet.

### **12.5.2 Underområde 5.2 - Detektion i silor**

Det finns idag metoder som används för detektion av termisk/kemisk aktivitet i silor. Det handlar främst om temperaturmätningar i materialet samt gasanalys i form av CO-mätning eller i vissa fall genom mer avancerade system, s.k. elektroniska näsor nära silotoppen. Inom ramen för detta underområde är det alltså inte meningen att detektionsmetoder skall utvecklas utan det handlar mer om att sammanställa praktisk erfarenhet från dessa detektionssystem. Hur fungerar de efter en tids installation och hur används informationen man får från mätningarna? Vad är det för fellarmsfrekvens och uppstår det andra problem? Detta underområde är därför kopplat både till statistikområdet (delområde 2) och till delområde 11 om riktlinjer.



### **12.5.3 Underområde 5.3 - Hälsosfarliga utrymmen**

Det har inträffat flera olyckor i samband med oxidation av biobränsle vid transporter på fartyg. Det har t.ex. producerats CO och personer utan kännedom om detta har avlidit efter att ha gått in i lagringsutrymmet eller i vissa fall t.o.m. bara i angränsande utrymmen. Det är emellertid inte bara fartyg som kan vara av intresse, utan även andra typer av slutna utrymmen, t.ex. silor. I och med att användandet av biobränslen ökar kan det även vara viktigt att studera om motsvarande problem kan uppstå vid lagring för småskalig uppvärmning av bostäder. Målet är alltså att kartlägga problemet för att se hur olyckor kan förhindras.

## **12.6 Delområde 6 - Emissioner från bränder i lager och annan miljöpåverkan**

Vad som bildas och emitteras från en brand beror på flera olika parametrar. Tidigare studier har visat att det framför allt är materialsammansättningen och ventilationsförhållandena (d.v.s. tillgång på syre) som avgör vad som bildas, även om temperaturen är väldigt viktig för vissa ämnesgrupper, t.ex. dioxiner/furaner. Eftersom bränder i avfalls- eller biobränslelager kan bli både stora och långvariga utgör emissionerna från dessa typer av bränder en stor andel av totala utsläppen från bränder i Sverige under ett år. För vissa ämnesgrupper kan dessa emissioner även utgöra en betydande andel av de totala utsläppen överhuvudtaget i Sverige. I och med att material och lagringssätt förändras finns det ett behov av att mäta emissionerna under olika förhållanden. Denna information är viktig både för att kunna uppskatta de lokala emissionerna i samband med en viss brand och för att beräkna totala utsläpp från bränder.

### **12.6.1 Underområde 6.1 - Emissionsmätningar i samband med mellanskaleförsök med biobränsle**

Lämpliga scenarier (typ av biobränsle, lagringssätt, etc.) väljs ut som en del av arbetet. Brandförsök genomförs där avbrinningshastighet, brandeffekt och produktion av olika ämnen mäts. Mätningar och analyser kan sedan användas för att beräkna utbyten för dessa ämnen. Utbyten av detta slag kan utnyttjas för att bestämma emissioner från en viss typ av brand, som indata i spridningsberäkningar eller för sammanställningar av totala utsläpp i Sverige.

Inom detta och/eller nästa underområde kommer utrustning för gasanalys att testas för att sedan användas i storskaliga brandförsök. Exempel på sådan utrustning kan vara DOAS, mobil mass-spektrometer (MS), in-situ FTIR, LIDAR, etc. Exakt vilken utrustning som i slutändan används beror på vilken som anses vara lämpligast eller ha störst potential. Detta beslut fattas som en del av projektarbetet. Ett problem med mätningar i samband med verkliga bränder är att det är svårt att uppskatta hur mycket som brinner. För att öka användbarheten i storskala av de nämnda utrustningarna kommer en metod för att uppskatta avbrinningen att kontrolleras mot mätningar i mellanskala.

### **12.6.2 Underområde 6.2 - Emissionsmätningar i avfallslager**

Detta omfattar liknande arbete som presenterades i underområde 6.1. Här handlar det emellertid om avfall och här kan typ av avfall (olika fraktioner) och typ av lagringssätt variera. Det handlar alltså t.ex. om analyser i samband med brandförsök.

En av de viktigaste undersökningarna i samband med brand i avfallslager är uppbyggnaden av toxiska gaser under en brand. Eftersom temperaturen i ett avfallslager under en brand kan vara 300–400 °C och materialet innehåller klor finns det stor risk att

det bildas dioxiner, polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och polyklorerade bifenyler (PCB).

För att följa Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POP) from December 2001 [114] ska arbetet inkludera att identifiera och kontrollera utsläppen av klorinerade organiska ämnen inkluderande polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) och polychlorinated dibenzofuraner (PCDF) och skaffa information om omfattningen av utsläppen av PCDD/PCDF till omgivningen under de olika utvecklingsstadierna fram till brand i lager med avfallsbränslen. Källor kan vara trä som behandlats med PCP (pentaklorfenol) och som inte sorterats ut från avfallet före lagring, förbränning och förstadier till pyrolys som kan uppkomma i ett lager med avfallsbränsle och de emissioner som senare sker vid fullt utvecklad brand, under släckningsfasen, utgrävning och transport av brandresterna samt under sluthantering av brandresterna.

Inom ramen för detta underområde bör även sammanställas tillgängliga resultat från mätningar av emissioner från stora lager. Detta kommer att skötas via lämpliga kontakter. Ett sådant exempel är Flexus, som säljer balningsmaskiner över hela världen. På vissa platser med stora ballager har noggranna mätningar gjorts på temperatur och gas samt det dagvatten som generas. I det fall de blir möjligt att få tillgång till denna typ av data från olika företag i dessa länder så bör det kunna tillföra området viktig information. Flexus tar för närvarande kontakt med dessa företag för att göra så mycket data och annan information tillgängligt som möjligt. Flexus Balasystem ger support vid fältstudier av ballager med runda balar via deras kontaktnät samt är behjälplig med utrustning där det behövs.

### **12.6.3 Underområde 6.3 - Släckvattens och skumvätskors effekt på miljön**

I samband med brandsläckning hamnar ofta många olika ämnen i släckvattnet. Analyser av släckvatten krävs både för att bedöma farligheten och för att bestämma hur vattnet bör tas om hand. I samband med försök i mellanskala kommer släckning med efterföljande analys av släckvattnet att genomföras (se även delområde 7 och 9)

Brandsläckningsskum är ett i många situationer effektivt släckmedel, men kan påverka miljön: 1) skumvätskans direkta påverkan på miljön, 2) skumvätskans påverkan på reningsanläggningar, 3) skumvätskans inverkan på vad som hamnar i det förorenade släckvattnet, samt 4) skumvätskans inverkan på spridning av ämnen och kemikalier i t.ex. mark. Liknande arbete har gjorts tidigare, men det bör uppdateras för aktuella förhållanden, både vad gäller skum och bränslen. Olika skum kan ha helt olika "miljöegenskaper". Det är framför allt punkt 3) som kommer att vara aktuellt i detta område. Detta kommer att studeras i samband med brandförsök i mellanskala.

### **12.6.4 Underområde 6.4 - Utveckling av databas för emissioner**

Emissioner är beroende av lagringstyp, ventilation, temperatur och andra yttre förhållanden. Resultat från de genomförda experimenten i underområde 6.1 och 6.2 kommer att användas för att komplettera befintliga emissionsmodeller. I detta underområde bör därför resultat från detta FoU-program och annan FoU att sammanställas i en databas. Emissioner både till luft och vatten kommer att ingå. En viktig fråga att besvara i dessa sammanhang är: Hur förhåller sig effekter på miljön från brandgaserna jämfört med vatten?

### **12.6.5 Underområde 6.5 - Brandrester och sanering**

I samband med genomförda brandförsök kommer brandrester att analyseras, detta för att bestämma hur brandrester och olika massor skall hanteras. Det är även intressant att studera emissioner under utgrävning av släckt lager.

### **12.6.6 Underområde 6.6 - Sammanställning av totala emissioner**

Eftersom erfarenheten säger att bränder i avfallslager och andra större bränder kan innebära signifikanta emissioner kan det vara intressant att få en aktuell sammanställning. Utgående från statistiken i delområde 1, resultaten från försöken i delområde 6 och litteraturdata kommer de totala emissionerna från bränder i avfalls- och biobränslelager under ett år att uppskattas.

## **12.7 Delområde 7 - Släckning**

Mycket av arbetet i de tidigare beskrivna delområdena går ut på att minimera risken för bränder. En av de vanligast frågorna är emellertid hur man skall släcka en eventuell brand. Det finns ofta krav från omgivningen på att släckningen genomförs på ett sådant sätt att obehag i form av rök, lukt, emissioner av olika ämnen etc. minimeras. För att få till en lyckad släckningsinsats är det viktigt att ha information om vad det är för slags brand som skall släckas och hur det ser ut. Ökad kunskap behövs för val av lämplig taktik och släckmetod samt lämpligt släckmedel.

I områdesbeskrivningarna nedan diskuteras släckning av bränder i fasta bränslen och i vätskor. Biobränslen kan även förekomma i gasform, men biobränslena i gasform skiljer sig i dagsläget inte väsentligt åt från existerande gasbränslen. Det finns därför mycket kunskap om hur dessa bränslen skall hanteras på ett säkert sätt (se dock område 4.5). Fokus ligger därför på förekommande lagring av de fasta råvaror som används för produktionen av biogaser. Situationen kan naturligtvis förändras i och med att nya bränslen utvecklas och att icke-professionella får en allt större kontakt med dessa bränslen. Uppfattningen är dock att detta program inte skall fokusera dessa eventuella problem utan det får eventuellt behandlas separat längre fram.

De resultat som kommer fram från detta delområde kommer att jämföras med de parameteregenskaper som definieras i delområde 3 för att analysera om dessa kan relateras till varandra.

### **12.7.1 Underområde 7.1 - Släckning av lager av fasta material**

Programmet omfattar många olika bränslen och typer av lager. Det krävs därför kännedom om brandförloppetets karaktär för att kunna utvärdera vilken taktik, utrustning och vilket släckmedel som är lämpligast i olika situationer. Återigen är huvudförsöksserien tänkt att utföras i mellanskala, men vissa förförsök i småskala kommer också att inkluderas. Vissa försök kommer att kombineras med dem där analyser skall genomföras i underområde 6.3, men det kommer förmodligen att krävas fler försök, utöver dem för vilka analyser av släckvatten kan göras.

Exempel på olika släckmetoder är vattenbegjutning, skumsläckning (olika typer av skum), täckning med jordmassor eller skum, inertering med gas, etc. Det finns olika aspekter på arbetet: släckning, begränsad risk för brandspridning, minskad rökutveckling, etc.

### **12.7.2 Underområde 7.2 - Släckning av silobränder**

Här har det under de senaste åren genomförts en hel del forskning och resultaten har även med framgång praktiserats vid verkliga bränder. Erfarenheterna från dessa insatser bör emellertid sammanställas så att de kan inkluderas i arbetet med riktlinjer (delområde 11).

### **12.7.3 Underområde 7.3 - Släckning av etanolcisterner**

Petroleumindustrin har lång erfarenhet av säkerhetsarbete när det gäller lagring av olika petroleumprodukter och det finns även utrustning utvecklad på nationell nivå för släckning av stora cisternbränder (SMC). Problemet är att dessa är inte utvecklade eller provade för polära vätskor. I och med att E85 (och andra bränslevarianter med etanol och andra alkoholer) nu får en allt större spridning behövs nya metoder för att kunna släcka eventuella bränder även i dessa bränslen.

Inom ramen för detta underområde planeras släckförsök med etanol och E-85 som bränsle där olika skumvätskor och påföringsmetoder studeras. Även andra släckmedel/släckmetoder än skum kan vara aktuella att studera och utvärdera. Arbetet kan eventuellt genomföras i samarbete med internationella organisationer. Jämförande försök med något vanligt ickepolärt bränsle kommer också att genomföras.

### **12.7.4 Underområde 7.4 - Återanvändning av släckvatten**

Det finns i samband med större lager ofta olika typer av uppsamlingsbassänger eller liknande där släckvattnet hamnar. Återkommande frågor gäller huruvida det går att återanvända släckvattnet eller inte. Blir det någon skumproduktion med ett skum av tillräcklig kvalitet? Blir vattnet alltmer förorenat? Vilken inverkan har det i så fall på arbetet och på utrustningen? För att utreda dessa frågor kommer speciella släckförsök, kopplat till och samordnat med dem i underområde 7.1, att genomföras. Även här kan det bli aktuellt att genomföra försök i olika skalor.

### **12.7.5 Underområde 7.5 - Arbetsmiljö vid släckning**

Detta underområde har nära anknytning till delområde 6. Att det är farligt att vistas i ett område med fullt utvecklad brand är självklart och inom räddningstjänsten finns kunskap om vilka skydd som behövs och var och en är utrustad med personlig skyddsutrustning. Det finns emellertid situationer där kunskapen inte är lika fullständig, t.ex. djupbränder, långsamt utvecklande bränder, schaktning för att underlätta släckning, bortforsling av brandrester, kontroll och eftersläckning av brandhård, etc. Här utnyttjas dessutom ofta anläggningspersonal och/eller extern personal som inte har samma kunskap och tillgång till t.ex. andningsutrustning. Här behövs det bättre data och riktlinjer. Detta underområde är alltså en länk mellan delområde 6 och delområde 9 för att kunna rekommendera lämplig och nödvändig skyddsutrustning för olika situationer. Här bör även annan utrustning, förberedelser, rutiner, träning mm att diskuteras. Planen är att genomföra fältmätningar i samband med försök inom delområde 9.

## **12.8 Delområde 8 - Modellering**

Ett huvudfokus i forskningsprogrammet ligger på experimentella undersökningar i olika skalor. Anledningen till detta är att erfarenheten har visat att det inom flera områden i stor utsträckning saknas experimentell data och erfarenhet som är mycket viktig för förståelsen av processer, som grund för modellutveckling, validering av modeller, som indata till modeller och riskanalyser, etc.

Modeller kan emellertid ha stor betydelse för problemförståelse och även ha en viktig pedagogisk funktion. Med väl validerade modeller finns möjlighet att studera inverkan av vissa parametrar utan att behöva genomföra försök i alla lägen. Simuleringar kan också vara till stor nytta vid planering av försök, t.ex. placering av mätpunkter och förväntat tidsförlopp. Det är inte heller möjligt att alltid genomföra experimentella försök, t.ex. i mycket stor skala. Modeller kan då användas för extrapolera resultat, t.ex. i samband med rekommendationer eller tillståndsförfaranden.

Arbetet med modellering inom detta delområde syftar till att utveckla modelleringsmetodik och ingenjörsmodeller inom området, men kan även inkludera

simuleringar med mer avancerade datormodeller. Modellerna kan t.ex. avse simulering av självuppvärmning och självantändningsförlopp i stora lager med efterföljande brand/pyrolysförlopp samt inverkan av olika släckinsatser. De kan också avse antändning av lagret via externa antändningskällor och efterföljande brandspridningsförlopp (ytbrand). Modellering av emissionerna vid självuppvärmning, djupbrand respektive en fullt utvecklad ytbrand är naturligtvis också intressant. Förenklade spridningsmodeller för rök/emissioner är också ett område som kan vara av intresse. För detta kan även mer avancerade spridningsmodelleringar bli aktuella.

Genomgående är att modelleringsarbetet kommer att vara nära kopplat till det experimentella arbetet för att på så sätt ge synergieffekter åt båda håll. Exakt vilken modellering som bör genomföras kommer därför att bestämmas med hänsyn tagen till det experimentella arbetet. I de fall existerande modeller utvecklats inom något problemområde kommer dessa att i möjligaste mån att utnyttjas och eventuellt förfinas eller förenklas.

## **12.9 Delområde 9 - Storskaliga brandförsök**

Inom detta delområde kommer några scenarier att väljas ut för att genomföra storskaliga försök. Det kan handla om lager av biobränsle och/eller avfall. Valet kommer att baseras dels på resultaten från mellanskaleförsöken, dels på möjligheten att genomföra försök i storskala. Några exempel som har diskuterats och som skulle kunna bli aktuella är: hårdkompakterat lager och lager med balat avfall. För dessa storskaliga bränder är det intressant att studera antändning, brandförlopp, brandspridning, temperaturutveckling, emissioner, strålning samt släckning. Förmodligen kan dessa studeras i samma försöksserie, men släckningsförfarandet har ändå lyfts ut till ett eget underområde (8.2), dels för att visa att den kräver speciella förberedelser, dels för att det inte är säkert att det går att genomföra alla för emissionerna intressanta mätningar under släckfasen.

### **12.9.1 Underområde 9.1 - Emissioner från storskaliga brandförsök i lager**

Storskaliga brandförsök kommer att genomföras för att dels verifiera mellanskalestudierna av brandbeteende och brandspridning, dels för att i storskala testa den analysutrustning som valdes ut och provades i mellanskala inom underområde 6.1 eller 6.2.

Om möjligt skall mätningar genomföras för att validera eventuella spridningsberäkningar i delområde 8. Det ett stort behov av sådana valideringar. Erfarenhetsmässigt är det ett komplicerat förfarande eftersom det kan vara mycket väder- och topologiberoende. Dessutom är det ofta svårt att uppskatta exakt var och hur mycket det brinner. Om lämplig plats och scenario kan hittas skall analyser för sådan validering genomföras.

### **12.9.2 Underområde 9.2 - Släckning i samband med storskaliga brandförsök i lager**

Målet är att genomföra samma typ av brandförsök som i 9.1, men att här verifiera några av de släckmetoder som tidigare testats i småskala och/eller mellanskala. Om möjligt skall samma typer av mätningar och analyser genomföras som i underområde 9.1. Detta för att kunna studera släckningens inverkan på emissionerna och för att bedöma släckningsverkan.

### **12.9.3 Underområde 9.3 - Övning i stor skala**

För att få verklig förståelse för problemen kommer ett lager anläggas i rimlig skala, på basis av resultat och erfarenheter från underområde 9.2, och användas för samträning av brandförsvarets och avfallsbolagens personal. Övningen och erhållna erfarenheter

kommer att dokumenteras (video, mätdata, observationer, intervjuer, etc.) och analyseras så att rekommendationer och utbildningsmaterial kan tas fram (se delområde 11 och 12).

Detta kan förmodligen kombineras med underområde 9.2, men det är viktigt att vara medveten om att planering och genomförande av vetenskapliga försök och praktisk övning kan vara mycket olika. Därför har övningen lagts i ett eget underområde. Det är däremot troligt att emissioner analyseras även under övningen. Arbetsmiljö och säkerheten på brandplatsen ska också studeras.

I samarbete mellan brandförsvaret och avfallsbolagen kommer en strategi att läggas upp hur bränder i lager ska bekämpas och organiseras samt hur lagren ska designas och byggas för minska risken för brand samt underlätta släckningsarbetet. Resultaten från detta arbete kommer vara ett viktigt underlag för och till viss del ingå i delområde 11.

## **12.10 Delområde 10 - Kostnad/nytta och riskanalyser**

För att kunna använda olika experimentella resultat, resultat från modellering, etc. vid framtagning av olika riktlinjer och rekommendationer är det viktigt att koppla detta till samhällsnytta och effekter på olika samhällsfunktioner. Det gäller dels inverkan av och kostnader i samband med eventuella bränder och incidenter, dels effekter av och kostnader relaterade till föreslagna åtgärder.

### **12.10.1 Underområde 10.1 - Kostnad/nytta-analyser**

Inom detta underområde skall direkta och indirekta kostnader för olika åtgärder analyseras. Dessa skall ställas i relation till effekter av eventuella bränder. Bränder innebär förlust av uppbrunnet material, men även kostnader/förluster i form av dödsfall, personskador, skador på byggnader, stillestånd och verksamhetsbortfall, förlorade kunder, etc. För samhället i stort kan större bränder få olika effekter, t.ex. trafikstopp, stopp för närliggande verksamheter och samhällsfunktioner, kostnader för tredje part, leveransavbrott, emissioner till miljön, olägenheter för människor, etc. Samtliga dessa bör inkluderas och ställas mot kostnader för och effekter av olika tänkbara åtgärder för att förhindra olyckor.

Målet blir också att öka de vetenskapliga och tekniskt/praktiska kunskaperna om säker, miljöriktig och ekonomisk lagring av framför allt avfallsbränslen så att brand inte uppstår, att eventuell brand kan släckas på ett enkelt och miljöriktigt sätt samt att övriga emissioner vid lagring bli låga. Området syftar till att utveckla modeller och praktiskt fungerande metoder för att påtagligt reducera miljöeffekterna och göra fullständig ekonomisk utvärdering av ett flertal lagringssätt. Målet blir att hitta den miljöriktigaste och mest ekonomiskt riktiga metoden/metoderna för lagring av organiskt material.

### **12.10.2 Underområde 10.2 - Riskanalyser**

I samband med planeringsarbete, förebyggande åtgärder, tillståndsförfarande, etc. bör riskanalyser genomföras. Målet med detta underområde är att studera tillgängliga riskanalysmetoder för att dels föreslå lämplig metod, dels ange vilka indata som behövs för att kunna genomföra en tillförlitlig riskanalys. På detta vis är detta underområde kopplat dels till delområde 2 och de experimentella delområdena, dels till delområdet om rekommendationer och riktlinjer (delområde 11).

## **12.11 Delområde 11 - Rekommendationer och riktlinjer**

Detta kommer att vara ett mycket centralt delområde eftersom det är här som resultaten från de tidigare delområdena kommer att tolkas och sammanfattas på ett sådant sätt att det skall gå att arbeta in dem i olika riktlinjer och utbildningsmaterial. Detta kommer att vara

till stor nytta för tillstånds- och beslutsprocessen och för att kunna genomföra relevanta riskanalyser. Programmet kommer naturligtvis inte per automatik att få mandat att skriva riktlinjer, men förhoppningen är att tillsättningen av styrgrupp och referensgrupp skall ge en bra förankring hos myndigheter, företag, försäkringsbolag och andra intressenter. Representanter för dessa intressenter kommer även att involveras i arbetet för att täcka in en så stor del som möjligt av detta komplexa område.

Huvudfrågan kommer naturligtvis att vara: Hur skall man lagra biobränsle respektive avfall effektivt men ändå säkert? Det finns ett stort behov av att ta fram riktlinjer för hur olika lager bör konstrueras för att: minimera sannolikheten för brand, minimera konsekvenserna vid en eventuell brand (kostnader, effekter på människor t.ex. närboende, risk för brandspridning, etc.), underlätta släckning, etc. Därför kommer detta delområde att koppla ihop materialegenskaper, andra experimentella resultat (t.ex. släckning), modellering, kostnad/nytta-analyser, etc.

Baserat på resultaten inom området samt diskussioner och intervjuer ska förslag tas fram på nya riktlinjer för hur säkerheten kring bränslelager skall utformas. Detta kan inkludera, hur träning av personal ska genomföras och utformas, vilken basutrustning för förhindrande av brand och för att underlätta släckning som ska finnas på plats, hur släcknings och övervakningsarbetet gemensamt ska skötas, informationsplaner och förberedelse av evakuering ska tas fram, kontrollsystem utformas, arbetsmiljöfrågor behandlas, etc. Andra frågor är t.ex. klassning av brandresterna, eftervård och krismedvetenhet. Förutom förslag på konkreta riktlinjer omfattar detta delområde även sammanfattning och diskussioner av hur olika resultat uppnådda inom programmet skall användas, t.ex. i riskanalyser.

## **12.12 Delområde 12 - Rapportering, resultatspridning och utbildningsmaterial**

Resultatspridning och utbildning är en så viktig del av programarbetet att det ges ett eget delområde. Detta kommer att omfatta allt från statistik och erfarenheter från incidenter och bränder till resultat från studier av emissioner och släckning.

### **12.12.1 Underområde 12.1 - Rapporter m.m.**

Resultaten kommer att publiceras i olika rapporter, artiklar och andra typer av publikationer. Detta är viktigt för att dokumentera allt det genomförda arbetet och för att göra det möjligt för andra att dels kunna få en detaljerad beskrivning av arbetet, dels kunna genomföra fortsatt forskning utgående från resultaten. Däremot är rapporter sällan det bästa medlet för att få en bred spridning av resultaten. Andra kompletterande alternativ presenteras i underområde 12.2 (seminarier) och 12.3 (utbildning/träning).

Varje delprojekt rapporteras separat, men det behövs också en summerande rapportering för att öka tillgänglighet och spridning.

### **12.12.2 Underområde 12.2 - Seminarier**

Som nämdes i 12.1 krävs det något utöver den skriftliga rapportering för att på ett bra sätt kunna sprida resultaten och få en effektiv implementering av dem. För detta arbete är seminarieformen mycket lämplig. Det planeras därför att hållas ett antal seminarier. Dessa kan riktas mot lämpliga intressegrupper. Samtidigt är det viktigt att även hålla gemensamma seminarier där representanter från flera olika grupper möts och får möjlighet att diskutera problem och lösning. Problemet är så komplext och berör så många olika grupper (tillverkare, transportörer, insamlingsorganisationer, bearbetningsföretag, värmeverk, avfallsbolag, landsting, miljö & hälsa, räddningstjänst,

försäkringsbolag, etc.) att det krävs ett gemensamt engagemang för att kunna finna lösningar som innebär både effektiv och säker lagring.

### **12.12.3 Underområde 12.3 - Uppbyggnad av gemensamt utbildnings-/träningsprogram för biobränsle- respektive avfallsbolagens och brandförsvarets personal.**

Som ett led i spridningen av resultaten från programmet och som en naturlig följd av arbetet med rekommendationer och riktlinjer skall det tas fram ett mer praktiskt utbildningsprogram, riktat framför allt mot avfallsbolagen respektive värmeverk, etc. samt räddningstjänstens personal. Detta kan till viss del ses som en fördjupning av seminarierna, men kommer även till stor del vara annorlunda på det mer praktiska upplägget. Det inkluderar även framtagande av videofilm, kursmaterial samt förslag på småskaligt övningsmoment.

Det kan även bli aktuellt med specialutrustning för släckinsats. Det existerar idag inom oljebranschen för cisternbränder och det finns planer på gång kring silor. Det är möjligt att det även finns ett sådant behov för avfallslager.



## 13 Forskningsaktörer

Nedan följer en lista över olika forskningsaktörer som identifierats inom biobränsle- och avfallsområdet, dock utan att göra anspråk på att vara helt komplett. Det innebär inte att samtliga dessa organisationer utför forskning inom de delområden som omfattas av det föreslagna forskningsprogrammet. Flera av grupperna fokuserar på andra delar (t.ex. förbränningsegenskaper). Kopplingen mellan det föreslagna forskningsprogrammet och dessa grupper är emellertid viktig.

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Enheten för Brandteknik**

Kontaktperson: Dr Anders Lönnemark

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Enheten för Energiteknik**

Kontaktperson: Dr Claes Tullin

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Enheten för Kemi och materialteknik**

Kontaktperson: Ingenjör Lars Rosell

**Högskolan i Kalmar, Naturvetenskapliga institutionen**

Kontaktperson: Professor William Hogland

**Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Enheten för biomassateknologi och kemi, Umeå**

Kontaktperson: Dr Mehrdad Arshadi

**Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för energi och teknik, Uppsala**

Kontaktperson: Docent Raida Jirjis

**Lunds tekniska högskola, Avdelningen för brandteknik och riskhantering**

Kontaktperson: Professor Patrick Van Hees

**Lunds tekniska högskola, Byggnadsmaterial**

Kontaktperson: Universitetslektor Lars Wadsö

**Lunds Universitet, Avdelningen för Analytisk kemi**

Kontaktperson: Professor Lennart Mathiasson

**Högskolan Kristianstad, Sektionen för lärarutbildning**

Kontaktperson: Docent i Miljöteknik Lennart Mårtensson

**Växjö Universitet (CHRISGAS)**

Kontaktperson: Dr Sune Bengtsson

**Avfall Sverige**

Kontaktperson: Anders Hedenstedt

**IVL Svenska Miljöinstitutet**

Kontaktperson: Civ. ing. Håkan Stripplé

**CECOST (The Centre for Combustion Science and Technology)**

Kontaktperson: Professor Patrick Van Hees

**Pelletsplattformen (Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri),  
Enheten för biomassateknologi och kemi, SLU**

Kontaktperson: Forskare Torbjörn Lestander

**Räddningstjänsten Gislaved-Gnosjö**

Kontaktperson: Brandingenjör (Civ.ing. riskhantering) Johan Nilsson

**Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund (SÄRF)**

Kontaktperson: Bosse Molin

**Södertörns Brandförsvarsförbund**

Kontaktperson: Bosse Björklund

**Statens Geotekniska Institut (SGI), Avd. för Markmiljö**

Kontaktperson: Civ. ing. Bengt Rosén

**Statens Geotekniska Institut (SGI), Avd. för Geoplanering och säkerhet**

Kontaktperson: Fil. Dr. Yvonne Andersson-Sköld

**Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för Energiteknik**

Kontaktperson: Docent Henrik Thunman

**University of British Columbia, Kanada, Department of Chemical and Biological  
Engineering**

Kontaktperson: Staffan Melin

**Ethanol Emergency Response Coalition (EERC)**

Kontaktperson: David White

## 14 Referenser

1. "På väg mot ett oljefritt Sverige", Kommissionen mot oljeberoende, 2006.
2. STEM, "Energiläget 2007", Statens energimyndighet, ET 2007:49, 2007.
3. SPI, "Oljeåret 2007", Svenska Petroleum Institutet, 2008.
4. STEM, "Energiläget i siffror 2007", Statens energimyndighet, ET 2007:50, 2007.
5. Bramryd, T., Flyhammar, P., Fransman, B., Hogland, W., Leire, W., and Åkesson, M., "Lagring av avfallsbränslen - Hushållsavfall", Inst. för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Universitet, Rapport 3140, Lund, 1990.
6. Eriksson, L., Due, S., Petersen, C., and Östlund, C., "Delmålsrapport om avfall", Naturvårdsverket, 2007.
7. Nylund, N.-O., Aakko-Saksa, P., and Sipilä, K., "Status and outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles", VTT, VTT Research Notes 2426, 2008.
8. SOU, "Bioenergi från jordbruket - en växande resurs", Statens offentliga utredningar, SOU 2007:36, 2007.
9. STEV, "Trädbränsle 1987 - Teknikläget idag", Statens Energiverk, Rapport STEV, 1987.
10. Herland, E., "LRFs energiscenrio till år 2020: Förnybar energi från jord- och skogsbruket ger nya affärer och bättre miljö", LRF, Andra remissversionen, 2005.
11. Värmeforsk, "Inbjudan till Värmeforsks och Stiftelsen Lantbruksforskings gemensamma forskningsprogram åren 2006 - 2009: Grödor från åker till energiproduktion - salix, halm, spannmål, rörflen, och hampa", Värmeforsk.
12. Bernesson, S., and Nilsson, D., "Halm som energikälla - Översikt av existerande kunskap", Institutionen för biometri och teknik, SLU, Rapport - miljö, teknik och lantbruk 2005:07, Uppsala, 2005.
13. Berg, M., Bubholz, M., Forsberg, M., Myringer, Å., Palm, O., Rönnbäck, M., and Tullin, C., "Förstudie - sammanställning och syntes av kunskap och erfarenheter om grödor från åker till energiproduktion", Värmeforsk, 1009, Stockholm, 2007.
14. Larsson, S., Örberg, H., Kalén, G., and Thyrel, M., "Rörflen som energigröda - Erfarenheter från fullskaleförsök vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC) i Umeå under åren 200-2004", Enheten för Biomassateknologi och Kemi, SLU, BTK-rapport 2006:11, Umeå, 2006.
15. Örberg, H., Kalén, G., Thyrel, M., Finell, M., and Andersson, L.-O., "Pelletering av rörflen", Enheten för Biomassateknologi och Kemi, SLU, BTK-rapport 2006:12, Umeå, 2006.
16. "Avfallsförordning (2001:1063) utfärdad 2001-12-06 med ändring införd t.o.m. SFS 2007:381", 2007.
17. Lestander, T., Personlig kommunikation, SLU, 2008.
18. PTN, Personlig kommunikation, Pelleting Technology Nederland, 2008.
19. Karlberg, L. A., "Metanol bättre än etanol säger Margot Wallström", NyTeknik, [http://www.nyteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/bioenergi/article45403.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/bioenergi/article45403.ece), 2007.
20. Karlberg, L. A., "Gillbergs metanolfabrik stöttas av transportjätte", NyTeknik, [http://www.nyteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/bioenergi/article361017.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/bioenergi/article361017.ece), 2008.
21. Karlberg, L. A., "Övertecknad nyemission i Gillbergs metanolfabrik", NyTeknik, [http://www.nyteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/bioenergi/article367910.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/bioenergi/article367910.ece), 2008.
22. Feuk, M., "Chemrecs bränsle hett på Woods lista", NyTeknik, <http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/riskkapital/article277054.ece>, 2008.
23. "Diagram över leverans av energigas under 2007", (f. Samlad statistik 2007 för energigaserna biogas, gasol och naturgas, Ed.) Svenska Gasföreningen, 2008.
24. Sandberg, A., and Bergström, U., "Nya olycksrisker i ett framtida energisystem - Nya olycksrisker som kan uppstå i ett framtida diversifierat energiförsörjningssystem", Räddningsverket, I99-161/07, Karlstad, 2007.

25. Kubler, H., "Heat Generating Processes as Cause of Spontaneous Ignition in Forest Products", *Forest Products Abstracts*, **10**, 11, 299-327, 1987.
26. Wadsö, L., "Measuring chemical heat production rates of biofuels by isothermal calorimetry for hazardous evaluation modelling", *Fire and Materials*, **31**, 241-255, 2007.
27. Thörnqvist, T., "Bränder i stackar med sönderdelat träbränsle", Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, SLU:s rapport nr 163, Uppsala, 1987.
28. Thörnqvist, T., "Projektet storskalig säsongslagring av träbränsle - en sammanfattning av etapp 1", Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för bränslelära, 188, Uppsala, 1986.
29. Lehtikangas, P., *Lagringshandbok för träbränslen*, SLU, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, 1998.
30. Jirjis, R., Pari, L., and Sissot, F., "Storage of poplar wood chips in Northern Italy", *World Bioenergy 2008*, 107-111, Jönköping, 2008.
31. Hogland, W., "Säker lagring av avfallsbränslen genom utnyttjande av balningsteknik", DAKOFA konferens om stop för deponering - af forbraendningsegnet affald, Köpenhamn, Danmark, 1 September, 1997.
32. Hogland, W., Persson, I., Pettersson, P., and Bramryd, T., "Lagring av avfallsbränslen - Industri- och hushållsavfall", Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, LTH/LU, Rapport nr 3170, 1993.
33. Arshadi, M., and Gref, R., "Emissions of volatile organic compounds from softwood pellets during storage", *Forest Products Journal*, **55**, 12, 132-135, 2005.
34. Yan, Z. H., "Validation of CFD Model for Simulation of Spontaneous Ignition in Bio-mass Fuel Storage", 8th IAFSS Symposium, Beijing, 2005.
35. Rugar-Gadd, K., Welander, U., Sanati, M., Blomqvist, P., Persson, H., Hees, P. V., and Holmstedt, G., "Prevention of self ignition during storage of biomass fuels", In *15th European Biomass Conference & Exhibition*, Berlin, Germany, 2007.
36. Blomqvist, P., Persson, H., Hees, P. V., Holmstedt, G., Göransson, U., Wadsö, L., Sanati, M., and Rugar-Gadd, K., "An Experimental Study of Spontaneous Ignition in Storages of Wood Pellets", *Fire and Materials Conference*, San Francisco, USA, 2007.
37. Blomqvist, P., and Persson, H., "Self-heating in storages of wood pellets", *World Bioenergy 2008*, 172-176, Jönköping, 2008.
38. Persson, H., and Blomqvist, P., "Fire and fire extinguishment in silos", *Interflam '07*, 365-376, London, England, 2007.
39. Persson, H., Blomqvist, P., and Yan, Z., "Brand och brandsläckning i siloanläggningar - en experimentell studie", SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP Rapport 2006:47, Borås, 2006.
40. Blomqvist, P., and Hees, P. V., "Spontaneous Ignition of Biofuels - An Experimental Investigation through Small- and Large-Scale Tests", SP Swedish National Testing and Research Institute, 2006:41, Borås, 2006.
41. Arshadi, M., Nilsson, D., and Geladi, P., "Monitoring chemical changes for stored sawdust from pine and spruce using gas chromatography-mass spectrometry and visible-near infrared spectroscopy", *Near Infrared Spectroscopy*, **15**, 379-386, 2007.
42. Gao, L., and Hirano, T., "Process of accidental explosions at a refuse derived fuel storage", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **19**, 2-3, 288-291, 2006.
43. Gao, L., Tsuruda, T., Suzuki, T., Ogawa, Y., Liao, C., and Saso, Y., "Possibility of Refuse Derived Fuel Fire Inception by Spontaneous Ignition", 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 102-107, Daegu, Korea, 2004.

44. Fu, Z.-M., Li, X.-R., and Koseki, H., "Heat generation of refuse derived fuel with water", *Journal of Loss Prevention in the process industries*, **18**, 27-33, 2005.
45. Fu, Z.-M., Koseki, H., and Iwata, Y., "Investigation of spontaneous ignition of two kinds of organic material with water", *Thermochimica Acta*, **440**, 68-74, 2006.
46. Melin, S., Svedberg, U., and Samuelsson, J., "Emissions from Woodpellets During Ocean Transportation (EWDOT)", Wood Pellet Association of Canada (WPAC), 2008.
47. Svedberg, U., Samuelsson, J., and Melin, S., "Hazardous Off-Gassing of Carbon Monoxide and Oxygen Depletion during Ocean Transportation of Wood Pellets", *Ann. occup. Hyg.*, 2008.
48. Svedberg, U. R. A., Högberg, h.-E., Högberg, J., and Galle, B., "Emission of Hexanal and Carbon Monoxide from Storage of Wood Pellets, a Potential Occupational and Domestic Health Hazard", *Ann. occup. Hyg.*, **48**, 4, 339-349, 2004.
49. Nammari, D. R., Hogland, W., Moutavtchi, V., Marques, M., and Nimmermark, S., "Physical and Chemical Processes in Baled Waste Fuel with Emphasis on Gaseous Emissions", *Waste Management & Research*, **21**, 309-317, 2003.
50. Nammari, D. R., "Seasonal and long-term storage of baled municipal solid waste", Lund University, PhD thesis, Lund, Sweden, 2006.
51. Nammari, D. R., Marques, M., Thörneby, L., Hogland, W., Mathiasson, L., and Mårtensson, L., "Emissions from baled municipal solid waste: II. Effects of different treatments and baling techniques on the emission of volatile organic compounds", *Waste Management & Research*, **25**, 109-118, 2007.
52. Persson, B., Simonson, M., and Månsson, M., "Utsläpp från bränder till atmosfären", SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP RAPPORT 1995:70, Borås, Sweden (in Swedish), 1995.
53. Blomqvist, P., Persson, B., and Simonson, M., "Utsläpp från bränder till miljön - Utsläpp av dioxin, PAH och VOC till luften", Räddningsverket (Swedish Rescue Services Agency), P21-407/02, Karlstad, Sweden (in Swedish), 2002.
54. Blomqvist, P., "Emissions from Fires - Consequences for Human Safety and the Environment", In *Department of Fire Safety Engineering*, Lund University, Lund, Sweden, 2005.
55. RVF, "Bränder i avfall vid deponier och förbränningsanläggningar", Svenska Renhållningsverksföreningen, RVF rapport 2003:11, Malmö, Sweden, 2003.
56. SRV, "Riskhänsyn i samhällsutvecklingen Etapp 2: Materiella förutsättningar - energi och avfallshantering", Räddningsverket, 1997.
57. Pettersson, K., Boström, C.-Å., and Antonsson, A.-B., "Bränder på avfallsupplag - Mätningar av luftföroreningar i arbetsmiljön och emissioner till den yttre miljön i samband med släckning av tippbränder", IVL Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, IVL Rapport B 1211, Stockholm, Sweden, 1996.
58. Hogland, W., Bramryd, T., and Persson, I., "Physical, Biological and Chemical Effects of Unsorted Fractions of Industrial Solid Waste in Waste Fuel Storage", *Waste Management & Research*, **14**, 197-210, 1996.
59. Lönnermark, A., "Analyser av brandgaser och släckvatten i samband med brandförsök med hushållsavfall", SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, P402284, Borås, 2005.
60. Lönnermark, A., Blomqvist, P., and Marklund, S., "Emissions from Simulated Deep-Seated Fires in Domestic Waste", *Chemosphere*, **70**, 626-639, 2008.
61. Lönnermark, A., Andersson-Sköld, Y., Axelsson, J., Haeger-Eugensson, M., Palm Cousins, A., Rosén, B., and Stripple, H., "Emissioner från bränder - Metoder, modeller och mätningar", Räddningsverket, P20-470/07, Karlstad, 2007.

62. Lönnermark, A., and Blomqvist, P., "Emissions from Fires in Electrical and Electronics Waste", SP Swedish National Testing and Research Institute, SP Report 2005:42, Borås, Sweden, 2005.
63. Lönnermark, A., and Blomqvist, P., "Emissions from Tyre Fires", SP Swedish National Testing and Research Institute, SP Report 2005:43, Borås, Sweden, 2005.
64. Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S., Nammari, D., and Moutavtchi, V., "Seasonal and Long-term Storage of Waste Fuels with Baling Technique", University of Kalmar, Report No. 112, Kalmar, Sweden, 2001.
65. Nammari, D. R., Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S., and Moutavtchi, V., "Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales", *Waste Management*, **24**, 9-18, 2004.
66. Rosén, B., Carling, M., Nilsson, G., and Nilsson, M., "Utsläpp i samband med olyckor - Metodutveckling av provtagning vid räddningstjänst", Räddningsverket, P21-392/01, Karlstad, 2001.
67. Blomqvist, P., Lönnermark, A., and Simonson, M., "Miljöbelastning vid bränder och andra olyckor - Utvärdering av provtagning och analyser", Räddningsverket, P21-452/04, Karlstad, Sweden, 2004.
68. Larsson, I., and Lönnermark, A., "Utsläpp från bränder - Analyser av brandgaser och släckvatten", SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP RAPPORT 2002:24, Borås, Sweden, 2002.
69. SNV, "Kartläggning av källor till oavsiktligt bildade ämnen - Rapport till regeringen 2005-03-31", Naturvårdsverket, Rapport 5462, Stockholm, Sweden, 2005.
70. Persson, H., Bremer, P., Rosell, L., Arrhenius, K., and Lindström, K., "Sammansättning och antändningsegenskaper hos bränsleångor i tankar innehållande E85", SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport 2007:39, Borås, 2007.
71. "Rapport Silobrand Härnösand 8-13 september 2004. En beskrivning av olycksförloppet, olycksorsaken och våra erfarenheter från insatsen", Räddningstjänsten Höga Kusten-Ådalen, 2004.
72. Källström, K. Å., "Personal communication", Räddningstjänsten Höga Kusten-Ådalen, 2004-2006.
73. Persson, H., Blom, J., and Modin, P., "Forskningserfarenheter avgörande vid släckning av silobrand", In *BrandPosten*, 2007.
74. Kindsjö, J., "Brandrök drar in över Norrköping", Expressen, <http://norrkoping.expressen.se/nyheter/1.1157648/brandrok-drar-in-over-norrkoping>, 2008.
75. Ahnoff, P., Turesson, C., and Kristensson, M.-L., "Brand vid pappersbruk", Sveriges Radio, <http://www.sr.se/cgi-bin/isidorpub/PrinterFriendlyArticle.asp?Artikel=2064578&ProgramID=160>, 2008.
76. Hogland, W., "Utlåtande kring branden vid Telge Återvinning", Högskolan i Kalmar, 2007.
77. Hogland, W., Marques, M., and Björklund, B., "Fires in Organic Waste Storages: Prevention, Fire Fighting and After Care", Eco-Tech '07, 3-10, Kalmar, Sweden, 26-28 November, 2007.
78. Hogland, W., Nammari, D., Sandstedt, K., and Stenis, J., "Brand i lagrat avfallsbränsle hos Cemmiljö A/S i Ålborg", RVF - Svenska Renhållningsverksföreningen, RVF:s Utvecklingsansatsning Deponering, Rapport nr 6, Malmö, 2006.
79. Hogland, W., Nammari, D., Sandstedt, K., and Stenis, J., "Det brinner! Branden i CemMiljös avfallslager i Ålborg", In *RVF-Nytt*, 2006.
80. "Fire Destroys German Recycling Plant", European Fire Sprinkler Network, [http://www.eurosprinkler.org/full\\_article.asp?bucket01=368](http://www.eurosprinkler.org/full_article.asp?bucket01=368), 2008.

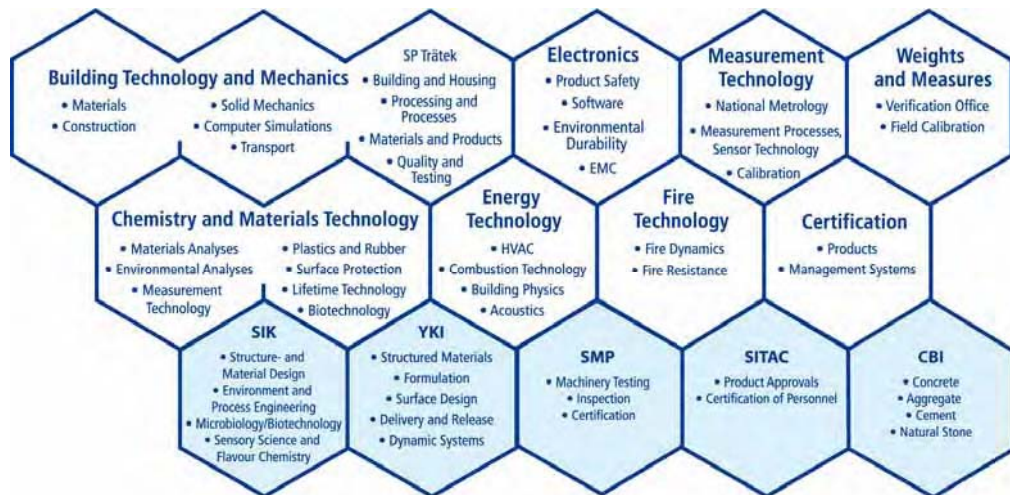
81. SRV, "Brand i batterilager, Boliden Bergsöe, Landskrona 2001-07-13 - Insatstillsyn och utvärdering", Räddningsverket, R00-251/02, 2002.
82. Krook, M., "Svårsläckt brand när 6000 ton gummi stod i lågor - Skadekostnaden slutade på 60 miljoner kronor", In *Brand & Räddning*, 2002.
83. Hack, M., and Baumhauer, R., "Herbertingen: Großbrand einer Schrotthalde", In *Deutsche Feuerwehr-Zeitung BrandSchutz*, 2008.
84. Hack, M., and Baumhauer, R., "Grossbrand einer Schrotthalde in Herbertingen: Schumangriff über mehr als 15 Werfer", In *Magazin*, 2008.
85. Persson, H., and Lönnermark, A., "Tank Fires - Review of fire incidents 1951-2003", SP Swedish National Testing and Research Institutes, SP REPORT 2004:14, Borås, Sweden, 2004.
86. "Rapporter om olyckor och incidenter 2007 - Sammanfattning av incidenter och olyckor med energigaser i Sverige under år 2007", Svenska Gasföreningen, 2008.
87. Bootsma, H., "Personal communication with Chief Superintendent Hans Bootsma", New South Wales Fire Brigades, Australia, 2007.
88. Hawrelak, R. A., "Ethanol Tank Fire, Manildra Inc., Port Kembla, NSW, Australia, 3 Mar 04".
89. Karlsson, P., "Personlig kommunikation", Göteborg Energi, 2008.
90. SBF, "Brandrisker och skydd vid kraft- och värmeanläggningar för fasta bränslen", Brandförsvarsföreningen, SBFs Rekommendationer 17:2 1987, Stockholm, 1991.
91. Beisland, L., and Tingvall, K., "Lagring av träpellets", Trygg-Hansa, R2007.12.1, 2007.
92. "Rådets Direktiv 1999/31/EG av den 26 april 1999 om deponering av avfall", In *Europeiska gemenskapernas officiella tidning*, 1999.
93. SFS 2001:512, "Förordning om deponering av avfall", 2001.
94. "Storskalig utomhuslagring av gamla bildäck", In *Aktuellt/SRV, 1996-11*, 1996.
95. Zetterling, H., "Deponibränder - Bränder i avfallslager", Länstyrelsen i Hallands län, Halmstad, Sweden, 2004.
96. Avfall Sverige, "Att minska risken för brand på deponier - Förslag till brandriskanalys", Avfall Sverige - utveckling, Rapport D2007:05, Malmö, 2007.
97. Nugroho, Y. S., Rustam, R. R., Saleh, I., and Saleh, M., "Effect of Humidity on self-heating of a Sub-bituminous Coal under Adiabatic Conditions", 9th International Symposium on Fire Safety Science, Karlsruhe, Germany, 22-26 September, 2008.
98. Nugroho, Y. S., McIntosh, A. C., and Gibbs, B. M., "Low-temperature oxidation of single and blended coals", *FUEL*, **79**, 1951-1961, 2000.
99. Chong, L. V., Shaw, R., and Chen, X. D., "Thermal Ignition Kinetics of Wood Sawdust Measured by a Newly Devised Experimental Technique", *Process safety Progress*, **14**, 4, 266-270, 1995.
100. Briseid, T., and Eidså, G., "Selvantemming i høy of halm", SINTEF Kemi, STF66 A00084, Oslo, 2000.
101. Gray, B. F., Griffiths, J. F., and Hasko, S. M., "Spontaneous Ignition Hazards in Stockpiles of Cellulosic Materials: Criteria for Safe Storage", *Journal of Chemical Technology in Biotechnology*, **34A**, 453-463, 1984.
102. Gray, B. F., "Spontaneous Combustion and Self-Heating". In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (P. J. DiNenno, Ed.), NFPA, 2-211 -- 2-228, Quincy, Massachusetts, USA, 2002.
103. Meijer, R., and Gast, C. H., "Spontaneous combustion of biomass: Experimental study intom guidelines to avoid and control this phenomena", Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 1231-1233, Rome, Italy, 10-14 May, 2004.
104. Li, X.-R., Kosecki, H., Iwata, Y., and Lim, W.-S., "Evaluation of Various Bio-mass Fuels with Heat Flux Measurement", Proceedings of the 11th International

- Fire Science & Engineering Conference (Interflam 2007), 1379-1387, London, UK, 3-5 September, 2007.
105. Lim, S. M., and Chew, M. Y. L., "Interaction Between Natural Convection and Chemical Reaction in spontaneous Ignition of Solids", Proceedings of the 11th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam 2007), 827-837, London, UK, 3-5 September, 2007.
  106. Hirunpraditkoon, S., Dlugogorski, B. Z., and Kennedy, E. M., "Fire properties of suurogate refuse-derived fuels", *Fire and Materials*, **30**, 107-130, 2006.
  107. Bhargava, A., Dlugogorski, B. Z., and Kennedy, E. M., "Fire Properties of Wood Chips", 9th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam 2001), 1343-1348, Edinburgh, Scotland, 17-19 September, 2001.
  108. Malow, M., and Krause, U., "Smouldering Combustion of Solid Bulk Materials at Different Volume Fractions of Oxygen in the Surrounding Gas", 9th International Symposium on Fire Safety Science, Karlsruhe, Germany, 22-26 September, 2008.
  109. Hirunpraditkoon, S., Dlugogorski, B. Z., and Kennedy, E. M., "Fire Properties of Refuse-Derived Fuels: Measurments of Temperature Profiles and Mass Loss", 9th International Symposium on Fire Safety Science, Karlsruhe, Germany, 22-26 September, 2008.
  110. Khan, M. M., De Ris, J. L., and Ogden, S. D., "Effect of Moisture on Ingnition Time of Cellulosic Materials", 9th International Symposium on Fire Safety Science, Karlsruhe, Germany, 22-26 September, 2008.
  111. Lönnermark, A., "Emission from Landfill Fires and Fires in Storage of Waste", ECO-TECH 2007, 353-362, Kalmar, Sweden, 26-28 November, 2007.
  112. Persson, H., "Fuel vapour composition and flammability properties of E85", World Bioenergy 2008, 164-168, Jönköping, Sweden, 27-29 May, 2008.
  113. Berger, A., and Krause, U., "Investigation on the self-ignition of deposits containing combustibles", *Fire and Materials*, **32**, 231-246, 2008.
  114. Defra, "National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants - United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland", Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, UK, 2007.



**SP Technical Research Institute of Sweden** develops and transfers technology for improving competitiveness and quality in industry, and for safety, conservation of resources and good environment in society as a whole. With Sweden's widest and most sophisticated range of equipment and expertise for technical investigation, measurement, testing and certification, we perform research and development in close liaison with universities, institutes of technology and international partners.

SP is a EU-notified body and accredited test laboratory. Our headquarters are in Borås, in the west part of Sweden.



SP is organised into eight technology units and five subsidiaries



**SP Technical Research Institute of Sweden**

Box 857, SE-501 15 BORÅS, SWEDEN

Telephone: +46 10 516 50 00, Telefax: +46 33 13 55 02

E-mail: info@sp.se, Internet: www.sp.se

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Fire Technology

SP Report 2008:51

ISBN 91-85829-70-5

ISSN 0284-5172