

Förstudie - sammanställning och syntes av kunskap och erfarenheter om grödor från åker till energiproduktion

Magnus Berg, Monika Bubholz, Maya Forsberg, Åse Myringer, Ola Palm, Marie Rönnbäck, Claes Tullin

**Förstudie - sammanställning och syntes av kunskap
och erfarenheter om grödor från åker till
energiproduktion**

**Pre-study – compilation and synthesis of
knowledge about energy crops from cultivation to
energy production**

Magnus Berg, Monika Bubholz, Maya Forsberg,
Åse Myringer, Ola Palm, Marie Rönnbäck, Claes Tullin

E06-603

Abstract

En litteraturgenomgång av existerande kunskap kring energigrödorna halm, spannmål, salix, rörflen och hampa har genomförts med syfte att identifiera kunskapsluckor och områden för framtida forskning. Arbetet täcker hela kedjan, från odling, skörd, lagring och transport till kvalitetssäkring, beredning, förädling, dosering, förbränning, rökgasrening och askhantering.

Sammanfattning

Energigrödor från åkermark utgör en ännu nästan helt outnyttjad potential som bränsle till uppvärmning och elproduktion. I takt med hårdnande konkurrens om biomassa ökar intresset för åkerbränslen som till exempel halm, spannmål, salix, rörflen och hampa. För att utnyttja potentialen för energigrödor som bränsle krävs en fungerande kedja där odling och skörd samordnas med transport, lagring och förbränning av grödorna.

Värmeforsk har tillsammans med Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) tagit initiativet till ett gemensamt forskningsprogram. Programmets långsiktiga mål är att öka produktion och användning av bioenergi från jordbruket till förbränning för värme- och kraftproduktion i Sverige. Visionen är att det under programmets gång, 2006-2009, ska tas avgörande steg mot en väl fungerande bränslemarknad för bioenergi från jordbruket.

Denna förstudie har sammanställt och syntetiserat kunskap och erfarenheter som finns om grödor från åker till energiproduktion. Syftet har varit att ge en bild av kunskapsläget idag, att identifiera kunskapsluckor och att syntetisera dagens kunskap i form av framtida forskningsbehov. Samtidigt har ett förslag till en forskningsplan tagits fram för forskningsprogrammet.

Nyckelord: energigrödor, agrobränslen, halm, spannmål, salix, rörflen, hampa, litteraturstudie, syntes

Summary

Energy crops constitute a yet not fully utilized potential as fuel for heating and power production. As competition for biomass hardens the interest for agricultural fuels such as straw, energy grain, willow, reed canary grass and hemp increases. Utilization of the potential for energy crops as fuels demands that cultivation and harvest are coordinated with transportation, storage and combustion of the crops.

Together, Värmeforsk and Swedish Farmers' Foundation for Agricultural Research (SLF), have taken the initiative to a common research programme. The long-term aim of the programme is to increase production and utilization of bioenergy from agriculture to combustion for heat and power production in Sweden. The vision is that during the programme, 2006 – 2009, decisive steps will be taken towards a working market for biofuels for bioenergy from agriculture.

This survey has compiled and synthesized available knowledge and experiences about energy crops from the field to energy production. The aim has been to give a picture of knowledge today, to identify knowledge gaps and to synthesize knowledge of today into future research needs. A proposal of a research plan has been developed for the research programme.

Key word: energy crop, agri fuel, straw, energy grain, willow, reed canary grass, hemp, literature survey, synthesis

Förord

Denna förstudie har haft en referensgrupp som mycket aktivt och intresserat delgav sina synpunkter under en workshop. Deltagare i referensgruppen har varit:

Anders Folkesson, Sydved Energileveranser	Lennart Ryk, Söderenergi
Birgitta Tiderman, Göteborg Energi	Magnus Nordberg, Jordbruksverket
Carolin Svensson, Kalmar Energi Värme	Margareta Lundberg, Metso
Claes Ribbing, Svenska Energiaskor AB	Per Graesén, E.ON Värme Syd Sverige
Erik Hedar, Energimyndigheten	Peter Ottosson, Lunds Energi
Eva Pettersson, Stiftelsen Lantbruksforskning	Pål Börjesson, Lunds Tekniska Högskola
Fredrik Starfelt, ENA Energi	Pär Aronsson, SLU
Gullvi Borgström, Värmeforsk	Raziyeh Khodayari, Värmeforsk
Hans Nordström, Vattenfall Värme Norden (sammanhållande)	Rickard Broström, Fortum Värme
Håkan Rosenqvist	Tommy Berglund, Öresundskraft
Katja Szücs, Söderenergi	Ulf Björklund, Eskilstuna Energi & Miljö
Kjell Östman, Övik Energi	Urban Eklund, ENA Energi
Lars O Johansson, Umeå Energi	Yvonne Söderström, Processum
Leif Rehnberg, Mariestad-Töreboda Energi	Åke Nordberg, JTI

Projektgruppen har bestått av:

Marie Rönnbäck, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
 Claes Tullin, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
 Ola Palm, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Maya Forsberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Martin Sundberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Monika Bubholz, Vattenfall Research and Development
 Åse Myringer, Vattenfall Research and Development
 Magnus Berg, Vattenfall Research and Development

Bidrag till olika delavsnitt har givits av:

Martin Sundberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Gunnar Lundin, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Hugo Westlin, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Johanna Olson, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
 Pär Aronsson, Institutionen för växtproduktionsekologi, lövträdsodling, SLU
 Rolf Olsson, Biomassateknologi och Kemi (BTK), SLU
 Håkan Rosenqvist, Agronomie Doktor
 Raida Jirjis, Institutionen för Bioenergi, SLU
 Håkan Örberg, Biomassateknologi och Kemi (BTK), SLU

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	MÅL FÖR DETTA ARBETE	1
1.3	RAPPORTENS UPPLÄGG	1
2	SYNTES AV KUNSKAPSLÄGET	2
2.1	HINDER OCH MÖJLIGHETER FÖR PRODUKTION AV ENERGIGRÖDOR	3
2.2	BRÄNSLEKVALITÉNS BEROENDE AV ODLING OCH SKÖRD	5
2.3	LAGRING OCH LOGISTIK	6
2.4	FÖRÄDLING AV BRÄNSLEN	8
2.5	BEREDNING OCH DOSERING AV BRÄNSLEN PÅ ANLÄGGNINGEN	10
2.6	FÖRBRÄNNING AV ENERGIGRÖDOR	10
2.7	PRODUKTION AV EL MED ENERGIGRÖDOR	13
2.8	RÖKGASRENING OCH EMISSIONER	14
2.9	ASKHANTERING OCH ÅTERFÖRING AV ASKA TILL ÅKERN	16
3	PÅGÅENDE FORSKNINGSPROGRAM	19
3.1	REFERENSER	25
4	PRODUKTIONSKOSTNADER FÖR ÅKERMARKSENERGI	26
4.1	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR KOSTNADSBERÄKNINGARNA	27
4.2	KOMMENTARER TILL BERÄKNINGARNA	28
4.3	REFERENSER	29
5	HINDER OCH MÖJLIGHETER FÖR PRODUKTION OCH ANVÄNDNING AV ENERGIGRÖDOR	30
5.1	HINDER MOT GRÖDORNA	30
5.2	MÖJLIGHETER	33
5.3	PÅGÅENDE FORSKNING	35
5.4	REFERENSER	35
6	BRÄNSLEKVALITÉNS BEROENDE AV ODLING OCH SKÖRD	38
6.1	HALM	38
6.2	PÅGÅENDE FORSKNING OM HALM AVSEENDE BRÄNSLEKVALITÉ	41
6.3	REFERENSER	42
6.4	SPANNMÅL	43
6.5	PÅGÅENDE FORSKNING OM SPANNMÅL AVSEENDE BRÄNSLEKVALITÉ	43
6.6	REFERENSER	44
6.7	SALIX	44
6.8	PÅGÅENDE FORSKNING OM SALIX AVSEENDE BRÄNSLEKVALITÉ	48
6.9	REFERENSER	48
6.10	RÖRFLÉN	48
6.11	PÅGÅENDE FORSKNING OM RÖRFLÉN AVSEENDE BRÄNSLEKVALITÉ	52
6.12	REFERENSER	52
6.13	HAMPA	53
6.14	PÅGÅENDE FORSKNING OM HAMPA AVSEENDE BRÄNSLEKVALITÉ	55
6.15	REFERENSER	56
7	LAGRING OCH LOGISTIK	57
7.1	HALM	57
7.2	PÅGÅENDE FORSKNING OM HALM AVSEENDE LAGRING OCH LOGISTIK	60
7.3	REFERENSER	60
7.4	SPANNMÅL	61

7.5	PÅGÅENDE FORSKNING OM SPANNMÅL AVSEENDE LAGRING OCH LOGISTIK	62
7.6	REFERENSER.....	62
7.7	SALIX.....	62
7.8	PÅGÅENDE FORSKNING OM SALIX AVSEENDE LAGRING OCH LOGISTIK	65
7.9	REFERENSER.....	65
7.10	RÖRFLEN.....	66
7.11	PÅGÅENDE FORSKNING OM RÖRFLEN AVSEENDE LAGRING OCH LOGISTIK	68
7.12	REFERENSER.....	68
7.13	HAMPA.....	68
7.14	PÅGÅENDE FORSKNING OM HAMPA AVSEENDE LAGRING OCH LOGISTIK	69
7.15	REFERENSER.....	69
7.16	LAGRING AV BRÄNSLE PÅ ANLÄGGNINGEN.....	69
7.17	ARBETSMILJÖ VID HANTERING AV BRÄNSLEN PÅ ANLÄGGNINGEN.....	72
7.18	ANLÄGGNINGARNAS KRAV PÅ BRÄNSLET	72
7.19	PÅGÅENDE FORSKNING AVSEENDE LAGRING OCH LOGISTIK PÅ ANLÄGGNINGEN.....	73
7.20	REFERENSER.....	74
8	FÖRÄDLING AV BRÄNSLEN	75
8.1	FÖRÄDLING AV STRÅBRÄNSLEN.....	75
8.2	BEFINTLIG KUNSKAP	76
8.3	PÅGÅENDE FORSKNING	78
8.4	KUNSKAPSLUCKOR	79
8.5	REFERENSER.....	81
9	BEREDNING OCH DOSERING.....	82
9.1	BLANDNING	84
9.2	HANTERING AV ORENHETER	84
9.3	PÅGÅENDE FORSKNING	85
9.4	REFERENSER.....	85
10	FÖRBRÄNNING AV ENERGIGRÖDOR.....	86
10.1	OLIKA PANNTYPER.....	86
10.2	ÅSKRELATERADE PROBLEM	90
10.3	KORROSION	100
10.4	ÅSKANS KVALITET BEROENDE PÅ FÖRBRÄNNINGSMETOD OCH BRÄNSLE.....	105
10.5	PÅGÅENDE FORSKNING	106
10.6	REFERENSER.....	107
11	PRODUKTION AV EL MED ENERGIGRÖDOR.....	110
11.1	ELPRODUKTION FRÅN ÅNGTURBIN	110
11.2	HÖGA ÅNGTEMPERATURER	110
11.3	ENERGIKOMBINAT	111
11.4	ANDRA METODER	111
11.5	PÅGÅENDE FORSKNING	113
11.6	REFERENSER.....	114
12	RÖKGASRENING OCH EMISSIONER	116
12.1	EMISSIONER SOM HÄRRÖR FRÅN FULLSTÄNDIG FÖRBRÄNNING AV BRÄNSLET	116
12.2	UTSLÄPPSKRAV, REKOMMENDATIONER OCH PRAXIS MED HÄNSYN TAGET TILL ANLÄGGNINGSSSTORLEK OCH LÄGE	120
12.3	FÖRVÄNTADE KONSEKVENSER FÖR RÖKGASRENING VID FÖRBRÄNNING AV ÅKERGRÖDOR	123
12.4	PÅGÅENDE FORSKNING	134
12.5	REFERENSER.....	136
13	ÅSKHANTERING OCH ÅTERFÖRING AV ÅSKA TILL ÅKERN.....	139
13.1	KEMISK SAMMANSÄTTNING	139
13.2	HANTERING AV ÅSKAN	144

13.3 SPRIDNINGSTEKNIK	145
13.4 LÄMPLIGA GRÖDOR ATT ODLA EFTER SPRIDNING AV ASKA	146
13.5 EMISSIONER/MILJÖPÅVERKAN FRÅN HANTERING OCH ANVÄNDNING	146
13.6 EKONOMI	146
13.7 PÅGÅENDE FORSKNING	147
13.8 REFERENSER	147

1 Inledning

1.1 Bakgrund

För att utnyttja potentialen för energigrödor från åkermark har Värmeforsk tillsammans med Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) taget initiativet till ett gemensamt forskningsprogram. Värmeforsk och SLF representerar två branscher som tillsammans hanterar hela kedjan från odling, skörd, lagring och transport till kvalitetssäkring, beredning, eventuell förädling, dosering, förbränning, rökgasrening och askhantering av åkerbränslen. Hela kedjan ska hanteras inom programmet. Programmets långsiktiga mål är att öka produktion och användning av bioenergi från jordbruket till förbränning för värme- och kraftproduktion i Sverige. Visionen är att det under programmets gång, 2006-2009, ska tas avgörande steg mot en väl fungerande bränslemarknad för bioenergi från jordbruket.

1.2 Mål för detta arbete

Målsättningen med arbetet har varit att sammanställa och syntetisera aktuell kunskap i framför allt litteraturen kring grödor som bränsle för energiproduktion. Arbetet har avgränsats till anläggningar större än 2 MW, vilket normalt är Värmeforsks intresseområde. Sammanställningen har i första hand tagit upp nordiska erfarenheter, men kompletterats med erfarenheter inom och utanför EU där det ansetts relevant. Vid syntetiseringen har vikt lagts på helhetsperspektivet i enlighet med de visioner och mål som finns i Värmeforsks programskrivning "Grödor från åker till energiproduktion".

Syftet har varit att ge en bild av kunskapsläget idag, att identifiera kunskapsluckor och att syntetisera dagens kunskap i form av framtida forskningsbehov. Förslag på åtgärder som bedöms lämpliga för Värmeforsks planerade forskningsprogram har tagits fram.

1.3 Rapportens upplägg

I kapitel 2 syntetiseras kunskapen kring energigrödor och olika steg i kedjan. Här presenteras och prioriteras också de kunskapsluckor som finns och som är grunden till den forskning som kommer att bedrivas inom programmet. Kapitel 3 ger en kort överblick över andra forskningsprogram som pågår och rör området. Kapitel 4 redogör för "Produktionskostnader för åkermarksenergi" och är ett komplement till kunskapsöversikten. Sedan följer en sammanställning av den kunskap och erfarenhet som finns kring de olika stegen i kedjan i kapitel 5-13. Forskningsprojekt som pågår presenteras i respektive kapitel.

2 Syntes av kunskapsläget

I förstudien har kunskapsluckor för följande nio delområden sammanställts:

1. Hinder och möjligheter för produktion av energigrödor
2. Bränslekvalitets beroende av odling och skörd
3. Lagring och logistik
4. Förädling av bränslen
5. Beredning och dosering av bränslen på anläggningen
6. Förbränning av energigrödor
7. Produktion av el med energigrödor
8. Rökgasrening och emissioner
9. Askhantering och återföring av aska till åkern

Resultaten från denna syntes ger riktlinjer för forskningsprogrammets inriktning.

Under arbetet med förstudien genomfördes en workshop med projektets styrgrupp (där framför allt anläggningsägare var representerade). Syftet med workshopen var bl.a. att identifiera nya kunskapsluckor och prioritera de av projektet föreslagna kunskapsluckorna. Av de nio delområdena ovan prioriterades delområdena 1 och 3 högst. Delområdena 2, 4 och 5 bedömdes ha medelprioritet medan delområdena 6 – 9 bedömdes ha en något lägre prioritet. Skillnaden mellan delområden med medel- och något lägre prioritet var mycket liten och ska inte betraktas som vägledande vid bedömning av projektförslag. Den tydligaste prioriteringen var mellan delområde 1 och 3 gentemot de övriga delområdena.

Förbränning av restprodukter från produktion av biodrivmedel och grödor är ett nytt delområde som identifierats som prioriterat av workshopen. Förslag till forskningsbehov har därför inte redovisats i förstudien men forskning inom detta delområde bör ändå ingå i programmet. Vidare bör projekt som innehåller eller tar hänsyn till systemtänkande och helhetsgrepp prioriteras inom programmet enligt workshopen. Samverkan mellan olika aktörer i kedjan, från producenter till användare, uppmuntras även.

Nya sorter av hybridasp och poppel har en lovande potential och kan komma att planteras på mark som idag är åker. Dock kommer det att ta minst 10 till 15 år innan någon skörd av betydelse kan komma ifråga. Teknik och frågeställningar kring dessa trädslag har större likheter med skogsproduktion än produktion av åkergrödor. Sammantaget gör detta att frågeställningar kring mera skoglig produktion (t.ex. hybridasp och poppel) på det som idag är åkermark inte är prioriterat inom detta program.

Kunskapsgenomgången i denna förstudie har begränsats till halm, spannmål, salix, rörlfen och hampa, men det finns egentligen ingen begränsning till dessa grödor i fortsatta projekt. Dessa har valts eftersom den kunskap och erfarenhet som finns kring dem till stor del även täcker in andra grödor som kan vara aktuella inom programmet. De representerar också olika grundtyper av grödor, avseende till exempel odlings-,

skörde- och hanteringsfrågor samt bränsleegenskaper. Hampa och spannmål är ettåriga grödor som måste etableras på nytt varje år. Hampan är en ny odlingsgröda, medan spannmål är en traditionell gröda där både kärna och halm kan användas som bränsle. Rörflen och Salix representerar två typer av fleråriga grödor med vitt skilda egenskaper. Rörflen är ett gräs som skördas årligen medan energiskog av Salix består av snabbväxande arter av pil och vide, där stammarna skördas med tre eller fyra års mellanrum.

I följande avsnitt sammanfattas de kunskapsluckor som identifierats inom denna förstudies olika delområden. För varje delområde redovisas forskningsbehovet i form av förslag till åtgärder som bedöms lämpliga för Värmeforsks planerade forskningsprogram om förbränning av energigrödor. Förslagen har i flera fall delats in i två kategorier – högre prioritet och lägre prioritet. Även denna indelning baseras framför allt på resultatet från workshopen med projektets styrgrupp. Förslagen som bedömts ha lägre prioritet kan ändå vara intressanta att genomföra för programmet om tydliga motiv, ny eller annan kunskap etc. finns.

2.1 Hinder och möjligheter för produktion av energigrödor

Inom ramen för denna förstudie har ett antal hinder och möjligheter för produktion av energigrödor identifierats. För att minska produktionskostnaderna och uppnå en fungerande marknad är det framför allt viktigt att öka odlingsarealerna av energigrödorna. Större arealer medför att bränslena kan få avsättning på en konkurrensutsatt marknad och kan ge ekonomiska incitament för exempelvis utveckling av specialmaskiner. En minskning av produktionskostnader kan utöver skalekonomiska effekter även åstadkommas genom teknikutveckling, ökad kunskap samt växtförädling. Då kostnaderna för de nya energigrödorna i många fall kan sänkas avsevärt vid odling i större skala är implementeringsfrågorna, dvs hur man ska öka intresset hos bönder att odla grödorna, viktiga och behöver studeras mer.

Utformningen av stödsystem har stor betydelse för implementeringen, och det är viktigt att dessa inte enbart styrs mot stor areal utan mot hög energiproduktion. En bättre inblick i vilken ekonomisk kompensation som krävs för att lantbrukare ska vilja satsa på energigrödor är av relevans t.ex. vid utformningen av stödsystem.

Utöver frågor som rör direkt lönsamhet finns andra faktorer som ligger till grund för att lantbrukare inte i större utsträckning satsar på energigrödor. Förändring av landskapsbilden, förändrad sysselsättningsgrad och arrendefrågor är exempel som kan förmodas utgöra hinder. Den upplevda risken är även en sådan faktor, som kan minskas genom ökad information och kunskap, kontraktsförfarande och ekonomiskt stöd. Ökad kunskap om hur sådana åtgärder kan utformas för att minska hindren är därför av vikt.

För att åstadkomma en fungerande marknad och tjänster kring energigrödor krävs vidare en ökad kunskap om försäljning, förädling och om olika organisatoriska upplägg för lokala aktörer. Olika organisatoriska upplägg kan exempelvis studeras gällande:

- Kontrakt och skötsel av energiodlingen.
- Avtal för att få en ökad andel av arrenderad mark tillgänglig för etablering.
- Om energiskog kan vara ett alternativ till utarrendering av mark.

- Alternativa kontraktsmöjligheter för att den enskilde lantbrukaren ska kunna få energigrödestöd utan att gå genom de stora organisationerna. För att erhålla energigrödestöd krävs idag kontrakt med antingen uppköpare eller förädlare.
- Hur sysselsättningen påverkas, dvs. hur mycket arbetstid energigrödor skapar utöver själva odlingen, t.ex. vid vidareförädling och distribution.

Systemstudier där inte varje gröda eller produktionsmetod enbart studeras som en isolerad företeelse, utan där olika grödor och produktionsformer sätts in i ett större sammanhang, är även av stor betydelse. Samordningsfördelar mellan olika grödor kan därigenom identifieras för att uppnå kostnadsminskningar.

2.1.1 Förslag till åtgärder - Hinder och möjligheter för produktion av energigrödor

Samtliga förslag till åtgärder inom detta område bedöms ha hög prioritet.

Upplevd risk och hinder med energigrödor samt åtgärder för att minska dessa.

Ökad kunskap behövs om potentiella odlares intresse, attityder, kunskap om och upplevd risk med energigrödor. Detta för att utforma åtgärder som kostnadseffektivt kan minska den upplevda risken. Projekt kan exempelvis genomföras genom kartläggningar av hur potentiella odlare uppfattar risken samt genom utarbetande av fortsatta åtgärder och informationsbehov utifrån resultaten. Den upplevda risken kan minskas genom ökad kunskap eller genom att sätta in energigrödorna i ett portföljperspektiv. Syftet med detta är att visa hur risken kan minskas för företagare som satsar på energigrödor. Detta kan inkludera studier av marknadsrisker, produktionsrisker och politiska risker, samt hur de samverkar med befintlig jordbruksproduktion. Om viktiga hinder och incitament för lantbrukaren identifieras, kan det i förlängningen leda till åtgärder som kan stimulera en ökad etablering av åkerbränslen. Projekt kortare än 3 år möjliga.

Systemstudier. Systemstudier där produktion av energigrödor studeras ur ett helhetsperspektiv är viktiga för att finna möjligheter till ökad lönsamhet. Dessa kan exempelvis röra:

- Samordningsfördelar mellan vad gäller teknik, t.ex. skördemaskiner.
- Samverkan mellan produktion av livsmedel och energi. Hur kan en konkurrenssituation bemötas? Exempelvis kan grödsubstitutioner vara ett sätt att öka den totala produktionen av livsmedel och energi.
- Potential till kostnadsminskningar för produktion av olika energigrödor. Vilka produktionskostnader kan vi förvänta oss på lång sikt? Vilka åtgärder lönar det sig att satsa på? Vilken utveckling behöver ske i Sverige kontra internationellt?

Systemstudierna bör kunna delas upp i delar, t. ex i odling, förädling och distribution, för att resultaten ska bli mer applicerbara för andra situationer. Resultat i form av identifierade möjligheter till ökad inkomst eller potentialer för kostnadssänkningar kan användas som underlag för resursfördelning samt kan motivera aktörer att utföra kostnadssänkande insatser.

Affärsmöjligheter och möjliga organisationsformer i lantbrukar- och entreprenör-led. Ökad kunskap behövs om vilka möjligheter som finns för lantbrukare att ingå i kedjan från odling, förädling, distribution och försäljning till avnämare, såsom energianläggningar. Vidare behövs ökad kunskap om hur olika organisatoriska upplägg kan utformas samt storleken på dess relaterade overheadkostnader. Olika organisatoriska upplägg kan studeras t.ex. för skötsel av energiodlingen, kontraktsformer i samband med energigrödestöd, frågor kring arrendering av mark. Ökad kunskap om ovanstående faktorer kan fås genom erfarenhetsinsamling inom området, men även från andra områden och branscher. Studiernas resultat kan exempelvis användas som information och konkret vägledning för lantbrukare och andra intressenter. Projekt kortare än 3 år är möjliga.

Kalkylmetodik för kort- och långsiktig analys av odling av energigrödor. I dagens bidragskalkyler beaktas samkostnader, dvs. kostnader som inte är kopplade specifikt till en gröda, på olika sätt och i olika omfattning. Detta försvårar jämförelsen mellan grödor som belastar mycket respektive mindre av de företagsgemensamma kostnaderna. De mer resurskrävande grödorna gynnas därför när man bara ser på täckningsbidraget i bidragskalkylerna. Odling av energiskog och rörflen missgynnas därmed med dagens bidragskalkyler. Därmed behöver ny kalkylmetodik utvecklas för kort- och långsiktig analys av odling av olika energigrödor och som kan jämföras med de traditionella grödorna. Att utforma kalkylmetoder som kan användas av t. ex. rådgivare är angeläget då det är ett sätt att minska det glapp som finns idag mellan teoretisk kunskap inom området och praktisk tillämpning. Kalkylerna kan även komma till användning vid t.ex. utformande av avtal eller för att kvantifiera hur risken kan delas mellan odlare och avnämare.

Informationsspridning till potentiella odlare av energigrödor. Att öka kunskapen om olika energigrödor hos lantbrukare och andra potentiella aktörer är identifierat som ett viktigt verktyg för att öka produktionen av energigrödor från jordbruket. Det är av vikt att informationen når rätt målgrupp samt att informationen sprids på ett lämpligt sätt. Olika tillvägagångssätt kan vara relevanta för genomförandet, såsom seminarier, lantbrukarträffar och lokala temakvällar. Exempelvis är ett hinder för salix att odlaren binder upp sig under en lång period. Här behövs ökad kunskap hos potentiella odlare om vad en förtida avveckling av salix innebär ekonomiskt, samt hur den utförs rent praktiskt. Kunskapen om detta finns, men information finns inte tillgänglig för lantbrukaren.

2.2 Bränslekvaliténs beroende av odling och skörd

Praktiska erfarenheter och kunskap om hur de olika energigrödorna fungerar som bränsle varierar mellan grödorna. Generellt sett är dock kunskapsnivån låg när det gäller vilka möjligheter som finns att med olika odlingsåtgärder såsom gödsling, sortval och val av odlingsplats påverka bränsleegenskaperna. Likaså är kunskapen om hur årsmån och jordart påverkar bränsleegenskaperna mycket begränsad.

Bränslets kvalitet, men även kostnader, kan påverkas genom ett medvetet val av skördetidpunkt. Således kan man t.ex. genom att avsiktligt låta spannmålshalm ligga kvar på fältet minska halten av ämnen som ur förbränningssynpunkt är oönskade, i detta

fall främst kalium och klor. Ett annat exempel är hampa, som kan skördas under en lång tidsperiod från det att bladen fällt fram till våren. Hur bränsleegenskaperna förändras under denna period är emellertid oklart. Ur ren kostnadssynpunkt skulle det vara fördelaktigt att ha en så lång skördeperiod som möjligt, eftersom detta skapar möjligheter att utnyttja befintlig maskinkapacitet så effektivt som möjligt. För de flesta grödor behövs en djupare kunskap om hur bränsleegenskaperna förändras under den tidsperiod som kan utnyttjas för skörd.

Vi vet att bränslekvaliteten hos energigrödor kan variera avsevärt, bland annat på grund av variationer i årsmån, väderlek, sort, jordart m.m. I regel visar sig inte dessa variationer förrän vid själva förbränningstidpunkten, då möjligheterna att vidta åtgärder inte längre finns. Det skulle därför vara en fördel att så tidigt som möjligt i hanteringskedjan kunna identifiera eller sortera bort partier som kan orsaka problem vid förbränningen. Eftersom det vore önskvärt att kunna upptäcka undermåliga partier redan innan leveransen till värmeanläggningen skulle relativt enkla metoder/teknik som möjliggör kvalitetsmätning redan i fält vara eftersträvänsvärt.

2.2.1 Förslag till åtgärder - Bränslekvalitets beroende av odling och skörd

Inverkan av odlingsförutsättningar. Generellt finns inte någon detaljerad kunskap om de tilltänkta energigrödornas bränsleegenskaper och hur de påverkas av t.ex. årsmån och jordart. Ökad kunskap behövs även om vilka möjligheter som finns att med aktiva odlingsåtgärder eller strategier, t.ex. gödsling och sortval, kunna styra hanterings- och förbränningsegenskaper samt utsläpp. För bränslespannmål behövs också kunskap om hur åtgärder i form av kemisk bekämpning påverkar egenskaperna.

Inverkan av skördetidpunkt. För varje energigröda finns ett tidsfönster av varierande längd då det rent praktiskt är möjligt att utföra skörd. Ett brett fönster ger ökade möjligheter att hålla kostnaderna nere, eftersom det skapar förutsättningar för ett bättre maskinutnyttjande. Ökad kunskap behövs om hur olika bränsleegenskaper förändras under den tidsperiod som kan utnyttjas för skörd.

Förslag som bedöms ha lägre prioritet

Bestämning av bränslekvalitet i fält. Utveckling av en metod/teknik för att i ett tidigt skede upptäcka och sortera bort partier med undermålig bränslekvalitet, skulle kunna reducera riskerna för problem vid eldningen. Genomförandet av ett sådant projekt bedöms emellertid ha relativt hög kostnad och hög risk och anses därför inte ha högsta prioritet i programmet. Behovet av en metod för snabbbestämning bedöms bli mer angeläget när ett bränsle blir mer etablerat.

2.3 Lagring och logistik

Stråbränslen från åker (halm, rörflen och hampa) kan hanteras i form av komprimerade balar eller som lösvara i hackad form. Två grundtyper av balar finns; rundbalar där materialet vid pressningen rullas till en cylindrisk form och rektangulära balar där materialet ligger pressat i form av skivor. I balarna är materialet relativt långsträigt medan hackning resulterar i ett mer sönderdelat material i lös form.

Fördelen med en hackad produkt är att den är lättare att hantera i transport- och matningsutrustningar på värmeanläggningarna. Den är dock mer voluminös än balar, vilket medför högre kostnader för lagring och transport. Även när materialet hanteras i balform utgör kostnader för lagring och transport en betydande del av totalkostnaden. För stråbränslen finns därför ett behov av åtgärder som kan minska kostnaderna för hantering, lagring och transport. Alternativa lagringssystem och eller ökad komprimeringsgrad är exempel på sådana åtgärder.

När åkergrödor odlas för energiproduktion ställs inte samma kvalitetskrav som när produkterna ska användas som fodermedel eller livsmedel. Detta kan öppna för enklare och därmed billigare lagrings- och konserveringssystem, exempelvis för spannmål. Vilka lägsta kvalitetskrav som måste vara uppfyllda för energigrödor har dock inte definierats. Vid bedömningar av alternativa system måste därför kvalitetskraven beaktas. Även arbetsmiljöaspekter (damm, mögelsporer och olycksfall), risker för självantändning och dammexplosioner måste tas med i bedömningen.

Olika möjligheter att minska hanteringskostnaderna kan analyseras genom att i systemstudier identifiera effektiva logistiska lösningar inom specifika regioner. I detta sammanhang är det viktigt att även beakta möjligheterna till samordning mellan olika energigrödor. En sådan analys bör också inkludera strategier och möjligheter att uppfylla krav på leveranssäkerhet, liksom en belysning av systemens miljöbelastning.

2.3.1 Förslag till åtgärder - Lagring och logistik

Åtgärder kopplade till åkern eller gården

Ökad volymvikt för stråbränslen. Nuvarande hanteringsteknik för stråbränslen ger en låg bulkdensitet. Åtgärder för att höja densiteten är viktiga för att minska de relativt höga kostnaderna för lagring och transport.

Alternativa lagringsmetoder. Kunskap behövs om vilka lägsta kvalitetskrav som ska ställas på energigrödor, och i vilken utsträckning förenklade lagrings- och konserveringssystem förmår uppfylla dessa krav. Vid bedömningen av alternativa lagringssystem måste även risker beträffande arbetsmiljö, självantändning och dammexplosioner beaktas.

Systemstudier. Analyser av hur effektiva logistiska lösningar kan se ut behövs. I detta sammanhang är det viktigt att också beakta leveranssäkerhet, miljöbelastning och hur hanteringen av olika energigrödor kan samordnas.

Åtgärder kopplade till anläggningen

Kvalitetskontroll. För att ha ett enkelt flöde från lossning till förbränning så innebär det att kontrollen på kvalitet ska ske snabbt och rätt. Ett eller flera projekt som utvärderar metoder för kvalitetskontroll av de olika grödorna (fukthaltsmätning, utsortering av orenheter etc.) skulle kunna ske inom ramen för programmet (< 3 år).

Förslag som bedöms ha lägre prioritet

Åtgärder kopplade till åkern eller gården

Torkning av salixflis. Ett sätt att förbättra bränslekvaliteten och att minimera lagringsförlusterna är att torka flisen i planlagertorkar på gården, en etablerad teknik för spannmål. Eftersom tekniken är väl känd skulle den utan stora problem och med endast smärre modifieringar kunna appliceras även för salixflis. Intresserade lantbrukare bör således redan idag kunna tillämpa metoden, varför åtgärden inte bedömts ha hög prioritet inom forskningsprogrammet.

Åtgärder kopplade till anläggningen

Alveolit. Metoder kring hantering av åkerbränslen i slutna system för att minska risken för sjukdomen alveolit kan undersökas. Det prioriteras dock inte i programmet eftersom problemet med alveolit inte verkar vara allvarligt vid anläggningarna.

2.4 Förädling av bränslen

I detta arbete behandlas förädling av *stråbränslen*. Förädling av salix kan jämföras med förädling av skogsflis som behandlas inom pågående program "Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri" (2007-2010). Aktuella stråbränslen i Sverige är halm från olika grödor (ex vete, raps), fleråriga gräs (rörflen) och hampa. Dessa har gemensamma egenskaper men också skillnader, exempelvis utmärker sig hampan med sin extrema fiberstyrka. Grundat på tidigare systemstudier har antagits att utgångsformen vid förädlingsanläggningen är storbalar. Vid storskalig sameldning med exempelvis GROT har pelletering eller brikettering uteslutits och antagits att balarna endast sönderdelas. Kunskap om pelletering har hämtats huvudsakligen från anläggningen i Køge i Danmark och från anläggningen vid SLU Biomasseteknologi och kemi.

Teknik och metoder som finns utvecklade för förädling av träspån, kutterspån och liknande är inte optimal för stråbränslen. De fysikaliska skillnaderna på materialet kräver andra eller anpassade metoder. På grund av bristande efterfrågan har, fram till idag, FoU samt utrustningstillverkare inte arbetat med dessa material. I dagsläget har situationen förändrats då stor efterfrågan finns på sätt att förädla stråbränslen till en form som är miljövänlig sett ur förbrännings-, transport- och hanteringsegenskaper. Speciellt är tekniken att förädla hampa som odlas för energiändamål utvecklad beträffande fiberseparering, malning, konditionering, pelletering m.m.

För att utveckla området krävs framförallt insatser inom malning, konditionering, tillägg av additiv och pelletering. För utveckling av ny teknik krävs medverkan av maskintillverkare, eftersom insatserna är kostsamma. Åtgärder som gäller förädling av bränslen är kostsamma, och full kunskap bedöms inte kunna nås inom programperioden.

2.4.1 Förslag till åtgärder - Förädling av bränslen

Additiv. Additiv kan tillsättas för att (i) förbättra pelleteringsegenskaperna, (ii) förbättra förbränningsegenskaperna eller (iii) binda damm. Viss forskning har utförts och publicerats kring additiv och förbränningsegenskaper. Utvärdering av förbränningsprocessen kan ske i projekt < 0,5 - 2 år. Kring additiv i

pelleteringsprocessen eller för att binda damm finns idag stora kunskapsluckor, och området torde vara mer komplicerat jämfört med träpellets. Försök planeras vid SLU BTC med olika typer av lignin, s.k. ”presshelter”. Dessa additiv har tidigare utvärderats beträffande förbränningsegenskaper. Systematiska försök ryms inom programtiden till lägre kostnad. Ett område där projekt kan stödjas om de ger nytta inom programperioden är additiv som underlättar pelleteringen eller förbättrar arbetsmiljön som dammbindare. Kostnaden är oklar, men projekt < 0,5 Mkr borde rimligen ge en del användbara resultat. Full kunskap inom området nås inte på 3 år.

Pelleteringsprocessen. Ett flertal forskningsprojekt i labbskala eller i mindre försök finns publicerade. Vid pelletsfabriken i Köge har tillverkningen av halmpellets successivt förbättras utgående från metod och utrustning för träpelletering, men något vetenskapligt arbete för att optimera produktionen av stråbränslen i ett vidare begrepp har inte genomförts. Försök med rörflen visar att helt annan utrustning krävs jämfört med konventionell pelleteringsutrustning.

Utveckling av nya maskintyper kräver samverkan med maskintillverkare och är mycket kostsamma. Varje förändring/modifiering av maskiner tar tid. De etablerade tillverkarna av pelleteringsmaskiner är idag inte särskilt intresserade av åkerbränslen, som de ser som en marginellt liten marknad. Kortare projekt på forskningssidan krävs för att på sikt locka utrustningstillverkare att delta. Försök med ny teknik för pelletering bedöms som kostnadskrävande och full kunskap nås inte på 3 år. Om åtgärder av detta slag ska ingå bör samarbete med maskintillverkare för utveckling av pelleteringsteknik för stråbränsle initieras under programperioden.

Malningsteknik. Försök i USA har visat att energiförbrukningen vid malning av halm och gräs är betydligt lägre jämfört med malning av träflis. Malning av stråbränslen kräver lite energi och är inte så kostsamt. På sikt krävs dock åtgärder då dagens kvarnar ger stor spridning i partikelstorlek och mycket damm. Försöksuppställning är dock kostsam.

Kunskapsluckor som bedöms ha lägre prioritet

Konditionering av fibrer. Genom konditionering med ånga eller värme kan energiåtgången vid pelletering av långfibriga material som stråbränslen minskas betydligt. Hittills har ingen forskning skett inom pelletområdet, men viss erfarenhet finns från pappers- och massaframställning, men då med kortare fibrer. Potentialen för kostnadssänkning vid pelletering genom sänkt energiförbrukning bedöms som stor.

En försöksanläggning byggs just nu vid SLU BTC Umeå och planeras bli klar 2007 (finansieras av pelletplattformen). Den färdiga anläggningen kan användas för projekt kring åkerbränslen. Grundläggande studier kring materialtekniker och tillämpade försök i produktionsanläggningar är exempel på åtgärder som kan öka kunskapen om konditionering. Grundläggande studier utförda vid den byggda försöksanläggningen kan genomföras inom programtiden. Kostnaden är oklar, men projekt av typ < 0,5 Mkr borde rimligen ge en del användbara resultat. Tillämpade försök är mer kostnadskrävande. Full kunskap inom området nås inte på 3 år.

2.5 Beredning och dosering av bränslen på anläggningen

Energigrödor har många likheter med andra biobränslen, men det finns även stora skillnader. Tonvikten i denna studie ligger främst på olikheterna mellan mer välkända biobränslen och energigrödor.

Mottagning och hantering av bränsle. Innan ett bränsle kan förbrännas måste det matas in i pannan. Hantering av flisade och förädlade (pulver, pellets och briketter) energigrödor skiljer sig inte från hantering av annat biobränsle i samma form, förutom att risken för valvning kan vara något högre för vissa stråbränslen. Valvning sker när bränslepartiklarna hakar i varandra och bildar valv i exempelvis botten på en silo, vilket hindrar utmatningen. Vissa typer av spannmålsavrens har dock till och med bättre inmatnings- och malningsegenskaper än träpulver.

Stråbränslen kan också levereras i form av balar eller som lösvara, vilket skiljer sig markant från andra biobränslen. Balar kräver specialanpassad bränslemottagning och förbränningsutrustning, men kan även rivas och på så sätt användas i roster- eller FB (fluidbädd)-pannor. Ett vanligt problem med stråbränslen är att de långa stråna fastnar i bränslehanteringsutrustning, exempelvis skruvar. Hampa utmärker sig som extra problematiskt i bränslehanteringen, vilket beror på dess starka fibrer.

2.5.1 Förslag till åtgärder – beredning och dosering av bränslen på anläggningen

Beredning och dosering av stråbränslen. Utrustning behöver utvecklas för hantering av stråbränslen, i synnerhet material med långa fibrer, såsom hampa. Vanliga problem är att fibrer fastnar i skruvar och annan transportutrustning. När problem med inmatningen av bränslet är lösta kan förbränningstester genomföras i större skala. Det är viktigt att kunna åstadkomma ett jämt flöde av bränsle som inte fastnar och kräver underhåll. Arbetet kan förslagsvis ske i samarbete med leverantörer av utrustning för bränslehantering och beräknas ta mer än tre år.

Urlakning/tvättning. Vilka möjligheter finns det att urlaka olika grödor för att minska halten av ämnen som natrium och kalium? Vad kan ske på fält och vad kan ske i olika behandlingssteg? Tidsåtgång 3 år.

Blandning. Förbättring av metoder för att blanda två eller flera olika bränslen.

Åtgärder som bedöms ha lägre prioritet

Malning. Förbättring av malning/pulveregenskaper för spannmål. För att kunna förbränna 100 % spannmål krävs det att pulveregenskaperna förbättras. Arbetet är kostnadskrävande och prioriteras inte i nuläget.

2.6 Förbränning av energigrödor

Vanliga typer av förbränningsutrustning för biobränsle är pulverpannor, rosterpannor och fluidiserad bädd-pannor (FB-pannor). Beroende på panntyp har olika bränsleegenskaper olika stor inverkan på hur bra förbränningen kan ske.

Värmevärde/fukthalt. Värmevärdet beror mycket på fukthalten i bränslet. Olika pannor är anpassade för olika värmevärden exempelvis påverkas temperaturen och temperaturprofilen i pannan av bränslets värmevärde. Det viktigaste för en stabil drift är att värmevärdet inte varierar alltför mycket. Fukthalten och värmevärdet i energigrödor beror på många faktorer och skiljer sig inte nämnvärt från annat biobränsle.

Askhalt. Generellt har energigrödor högre askhalt än mer konventionella biobränslen (såsom exempelvis skogsflis, stamved och träpellets). Hög askhalt medför lägre värmevärde, och därmed lägre energitäthet i bränslet, större risk för askrelaterade problem och större askmängder, vilket ger ökade kostnader för askhantering.

Asksammansättning. Innehållet av alkali och klor är ofta högre i energigrödor än i stamved från skogen, vilket innebär ökade risker för beläggningar och korrosion på värmeöverföringsytor, sintring och agglomerering av askpartiklar och slaggning. Risken för beläggningar och korrosion kan minskas med hjälp av additiv eller sameldning med annat bränsle.

Storlek och form. Storleken och storleksfördelningen påverkar bland annat hur väl utbrunnet ett bränsle blir. Även här är det bäst med ett homogent bränsle så att pannan kan optimeras för ett visst storleksintervall. Partikelformen kan även påverka transportegenskaper för bränslet och tryckfall över en rosterbädd. Alltför stor andel finfraktion i roster- och FB-pannor kan medföra medryck, vilket medför att förbränningen sker på fel ställe i ugnen och att oförbränt bränsle följer med flygaskan ut ur pannan. För pulverbrännare är, förutom ovanstående faktorer, flykthalten viktig, eftersom bränslet måste antändas snabbt.

2.6.1 Förslag till åtgärder – Förbränning av energigrödor

Förbränning av olika grödor. En systematisk studie som jämför ett stort antal olika agrobränslen under samma, väl kontrollerade, förhållanden. Tidsåtgången räknas bli upp till tre år. Åtgärden anses ha hög prioritet för att få en klar bild kring de olika grödornas förbränningsegenskaper.

Beläggningar. Bildning av beläggningar är mycket komplex och det saknas kunskap om alla steg. Vissa anläggningar verkar kunna elda grödor utan problem med beläggningar medan andra har stora problem. Ett projekt skulle kunna identifiera orsaken bakom beläggningar och metoder för att eliminera dessa. Tidsåtgång är > 3 år. Åtgärden har hög prioritet då beläggningar är det enskilt största problemet när det gäller förbränning av energigrödor.

Korrosion vid förbränning av rörflen och hampa. Det saknas information om korrosionsbildning vid förbränning av rörflen och hampa. Informationen skulle kunna tas fram genom förbränningstester under längre tid med olika inblandningsgrad och i olika typer av pannor, eventuellt även med tester av olika additiv. Arbetet räknas uppgå till 3 år.

Additiv. För att bättre öka förståelsen för hur additiv påverkar beläggningsbildningen och korrosion bör en kartläggning av additivets påverkan med avseende på

doseringsstorlek, gröda och kostnad göras. Detta arbete beräknas ta cirka 3 år att genomföra.

Drifts- och underhållskostnader för olika bränslen. Kunskapen om hur stora drifts- och underhållskostnaderna i samband med förbränning av energigrödor är begränsad idag, men viktig för en anläggning. Exempel på en frågeställning är hur stor prisskillnaden måste vara för att det ska vara lönsamt att börja elda en viss gröda (dvs hur mycket extra kostar ett bränslebyte i drift- och underhållskostnader mm). Genomförandet av ett projekt inom området uppskattas överstiga 3 år, samtidigt som det kan vara kostsamt och inte går att göra generaliserbart för samtliga pannor. Genomförandet kan t ex inbegripa någon form av beräkningsverktyg och modell för totalkalkyl, dock baserat på praktiska erfarenheter, där en viss typ av anläggning samlat kan redovisa risker, insatsbehov och kostnader som uppkommer - och ställt i relation till känt referensbränsle, ofta GROT.

Driftstrategier. Hur kan förbränningstekniska (primära) åtgärder förbättra förbränningen av energigrödor? Detta arbete beräknas ta 3 år i anspråk.

Kunskapsluckor som bedöms ha lägre prioritet

Samförbränning. En stor del av dagens anläggningar eldas med kol (i ett europeiskt perspektiv) och ur den synvinkeln är det viktigt att finna möjligheter för att samförbränna kol med biobränslen (energigrödor). Ett möjligt område kan vara att utveckla förståelsen kring sambanden mellan beläggningar och korrosion vid samförbränning av energigrödor och andra bränslen, även trädbränslen. Detta är ett stort område och beräknas ta > 3 år i anspråk.

Panndesign. Ett projekt inriktat på att förbättra de olika panntypernas möjligheter att förbränna en eller flera energigrödor är viktigt för att kunna optimera själva förbränningsprocessen. Även förbättring av samförbränningsmöjligheter i de olika förbränningsteknikerna är intressant men kanske inte har högsta prioritet i nuläget. Tidsåtgången beräknas vara > 3 år.

Nya pannkoncept. Nyutveckling av pannor som bättre passar energigrödor. Projektet prioriteras lägre på grund av att det är mycket kostnadskrävande.

Kontrollsystem/mätinstrument. Förbättra möjligheten att kontrollera förbränningen. Inom Värmeforsks Basprogram arbetar man med att utveckla kontroll- och mätteknik och därför har denna kunskapslucka lägre prioritet inom Energigrödeprogrammet.

Bäddmaterial. Försök för att finna det bästa bäddmaterialet för olika energigrödor. Arbetet är kostnadskrävande och anses därför ha lägre prioritet.

Korrosionsbeständiga anläggningsmaterial. Förbränningsförsök och materialanalys för att se vilka material som förhindrar korrosion på pannväggar och tuber. Arbetet är kostnadskrävande och genomförs delvis inom Värmeforsks Basprogram.

2.7 Produktion av el med energigrödor

För att producera el ”direkt” från förbränning krävs det att ånga med högt tryck och temperatur produceras, som sedan leds till en turbin. Eftersom energigrödor innehåller höga halter av alkali och klor medför det att risken för beläggningar och korrosion är hög, och risken ökar med ångtemperaturen. För att producera el från grödor kan det därför vara fördelaktigt att använda alternativa metoder.

- Problemen kan, till viss del, minskas med rätt design av pannan, exempelvis genom att välja större utrymme mellan överhettarna, göra det lätt att byta ut överhettare eller genom att överhettning av ångan sker långt bak i pannan (då temperaturen på rökgaserna är lägre).
- Samförbränning minskar risken för beläggningar och korrosion och kan därför vara ett alternativ.
- Ett annat sätt är att elda energigrödor i en separat panna och där värma upp vatten, utan att förånga det, eller att förånga vid en låg temperatur. Därefter leds det producerade hetvattnet in i en annan panna som eldas med annat bränsle. I panna nummer två förångas och överhettas sedan vattnet.
- Förgasning av biobränsle medför att den producerade syntetiska gasen kan eldas i en gasturbin och därmed producera el.

2.7.1 Förslag till åtgärder – Produktion av el med energigrödor

Samförbränning. Systematiska tester och dokumentation hur olika energigrödor kan inkluderas i kol- eller träförbränning för att på så sätt producera mer el. Arbetet bör genomföras i samarbete med projekt om samförbränning som diskuterats i förbränningskapitlet. Tidsåtgången beräknas vara > 3 år.

Design. Ett projekt skulle kunna ge fördjupad kunskap kring hur pannan och pannmaterial bör utformas för att uppnå höga ångtemperaturer med liten beläggningssinverkan. Vad som talar mot förslaget är att det krävs kostnadsintensiv försöksutrustning och att arbetet kommer att ta lång tid, mer än 3 år.

Energikombinat. Branschövergripande undersökningar för att förbättra energikombinatteknikens kostnadseffektivitet och verkningsgrad. Projekt inom området genomförs inom Värmeforsks Basprogram. Fokus inom detta program bör dock ligga på totalekonomi för olika koncept och för vilka volymer energigrödor det kan vara aktuellt.

Kunskapsluckor som bedöms ha lägre prioritet

Driftstrategi. Identifiering av hur olika driftstrategier kan höja ångtemperaturerna. I nuläget prioriteras denna åtgärd lägre eftersom förbättringspotentialen inte kompenserar för projektkostnaden.

Koncept för separat förbränning. Identifiering av olika koncept för att förbränna energigrödor separat men på ett kostnadseffektivt sätt. Arbetet anses mycket kostnadsintensivt och har därför lägre prioritet.

Reningsteknik kring förgasning. Undersökning av hur tjära kan renas bort vid förgasningstekniken. Tidsåtgången uppskattas till > 3 år.

Förädlade energigrödor. Ett sådant projekt kan utvärdera den förhöjda effekten av att använda pellets och briketter vid elproduktion. I nuläget prioriteras denna åtgärd lägre eftersom förbättringspotentialen inte kompenserar för projektkostnaden.

ORC med energigrödor. Inledande tekniska försök med att använda energigrödor som bränsle i ORC-teknik (Organic Rankine Cycle). Ett sådant projekt är tidskrävande och har hög kostnad och anses därför ha lägre prioritet.

2.8 Rökgasrening och emissioner

Snabbväxande energigrödor karaktäriseras av högre kväve- och askhalter än stamved. Även halter av svavel, klor och av alkalimetallerna natrium och kalium är generellt högre, även om variationerna är stora. De bränslerelaterade utsläpp som kan vara av betydelse för utveckling av en marknad för åkergrödor inom programperioden är kväveoxider och stoft. Även dioxiner bör uppmärksammas, då många åkergrödor innehåller klor som är en av förutsättningarna för dioxinbildning. Några krav på åtgärder vid utsläpp av svaveldioxid eller väteklorid vid förbränning av åkerbränslen bedöms inte bli aktuella inom programperioden. Väteklorid bör dock uppmärksammas ur korrosionssynpunkt.

Stoftutsläpp begränsas idag av utsläppsvillkor. Då askrika bränslen genererar mer stoft finns behov för både förbränningstekniska åtgärder och rökgasrening för att sänka utsläppen.

Utsläpp av kväveoxider från åkerbränslen begränsas vid tillståndsbedömning och av systemet för kväveoxidavgift. Då kväverika bränslen kan ge kväveoxidhalter på upp till flera hundra mg/MJ, kommer det att finnas ett behov för både förbränningstekniska åtgärder och rökgasrening för att sänka utsläppen. Det finns inga indikationer om en utökning av NO_x-avgiftssystemet till mindre anläggningar.

Bildning av dioxiner beror, förutom av närvaro av klor, av förbränningsförhållanden, rökgasens kylning och klorhaltigt bränsle och katalytiska ytor. Genom att öka kunskapen om vad som krävs för att hålla minimala utsläppshalter kan krav på framtida kostsamma mät- och reningsmetoder undvikas.

2.8.1 Förslag till åtgärder – Rökgasrening och emissioner

Begränsning av kväveoxidutsläpp. Ökad kunskap behövs kring vilka halter av kväveoxider som nås vid förbränning av åkerbränslen och bränslemixar och vilken reduktion som kan nås med förbränningstekniska åtgärder (primäråtgärder) samt kring applikation av de sekundära deNO_x-metoderna SNCR och av SCR. Detta bedöms ha hög prioritet inom programmet, och kan fås genom projekt < 0,5 – 2 år genom försök i lab och/eller fullskala, samt genom erfarenhetsinsamling och utbyte i workshops el.dyl.

Primäråtgärder: Ökad kunskap behövs kring hur långt man kan nå med exempelvis stegad förbränning, kontroll på lokala luftöverskott, temperatorkontroll, optimerad omblandning, optimerad uppehållstid etc.

Sekundär rening med SNCR: Ökad kunskap behövs om möjlig reduktion med ammoniak-injicering, möjligheten att innehålla anläggningens utsläppsvillkor för ammoniak-slip, inverkan på ekonomin, risk för saltpåslag och lågtemperaturkorrosion.

Sekundär rening med SCR: I dagsläget framstår SCR som enda möjligheten till låga utsläpp då halten kväveoxid i rågasen är riktigt hög, eller då befintligt utsläppsvillkor är lågt. Kunskapsluckor finns om kemisk och fysikalisk karaktärisering av emissionerna i rökgasen från olika bränslen och bränsleblandningar, både gasfas och partikelfas. Placering av katalysatorn efter stoftrening rekommenderas idag. Ökad kunskap krävs om stoftrening, vad som orsakar deaktivering, hur regenerering kan ske och ekonomiska konsekvenser vid installation.

Kunskapsluckor som bedöms ha lägre prioritet

Bildning av kväveoxider. Ökad grundläggande förståelse för bildning av kväveoxider kräver långsiktigare forskningsprojekt och har därför lägre prioritet inom programmet.

Grundläggande studier av SCR kräver långsiktigare forskningsprojekt och har därför lägre prioritet inom programmet.

Begränsning av dioxinutsläpp. Ökad kunskap om bildning och reduktion av dioxiner, samt möjligheter till att begränsa utsläpp genom val av förbränningsteknik och drift eller genom sameldning kan erhållas genom litteraturstudier och mätningar i lab- och/eller fullskala. Detta kan fås genom projekt < 0,5 – 2 år samt workshops el.dyl. där erfarenheter utbyts.

Grundläggande studier av bildning och reduktion av dioxiner kräver långsiktigare forskningsprojekt och har därför lägre prioritet inom programmet.

Begränsning av stoftutsläpp. Ökad kunskap om stofthalter och stoftets karaktär (kemiskt och fysikaliskt) kan ske genom mätning i lab eller fullskala i projekt < 0,5 – 2 år. Erfarenhetsutbyte mellan anläggningasägare t.ex. i workshops är viktiga inslag. Idag används textilfilter vid förbränning av halm, varför denna teknik kan anses högst prioriterad. Även alternativ teknik (rökgaskondensering, våta elfilter etc) kan vara av intresse om tillstånd för stoftutsläpp inte kan innehållas.

Primäråtgärder: Ökad kunskap krävs kring hur stoftutsläpp kan hållas nere genom kontrollerad förbränning, temperatorkontroll, reducerande/oxiderande zoner, användning av additiv etc.

Textilfilter: Ökad kunskap behövs om textiltfiltrens vid olika åkerbränslen, lämplig filterbelastning, stoftets densitet, tryckfall över filterkakan, temperatur i filtren för att undvika syradaggpunkten, hygroskopiska effekter etc. Även slangmaterialens hållbarhet vid olika belastning, påverkan av svavel, nya typer av material är av intresse.

Elektrostatiska filter: Elfilter är idag inte vanligt vid förbränning av åkerbränslen. Ökad kunskap krävs om resistivitet hos partiklar vid olika bränslen, och om rökgasflöden och fukthalt i rökgasen vid eldning/sameldning med åkerbränslen. Litteraturstudier och mätningar i lab och/eller utvärdering av fullskala i kortare projekt rekommenderas. Åtgärder som rör elektrostatiska filter bedöms ha lägre prioritet än de som rör textilfilter, som idag används vid förbränning av halm.

2.9 Askhantering och återföring av aska till åkern

Aska från biobränslen odlad på åkermark kan vara en viktig växtnärringsresurs om kvaliteten är tillräckligt god. En viktig parameter för om askåterföring är möjlig eller inte är askans, och därmed bränslets, innehåll av tungmetaller och andra skadliga ämnen, men även innehållet av viktiga näringsämnen. Andelen oförbränt material i askan är en annan viktig parameter för hur askan kan hanteras. Det finns flera orsaker till att mängden oförbränt bränsle bör minimeras.

Tillförsel av aska påverkar både grödor och marksystemet, den skulle t.ex. kunna medföra en ökad risk för kväveutlakning. För att undvika skador på plantor och skott måste askor spridas i samband med plöjning, på obeväxt mark eller, när det gäller fleråriga grödor, omedelbart efter skörd. Kunskap om hur olika jordbruksgrödor reagerar på asktillförsel från olika energigrödor är viktig för att kunna utnyttja askorna optimalt. Likaså är det viktigt att ytterligare undersöka hur olika askor påverkar marken och hur tillgängligt olika näringsämnen, särskilt fosfor, är för växterna och eventuella möjligheter att styra detta.

En förutsättning för att kunna utnyttja askorna optimalt är också att de kan spridas jämnt fördelat på åkern. Olika lagringsformers påverkan både på askans spridnings- samt gödslingsegenskaper är därmed viktiga att fastställa. Spridningsegenskaperna påverkas i hög grad av askans vattenhalt, vilken varierar mycket beroende på bland annat lagringstid och på vilket sätt askan lagras. Lämpliga metoder och strategier för asklagring som kan ge möjligheter att styra in vattenhalten till önskad nivå behöver därför identifieras.

Inom skogssektorn är kunskapsläget inom askåterföring generellt sett på en högre nivå än på jordbrukssidan. En del av denna kunskap borde vara möjlig att överföra och applicera även inom jordbruket. Inom skogsområdet har man i syfte att underlätta askhanteringen också provat att pelletera och granulera aska. En sådan produkt blir mer enhetlig, vilket förbättrar möjligheterna till jämn spridning

2.9.1 Förslag till åtgärder – Askhantering och återföring av aska till åkern

Åtgärder kopplade till anläggningen

Återföring av flyg- och bottenaska. Standardiserade åtgärder för att återföra flyg- och bottenaska till åkern är centralt för att få ett kretslopp. Tidsåtgången beräknas upp till 3 år.

Rening av tungmetaller. Utveckling av metoder för att rena flygaskan från tungmetaller skulle underlätta återförandet av flygaskan till åker. Med utgångspunkt från tidigare studier kan kostnads- och scenarieanalyser göras för olika metoder. Tidsperspektiv 3 år.

Åtgärder kopplade till åkern

Kunskapsöverföring från skogssektorn. Att inventera den kunskap kring askåterföring som finns på skogssidan för att se vad som är möjligt att applicera inom jordbruket, skulle vara en snabb och effektiv åtgärd att höja kunskapsnivån. Ett sådant projekt skulle kunna göras på kort tid i form av litteraturstudier och med kompetenser från både skogs- och jordbruk.

Askans påverkan på åkermark och på odlad gröda. Kunskap behövs om hur askor från olika energigrödor och lagringssätt påverkar såväl gröda som marksystem. Lämplighet till olika jordbruksgrödor bör undersökas i fältförsök, liksom risken för ökad kväveutlakning. Tidsåtgången för sådana försök är minst tre år. Kunskapen är viktig för att kunna utnyttja askan optimalt och för att undvika negativ miljöpåverkan.

Lämpliga grödor efter askpridning. Olika växter kan ha varierande förmåga att tillgodogöra sig växtnäringsämnen i askan, samtidigt som vissa grödor skulle kunna reagera negativt. En orienterande ettårig studie med växtodlingsförsök i laboratorium bedöms vara tillräckligt initialt.

Kartläggning av fosfortillgängligheten i olika askor och vidareförädlade askprodukter. Kunskap om fosfor i aska är av betydelse eftersom fosfor bedöms vara det viktigaste växtnäringsämnet i askan. En första kartläggning av fosfors tillgänglighet i olika askor kan utföras som en förstudie i form av askanalyser. Fältförsök kan vara intressant som ett andra steg, men detta kan ta längre än tre år. Angelägenhetsgraden för studier bedöms bli mer angelägen om granulering av aska skulle bli aktuell.

Pelletering/granulering av aska. En vidareförädling av askan kan ge förbättrade möjligheter både till jämn spridning och till styrning av växtnäringsstillgänglighet. Hänsyn bör även tas till hur vidareförädling av askan påverkar lösligheten av näringsämnen (främst fosfor). Ett projekt med utvärdering och provning av teknik framtagen för skogsmark kombinerat med spridningsförsök bedöms ha ett visst intresse inom forskningsprogrammet, och bör kunna utföras inom tre år. Projekt kan exempelvis genomföras i samarbete med kemi/konstgödsselföretag.

Kunskapsluckor som bedöms ha lägre prioritet

Åtgärder kopplade till anläggningen

Hampans askegenskaper. Då det i nuläget saknas detaljerad kunskap kring hampans askegenskaper kan det tas fram i ett projekt. Tidsperspektiv 3 år.

Askmängder. Energigrödor har större askmängd jämfört med andra bränslen. Det är därför viktigt att finna metoder för att effektivt mata ut de stora askmängderna i pannan. Tidsperspektivet är 3 år.

Urlakningsvatten. Strategier för att ta hand om urlakningsvatten vid våutmatning. I nuläget prioriteras denna åtgärd lägre eftersom förbättringspotentialen inte kompenserar för projektkostnaden.

Åtgärder kopplade till åkern

Askans vattenhalt från panna till utkörning på fält. Vattenhalten är en viktig parameter för att kunna sprida askan på ett bra sätt. Kunskap om hur olika lagringssätt påverkar askans vattenhalt är därför viktig, samtidigt som metoder för asklagring som ger önskad vattenhalt behöver identifieras. Praktiska försök kan utföras såväl i laboratorium som i fältförsök. Tidsåtgången uppskattas till cirka ett år.

3 Pågående forskningsprogram

Detta kapitel ger en kort sammanfattning av pågående forskningsprogram som ämnesmässigt angränsar till Värmeforsks program om förbränning av energigrödor. En översikt av pågående forskningsprogram ges i Tabell 1, där programtitel, löptid och budget framgår. Specifika pågående forskningsprojekt finns redovisade under respektive ämnesområde i kunskapsöversikten (kapitel 5-13). Pågående och avslutade europeiska forsknings- och utvecklingsinsatser inom småskalig bioenergianvändning (mindre än 10 MW) för värme- och elproduktion finns beskrivna i [1].

Tabell 1. Pågående forskningsprogram inom området.

Table 1. Current research programmes within the area

Forskningsprogram	Löptid	Total Budget
Produktion och förädling av energigrödor samt energibesparing inom jordbruket (SLF)	2005-07-01 – 2009-06-30	16 Mkr (+ ca 12 Mkr)
Landsbygdsutvecklingsprogrammet (SJV)	2007–2013	35 Miljarder kr
Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle (Energimyndigheten) Delprogram: Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri (Energimyndigheten)	2007-01-01 – 2010-12-31	160 Mkr + tillkommande finansiering
Småskalig värmeförsörjning med biobränslen (Energimyndigheten)	2007-2010	40 Mkr + 40 Mkr i medfinansiering
Kompetenscentrum högttemperaturkorrosion (Energimyndigheten)	2006-2009	87 Mkr
Konsortiet för Materialteknik för termiska Energiprocesser	2006-2009	50 Mkr
Värmeforsks Basprogram	2005-01-01 - 2007-12-31	50 Mkr
Miljöriktig användning av askor (Värmeforsk)	2006-2008	45 Mkr
Fukthaltsmätning av biobränsle (Värmeforsk)	2004-2008	7,8 Mkr
TPS Branchforskningsprogram för Energiverk	2006/2007	6,6 Mkr
ERA-Net-BIOENERGY	2006-11-01-2008-03-31	3,8 Mkr (Sveriges del)

Produktion och förädling av energigrödor samt energibesparing inom jordbruket

Programmet startade den 1 januari 2006 och löper under fyra år till den 30 juni 2009. Programmet har hittills haft tre utlysningar (1 feb 2006, 1 okt 2006, 1 feb 2007), med en total budget på 16 Mkr, varav SLF finansierat 60 % och Energimyndigheten 40 %. Ytterligare finansiering söks för kvarvarande period, där SLF kan komma att stå för 7 Mkr och Energimyndigheten för 4,67 Mkr.

Målet med programmet är att på kort och lång sikt förbättra lantbrukets möjligheter att öka den egna användningen samt försäljningen av energigrödor och bioenergi i förädlad form och därigenom skapa nya affärsmöjligheter för jordbruket och bidra till en minskad användning av fossila bränslen. Vidare är målet att nå en generellt effektivare energianvändning inom jordbrukets primärproduktion.

Programmet omfattar fyra delområden:

- Lantbruksföretagens energisystem och energiförsörjning
- Bränsleråvaror för marknaden
- Råvaror till biodrivmedel
- Bonden som energientreprenör – logistik och affärsmodeller

Projekten inriktas på frågeställningar som har en tydlig relevans för svenskt lantbruk, energibolag och andra avnämare inom bioenergiområdet. Projekten utgår från de möjligheter och problem som finns inom olika delar av landet och industri/företag kommer med fördel att involveras i utformning och genomförande av projekten. Från programmets sida ser man ett stort värde i att kunna finna samverkan mellan producenter och avnämare, eftersom det skulle underlätta utveckling av en marknad för biobränslen från jordbruket. Insatserna delas in i projekt av demonstrationskaraktär, utvecklingsprojekt och forskningsprojekt. Huvudsakligen inriktas programmet på relativt kortsiktiga utvecklingsprojekt eftersom det bedöms viktigt att snabbt nå praktisk tillämpning av resultaten.

Landsbygdsutvecklingsprogrammet

Den 1 januari 2007 inleddes ett nytt landsbygdsprogram (LBU-program) för stöd och ersättningar till landsbygden. Programmet som administreras av Jordbruksverket (SJV) och de regionala länsstyrelserna gäller fram till år 2013 och omfattar totalt cirka 35 miljarder kronor, varav cirka 5 miljarder per år. Programmet ersätter det tidigare miljö- och landsbygdsprogrammet som gällde åren 2000–2006. LBU-programmet innehåller stöd för:

- utveckling av landsbygden,
- miljöförbättrande åtgärder, och
- ökad konkurrenskraft inom jordbruk, skogsbruk, trädgård, rennäring och livsmedelsförädling.

Programmet är i skrivande stund (maj 2007) ännu inte godkänt av EU-kommissionen varför förändringar av innehållet kan komma innan det träder i kraft. Dock är det möjligt att redan nu söka stöd.

Landsbygdsprogrammet vänder sig till alla som vill ägna sig åt landsbygdsutveckling eller näringsverksamhet på landsbygden. De flesta stödformerna vänder sig till jordbrukare, men en del åtgärder är till för småföretagare, skogsägare, ideella föreningar eller andra aktörer på landsbygden.

Följande stöd ingår i programmet:

Miljöersättningar – för de som har jordbruk och vill sälja miljötjänster till samhället. Stöden kommer att vara utformade på ungefär samma sätt som inom det tidigare programmet.

Projektstöd – till företag, sammanslutningar av företag, organisationer, kommuner och myndigheter för att genomföra projekt på landsbygden. Resultatet av projektet ska komma mer än en part till godo eller bidra till att målen i landsbygdsprogrammet uppfylls.

Företagsstöd – för de som vill börja med en ny verksamhet inom sitt företag, eller starta ett nytt jordbruks- eller rennäringföretag. Inom ramen för detta finns även möjlighet att få investeringsstöd för t.ex. fasta anläggningar, maskiner eller utrustning.

Kompetensutveckling – innefattar utbildning, rådgivning, seminarier och informationsinsatser till verksamma inom jordbruk, trädgård, rennäring, livsmedel, skogsbruk eller annan landsbygdsutvecklingsverksamhet.

Regionala stöd – till jordbrukare i områden med sämre förutsättningar för jordbruk. Kompetensutveckling

Förutom stöden ovan ingår också **övriga stöd** i landsbygdsprogrammet, som gäller:

- skogliga åtgärder
- natur- och kulturmiljöer i renskötselområdet
- rasbevarande husdjursföreningar

Leader

Leader är ett sätt att tillämpa en del av stöden i LBU-programmet. Syftet är att med stöd av lokal kunskap och lokalt engagemang uppnå målsättningarna för utveckling av landsbygden. För detta krävs att det bildas en särskild form av lokalt partnerskap, en s.k. *LAG-grupp*. I LAG-gruppen ska det finnas representanter för tre sektorer i samhället: ideella sektorn, offentliga sektorn och privata sektorn. LAG-gruppen ansvarar för att ta fram en gemensam utvecklingsstrategi för ett avgränsat geografiskt område, samt fattar beslut om vilka projekt som kan finansieras via LBU-programmet. Leaderprojekt som genomförs enligt utvecklingsstrategin kan få medfinansiering från programmet.

Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle

Programmet, som leds och administreras av Energimyndigheten, löper från den 1 januari 2007 till den 31 december 2010. Den årliga budgeten uppgår till 40 Mkr och avser att finansiera såväl grundläggande forskning som industridrivna utvecklingsprojekt. Både enskilda projekt och sammanhållen verksamhet såsom tvärdisciplinella storprojekt och externt administrerade utvecklingsprogram innefattas. Tre tematiska områden ingår i programmet; *Skogsbruk*, *Lantbruk*, *Förädling*, samt det tvärgående området *Strategisk kunskap*. Målen för de tre sistnämnda områdena beskrivs nedan.

Inom området *Lantbruk* finns följande mål:

- Det kommersiellt tillgängliga sortmaterialet av *Salix* ska på medellång sikt förbättras och möta framtida marknadens behov av nya växtegenskaper. Svensk kommersiell förädling ska vara internationellt ledande och ha stöd av kompetens från universitet.
- Lönsamheten inom *Salix*odlingen ska på kort till medellång sikt öka genom förbättringar i maskinell utrustning, skötselinsatser eller andra typer av åtgärder som stärker grödans konkurrenskraft.
- Förutsättningarna ska förbättras för att lantbrukets produktion och användning av andra energigrödor än *Salix* ska öka i ett kort till medellångt tidsperspektiv.

Programmet delfinansierar även programmet *Produktion och förädling av energigrödor samt energibesparing inom jordbruket* som administreras av SLF (se tidigare i detta kapitel).

Inom området *Förädling* finns följande mål:

- Utveckling av en resurs- och kostnadseffektiv pelletproduktion i en god arbetsmiljö
- Optimerad kvalitet med avseende på ingående råvara och slutprodukt, med anpassning till hanteringssystemet samt små- och storskalig användning.
- Utveckling av bränsleegenskaper och -kvaliteter i enlighet med FoU-reslutat inom förbränningsteknik.
- Pelletproduktion från en bredare, kostnadseffektiv råvarubas.

Inom området *Strategisk kunskap* finns följande mål:

- En miljökonsekvensbeskrivning för skogsbränsleområdet
- Metoder för att kunna avväga mellan olika miljömål som berörs av bioenergin
- Möta statliga organisationers behov av ny kunskap för myndighetsutövning inom bränslerelevanta ämnesområden

Delprogram: Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri

Energimyndigheten har beviljat 18 miljoner kronor till Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, för ett branschforskningsprogram, "Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri". Stödet utgör 40 procent av de totala kostnaderna. Programmet ska pågå i fyra år (2007-2010). Total budget är 45 Mkr.

"Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri" har som övergripande mål att skapa långsiktiga förutsättningar för ökad pelletsförsörjning till energisystemet. Huvudfokus inom programmet ligger på skogsråvara. Detta ska ske genom samverkan mellan forskning och pelletsindustri, där det handlar om att successivt utveckla en bredare bas av råvaror som det går att göra pellets av. Kostnads- och resurseffektivare processer är också angelägna liksom att utveckla och anpassa pelletskvaliteten till varierande förbränningstekniker.

Småskalig värmeförsörjning med biobränslen

Energimyndigheten har avsatt 40 miljoner kronor under perioden 2007-2010 för programmet "Småskalig värmeförsörjning med biobränslen". Målet är att utveckla en trygg småskalig värmeförsörjning baserad på bioenergi i anläggningar upp till 10 MW. Programmet syftar till att bidra utvecklingen av ett hållbart energisystem och samtidigt förstärka svensk industris konkurrenskraft på en internationell marknad genom att bygga upp kunskap och kompetens inom branscherna samt förbättra samverkan mellan universitet, högskolor, institut och näringsliv. Programmet ska bedrivas i sex projektpaket. Nu inbjuds till ansökan om finansiering av projekt inom programmet till en summa av 35 miljoner. Inbjudan avser inlämning av projektskisser som ska läggas som grund för arbetet att formulera projektpaketen: Småskalig pelletsteknik, Närvärme, Biobränsle – solvärme, Vedeldade pannor och lokaleldstäder, Teknikbevakning och Systemaspekter och syntes.

Kompetenscentrum Högtemperaturkorrosion (HTC)

HTC är ett nationellt kompetenscentrum för högtemperaturkorrosion som finansieras av Energimyndigheten, Chalmers och 18 medlemsföretag. HTC omsätter årligen cirka 22Mkr varav 7Mkr från Energimyndigheten. Verksamheten omfattar cirka 10 heltidsdoktorander med sina respektive handledare. HTC-forskningen bedrivs i ett nära samarbete mellan forskare på högskola och institut och medarbetare i företagen.

HTC bedriver under 2006-2009 forskningsprogrammet ***Högtemperaturkorrosion – forskning för ett uthålligt energisystem.***

Viktiga tillämpningsområden för HTC's forskning:

- Kraft-värmepannor eldade med biomassa och avfall
- Metalliska bärarmaterial för avgaskatalysatorer
- Keramiska och metalliska material för resistansuppvärmning
- Gasturbiner och jetmotorer
- Förgasningsprocesser
- Dieselmotorer med avgassystem
- Metalliska material för bränsleceller (SOFC)
- Småskalig förbränning av biomassa för uppvärmning av småhus

Ett av HTC's prioriterade forskningsområden är de korrosionsproblem som drabbar ångöverhettare i kraft-värmepannor eldade med biomassa eller avfall. Problemen löses i dag genom att tillämpa jämförelsevis låga ångtemperaturer i pannorna vilket försämrar elverkningsgraden och minskar anläggningarnas konkurrenskraft. HTC's forskning är inriktad på grundläggande korrosionsfenomen och syftar bland annat till att förstå varför dessa miljöer är så korrosiva jämfört med pannor som eldas med fossila bränslen. Avsikten är att den nya kunskap som HTC tar fram skall bidra till att problemet löses, t.ex. genom utveckling av nya material eller genom förändringar av förbränningsmiljön. Då skulle ångtemperaturen kunna höjas i pannorna vilket skulle öka lönsamheten för produktionen av grön el.

Konsortiet för Materialteknik för termiska Energiprocesser (KME)

KME:s mål är att lösa materialproblemen för att effektivisera elproduktion baserad på förnyelsebara bränslen samt att bidra till utvecklingen av nya material för framtidens energisystem. Alla KME-projekt genomförs gemensamt av industri och högskola eller institut. Innevarande KME-program löper under en 4-årsperiod (2006-2009).

Omsättningen är drygt 50 Mkr för perioden. Mål och inriktning för KME kan beskrivas enligt nedan:

- Medverka till utvecklingen av tillförlitliga överhettare,
- Möjliggöra användning av nya material,
- Materialfrågor för avancerade processer med förnybara bränslen,
- Prestandaförbättrande materialfrågor för gasturbiner.

Värmeforsks Basprogram

Värmeforsk (www.varmeforsk.se) är ett branschorgan för forskning och utveckling inom energisektorn, speciellt inriktat mot bränslebaserad el- och värmeproduktion. Forskningsprogrammen styrs av de behov som branschen finner mest angelägna, vilket

till stor del är beroende av olika omvärldsfaktorer tex. uppsatta miljömål. Organisatoriskt är Värmeforsk indelat i Basprogrammet, där grundläggande forskning sker, och i de tillämpade programmen. Värmeforsks basprogram är organiserat i fyra forskningsområden:

- Anläggnings- och förbränningsteknik
- Material- och kemiteknik
- Processtyrning
- Tvärteknik

Ett gemensamt övergripande mål för Värmeforsk, KME och HTC är att det före 2015 ska finnas behövlig kunskap för att kunna köra anläggningar med i jämförelse med dagens läge förhöjda ångtemperaturer (600°C i biobränsleeldade pannor, 550°C i returfliseldade pannor, 500°C i pannor för hushållsavfall, 540°C i sodapannor)

Tidplanen för Basprogrammet är för närvarande 2005-01-01 till och med 2007-12-31. Budgeten beräknas uppgå till ca 17 Mkr per år, dvs 50 Mkr för hela programperioden.

Värmeforsks program "Miljöriktig användning av askor"

Inom Värmeforsks program för "Miljöriktig användning av askor" bedrivs forskning kring användning av askor, bland annat vad gäller återföring av askor från förbränningen av olika bränslen. Huvudskaligen fokuserar denna återföring på återföring av trädbränslen och användning på olika typer av skogsmark men även åkergrödor, till exempel salix och hampa, berörs. Askprogrammet 2006-2008 följer upp tidigare askprogram och har som mål att mera långsiktigt säkerställa, skapa trygghet och komplettera resultaten där det behövs så att dessa kan nyttjas i praktiken. Forskning bedrivs inom områdena:

- Geoteknik
- Flygaskor i vägar och ytor
- Flygaskor i betong och bruk samt komplement till/ersättning av cement
- Bottenaskor
- Deponi
- Miljö och kemi
- Aska till skog och mark

Värmeforsks program "Fukthaltsbestämning av biobränsle"

Det övergripande målet med detta forskningsprogram är att:

- utveckla en standardmätteknik baserad på NIR-teknik eller radiofrekvens för automatisk fukthaltsmätning vid bränsleleverans till anläggningen
- on-line mätning med NIR för styrning av pannan

TPS Branschforskningsprogram för Energiverk

TPS Branschforskningsprogram bedriver ettåriga projekt med aktiv medverkan av energiverk. Programmet är uppdelat på fyra teknikområden, de tre vanligen förekommande förbrännings-teknikerna rosteldning, pulverbrännare och fluidbäddar och ett område som är oberoende av förbränningstekniken.

ERA-Net-BIOENERGY

ERA-Net-BIOENERGY är ett nätverk av nationella FoU-finansiärer inom området bioenergi. Det övergripande målet med ERA-Net är att främja europeisk forskningssamverkan inom området småskalig förbränning ($< 3\text{MW}_{\text{th}}$) av biobränsle. De länder som deltar är Österrike, Finland, Tyskland, Sverige och Storbritannien. För närvarande pågår fem projekt varav fyra med svensk medverkan. Projekten berör områdena utvecklingsstatus för småskalig förbränning av pellets från nya askrika råvaror, möjliga metoder för att styra småskalig pelletförbränning, ren förbränning av biobränslen i småskaliga värmeanläggningar: partikelmätning och provtagning samt fysikalisk/kemisk och toxikologisk karakterisering, utveckling av testmetoder för småskalig utrustning för förbränning av fasta bränslen förutom träbränslen samt småskalig samtidig produktion av el och värme.

3.1 Referenser

- [1] Gustavsson, L., Kjellström, B., Kovács, P., 2007 "FoU för småskalig bioenergianvändning – en europeisk översikt" Energimyndigheten

4 Produktionskostnader för åkermarksenergi

I detta avsnitt redovisas resultat från beräkningar av kostnader för olika grödor som är avsedda att användas för energiändamål. En målsättning med beräkningarna har varit att använda en metodik som gör beräkningarna för de olika grödorna så jämförbara som möjligt. Huvudsyftet har varit att studera produktionskostnader för olika odlingar på åkermark. Resultaten, som finns sammanställda i Tabell 2, är förutom halm desamma som beräknats i "Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent, Jo 2005:05".

Tabell 2 Produktionskostnad i SEK per MWh för energigrödor. Siffrorna i tabellen skall ses som ungefärliga kostnader och inte som exakta kostnader.

Table 2. Production cost in SEK per MWh for energy crops. The figures should be regarded as approximate rather than exact costs.

Produktionsområde	Salix	Hampa	Rörflen	Höstvete	Havre	Halm
Götalands södra slättbygder (Gss)	130	318	222	296	303	150
Götalands mellanbygder (Gmb)	160	318	225	327	341	
Götalands norra slättbygder (Gns)	140	325	228	354	354	
Svealands slättbygder (Ss)	153	330	232	384	386	
Götalands skogsbygder (Gsk)	168	345	236	390	427	-
Mellersta Sveriges skogsbygder (Ssk)	188	351	239	396	439	-
Nedre Norrland (Nn)	-	362	239	-	631	-
Övre Norrland (Nö)	-	362	239	-	603	-

För halm har kostnaden bedömts till 150 kr per MWh. Beräkningarna för halm är gjorda i EU-projektet RENEW med samma metodik och kostnader som för övriga grödor, vilket gör att kostnaderna i tabellen är jämförbara. Halm för energiändamål bedöms vara aktuellt endast i slätt- och mellanbygder.

Som framgår av Tabell 2 så har energiskog klart lägst produktionskostnad per MWh både jämfört med befintliga traditionella grödor samt andra energigrödor. På jordar med låg avkastningsnivå skiljer inte produktionskostnaden per MWh lika mycket mellan Salix och rörflen som på högavkastande jordar. En förklaring till detta är de höga skörde-, lagrings- och hanteringskostnaderna för stråbränslen. Hampa verkar ha en alltför hög produktionskostnad som storskalig energigröda.

Av stråbränslena är halm billigast p.g.a. att odlingskostnaden belastar kärnskörden. Rörflen är den energigröda av stråbränslena som verkar billigast att producera och har störst konkurrensfördel på de mindre bördiga markerna. Med dagens energipriser är dock rörflen i de flesta fall svårt att odla med lönsamhet. Spannmål har högre produktionskostnad per MWh än Salix och rörflen men kan ha ett högre värde per MWh för mindre energianvändare p.g.a. relativt låga kostnader för utrustning och drift vid små anläggningar, speciellt jämfört med oförädlade stråbränslen.

I Tabell 3 visas kostnadernas fördelning i procent för de olika grödorna. Detta kan ge en indikation på hur betydelsefulla olika kostnader är för olika grödor. Som framgår av tabellen utgör kostnad för skörd, lagring och transport huvuddelen av kostnaderna för stråbränslen. Även för Salix utgör kostnader för skörd och transport en väsentlig kostnad. För de ettåriga grödorna utgörs av naturliga skäl etableringskostnaden en relativt hög kostnadsandel. För Salix och stråbränslena är det viktigt att sänka hanteringskostnaderna efter skörd. Ett annat resultat som dock inte framgår av tabellen är att det för stråbränsle är viktigare att minska skörde- och hanteringskostnaderna än att öka skördenivån.

Tabell 3. Exempel på kostnadernas fördelning exklusive markkostnad i procent för olika grödor med den i tabellen antagna skördenivån. Vid högre skördenivå ökar andelen skörderelaterade kostnader som t ex skörd och transport.

Table 3. Example of the distribution of costs in percent for different crops at certain yields, indicated in the table. Land costs are not included. The share of costs related to harvest and transport increase with an increase of the yield.

	Salix	Hampa	Rörflen	Höstvet e	Havre	Halm
Skörd, ton ts/ha	8	6	5	5	4	
Kostnadstyp						
Etablering	20	29	6	20	35	0
Gödsling	18	9	23	22	14	9
Skörd och fälttransport	25	24	28	14	15	39
Lagring	0	11	12	9	5	22
Vägtransport	16	12	10	4	3	18
Försäljning	6	3	4	4	3	6
Tillsyn och övrigt	6	4	6	19	14	1
Overhead	10	7	12	9	10	5

4.1 Förutsättningar för kostnadsberäkningarna

I samtliga beräkningar ingår direkta kostnader, alla körslor är inlejda, kostnader för företagarens eget arbete och kapital med en real kalkylränta på sex procent, tre mils transport. För stråbränslen är det beaktat lagringskostnader. Det är beaktat förmedlingskostnad på sex procent av bränsleintäkterna. Beräkningarna avser leverans till stora användare. Markkostnader och stöd ingår inte i beräkningarna. För samtliga grödor har modifierad totalstegkalkyl använts [2]. Därmed har samma metod kunnat användas på både ett- och fleråriga energigrödor. Genom att använda samma metod ökar jämförbarheten mellan de olika alternativen.

Skördenivåerna har stor betydelse för produktionskostnaderna. I Tabell 4 visas vilka skördar som använts i beräkningarna för de olika grödorna [3].

Tabell 4. Sammanfattning av uppskattade genomsnittliga skördenivåer för olika energigrödor odlade på genomsnittlig åkermark inom respektive produktionsområde, ton ts/ha och år [3]. I högra kolumnen visas antaget energiinnehåll i MWh/ton ts för grödorna [4].

Table 4. Summary of estimated average yields for various energy crops, cultivated on average farmland within each production area, in tonnes per hectare and year [3]. The column to the right shows the crops energy content in MWh per tonne dry matter [4].

Energigröda	Genomsnittlig skördenivå per hektar och år								MWh/ ton ts
	Gss	Gmb	Gns	Ss	Gsk	Ssk	Nn	Nö	
Vete-kärna	6,4	5,5	4,8	4,2	-	-	-	-	4,5
Havre-kärna	4,8	4,1	3,6	3,2	3,0	2,8	1,9	1,9	4,85
Rörflen	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5
Hampa	6,5	6,5	6,2	6,0	5,5	5,3	5,0	5,0	4,5
Salix	9,5	6,5	8,2	7,0	6,0	5,0	-	-	4,4

4.2 Kommentarer till beräkningarna

Ur kostnadssynpunkt är det negativt att grödor skall etableras varje år vilket höjer produktionskostnaderna för de ettåriga grödorna. Det är även kostsamt att hantera stråbränslena i form av balar jämfört med t ex energiskogsflis och spannmålskärnor. Hampa skall både etableras varje år samt hanteras som balar, vilket gör att denna gröda blir dyr att producera för storskaliga energiändamål. Stråbränslena är dyra att hantera och lagra vilket gör att kostnaderna ökar om de inte kan levereras i anslutning till skörd. Energiskog skördas under vinterhalvåret när energibehovet är som störst, vilket minskar lagringskostnaderna.

De olika grödorna är i olika utvecklingsstadier både vad beträffar växtförädling, odlingsteknik samt hantering efter skörd. Detta gör att det finns störst kostnadssänkingspotential för de mindre utvecklade grödorna som t ex Salix. Detta gör att de traditionella jordbruksgrödorna inte har samma kostnadssänkingspotential som de nya energigrödorna, under förutsättning att dessa börjar odlas i stor omfattning.

En fördel med traditionella jordbruksgrödor för energiändamål är att det finns odlingstradition och befintliga resurser som kan utnyttjas, vilket innebär en större acceptans bland lantbrukare att odla dessa grödor. Nackdelen jämfört med energigrödor som Salix och rörflen är att odlingskostnaderna är högre per MWh för de traditionella jordbruksgrödorna. Utifrån detta kan vi konstatera att i ett kortsiktigt perspektiv kan det för vissa lantbrukare möjligtvis vara intressant att utnyttja befintliga resurser för energiproduktionen. På lång sikt när de befintliga resurserna behöver förnyas, stärks konkurrenskraften för grödor som är speciellt anpassade för energi, som t ex Salix och rörflen. Dock är spannmål billigare än stråbränslena att hantera, vilket gör att kostnader kan sparas i leden efter odling. Salix har dock en fördel i att det skördas när värme- och elbehovet är som störst, vilket minskar behovet av långtidslagring.

4.3 Referenser

- [2] Rosenqvist H., Salixodling - Kalkylmetoder och lönsamhet, Silvestria 24, SLU, Uppsala, Sweden. 1997.
- [3] Börjesson P., Produktionskostnader för biobränsle inom svenskt jordbruk, delrapport 1, 2007.

4.3.1 Personliga meddelanden

- [4] Börjesson, Pål. Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola

5 Hinder och möjligheter för produktion och användning av energigrödor

Håkan Rosenqvist

Det finns ett antal hinder och möjligheter för produktion av energigrödor. Nedan beskrivs några sådana.

Hinder mot grödorna

- Liten areal av grödan
- Ej fungerande marknad för avsättning
- Ej fungerande marknad för tjänster kring energigrödan
- Minskad sysselsättning
- Minskad användning av egna maskiner och utrustning
- Binder upp sig under lång period
- Arrende
- Förändring av landskapsbilden
- Energigrödestöd
- Kunskap om grödan
- Upplevd risk
- Teknik

Möjligheter

- Ökad inkomst
- Minskad sysselsättning
- Vidareförädling
- Jakt
- Breddad inkomstportfölj

5.1 Hinder mot grödorna

5.1.1 Liten areal av grödan

En liten areal av Salix, rörflen och hampa leder till höga kostnader och är ett hinder både för marknadsutveckling och teknisk utveckling. En liten areal kan ha behov av både andra marknadslösningar och andra tekniska lösningar. Exempel på detta kan vara brikettering av stråbränslen när det saknas bra förutsättningar för storskalig avsättning, t.ex. småskalig brikettering av hampa [6]. För att sänka kostnaderna för bioenergi är det viktigt att arbeta med frågor kring hur de olika energigrödorna kommer upp i tillräcklig areal för att avsättning av bränslena skall ske på en konkurrensutsatt marknad, finnas ekonomiska incitament för utveckling samt tillräckligt arealunderlag för specialmaskiner. Kostnaderna kan sjunka dels p.g.a. skalekonomi, dels p.g.a. maskin- och kunskapsutveckling, teknisk utveckling samt växtförädling [21]. För de nya energigrödorna som Salix, rörflen och hampa, kan i många fall kostnaderna sänkas avsevärt om dessa grödor skulle odlas i stor skala [21]. Därmed är implementeringsfrågorna viktiga och behöver studeras mer. Nedanstående punkter har stor betydelse för implementeringen. Utöver nedanstående har stödsystem stor betydelse för

implementeringen. Utformning av stödsystem är viktigt så att det inte bara styr mot stor areal utan framförallt styr mot hög energiproduktion. Orsaker till att det inte satsas mer på fleråriga energigrödor från odlarhåll behöver studeras ytterligare.

5.1.2 Ej fungerande marknad för avsättning

Detta kan vara av organisatorisk karaktär som t.ex. på salixområdet där det i stort sett endast finns en stor aktör, nämligen Lantmännen Agroenergi. Här behövs ökad kunskap om hur försäljning och organisation kan ske av lokala aktörer. En annan situation är att det saknas kunder för bränslet inom rimligt avstånd, vilket framförallt gäller för stråbränslena. Detta leder antingen till ett vidareförädlingsbehov som t.ex. färdig värme eller att det skapas lokal avsättning för biobränslet. Ett led i att skapa en lokal avsättning kan vara lokal brikett- eller pelletstillverkning som distribueras lokalt.

5.1.3 Ej fungerande marknad för tjänster kring energigrödan

När arealen är liten underlättas uppstartningsskedet om vanliga lantbruksmaskiner kan användas. Vid användning av specialmaskiner för t.ex. salixskörd och salixplantering krävs ett tillräckligt stort arealunderlag för att hålla kostnaderna på en rimlig nivå. Dessutom skapar en liten areal osäkerhet för maskininnehavaren. Med endast en maskininnehavare att anlita finns det även risk för att prissättningen på tjänsten blir högre, än om det funnits flera konkurrenter.

5.1.4 Minskad sysselsättning

För den enskilde företagaren kan sysselsättningen minska vid vissa energigrödor som t.ex. Salix, men även i vissa fall för rörflen. Alternativen till energigrödor och ev. vidareförädling har stor betydelse för hur sysselsättningen ändras [27] [29].

Sysselsättningseffekten skulle behöva delas upp i dels sysselsättning för lantbrukaren, dels sysselsättning för andra.

Ett sätt att öka sysselsättningen är att vidareförädla grödan samt att distribuera den till kund. Här skulle det vara lämpligt att dela upp sysselsättning och kostnader i 1) odling 2) vidareförädling och 3) distribution. På detta sätt kan resultaten från delstudier användas även i andra situationer.

En jämförelse behöver även göras med alternativen till energigrödor. Hur mycket tid som läggs ned på fälten känner vi någorlunda bra till men tid runt omkring samt overheadkostnader har vi sämre koll på.

5.1.5 Minskad användning av egna maskiner och utrustning

Vid en övergång från befintlig produktion av t.ex. spannmål till fleråriga grödor, såsom Salix och i vissa fall rörflen, krävs inte samma resursuppsättning som i den befintliga produktionen. Därmed kan det upplevas som om befintliga resurser inte utnyttjas på ett bra sätt. I detta resonemang behöver även läglighetskostnader beaktas, vilket studerats bl.a. genom modellsimuleringar i samband med maskinsamverkan [4]. Denna metodik skulle även vara tillämplig för ändrad areal på den enskilda gården i samband med att energigrödor odlas på en del av gården.

Dessutom behöver det skiljas mellan en kort- och en långsiktig analys. Dagens bidragskalkyler, som bl.a. ges ut av Agriwise SLU, HS för södra Sverige samt Västra Götalands län, har en hel del kostnader som inte beaktas. Genom att inte alla kostnader finns beaktade i bidragskalkyler försvåras jämförelsen mellan grödor som belastar mycket företagsgemensamma kostnader och de grödor som belastar mindre av de företagsgemensamma kostnaderna. Detta gör att de mer resurskrävande grödorna gynnas när man bara ser på täckningsbidraget i bidragskalkylerna. Odling av energiskog och rörlan missgynnas därmed med dagens bidragskalkyler.

Om kalkylerna upprättats på ett annat sätt hade inte de kalkyler som använder mycket gemensamma resurser gynnats genom en låg kostnad för utnyttjande av befintliga resurser. För- och nackdelar med olika kalkylmetodik finns belysta [24], men det skulle behöva göras ett arbete med att implementera en ny kalkylmetodik i praktiken som både passar för kort- och långsiktig analys av odling av olika energigrödor samt jämförelse med de traditionella grödorna.

5.1.6 Binder upp sig under lång period

Enligt preliminära resultat i en pågående studie, där man bl.a. undersöker anledningar till att inte energigrödor odlas, är ett mycket stort hinder mot energiskogsodling att man binder upp sig under så lång tid [14]. Ett sätt att angripa detta skulle vara att studera vad en förtida avveckling skulle innebära ekonomiskt samt studera hur avvecklingen skulle gå till rent praktiskt.

5.1.7 Arrende

Arrendering av mark utgör av olika orsaker ett hinder för etablerandet av salixodling. Cirka 45 procent av åkermarken är arrenderad i Sverige. Av salixodlingarnas areal är endast ca 9 procent på arrenderad mark [22]. Av dessa 9 procent är det inte känt hur stor del som arrenderas av ett s.k. driftsbolag och hur stor del som är släktarrenden. För att bidra till att en ökad andel av den övriga arrenderade marken blir tillgänglig för etablering av energiskog behöver studier göras av hur detta skall organiseras, informeras och avtalas av olika aktörer. Frågan om energiskog kan vara ett alternativ för markägaren till utarrendering av mark, och hur detta i så fall skall organiseras, behöver även studeras.

5.1.8 Förändring av landskapsbilden

Ett mycket stort hinder mot viljan att plantera Salix är att Salix blir så pass högt [14]. Därmed är det viktigt att placera in Salix rätt i landskapsbilden [26].

5.1.9 Energigrödestöd

För att erhålla energigrödestöd på 45 Euro per hektar krävs kontrakt med antingen uppköpare eller förädlare. Detta kan utgöra ett hinder när avsättning skall ske på annat sätt än genom de idag etablerade företagen som t.ex. Lantmännen Agroenergi. Hur detta kan organiseras behöver studeras och beskrivas så att detta hinder minskas.

5.1.10 Kunskap om grödan

Det är viktigt att den som satsar på en ny gröda har kännedom och kunskap om grödan. Detta studeras i det pågående projektet *Marknadsanalys av utbud och framtida utbud på energigrödor för värmeproduktion*, med syftet att bidra med information kring lantbrukarnas attityder till odling av energigrödor, se avsnitt 5.3 [14].

För att sprida kunskap och information om grödor är det viktigt att veta vilka som är mest sannolika som odlare. Studier inom salixområdet har visat att det huvudsakligen är större gårdar, gårdar utan djur, lantbrukare mellan 40 och 65 års ålder, gårdar i områden med mellanbra jordar samt att energiskogsodlare oftare har högre utbildning än genomsnittslantbrukarna [15][16][17][18][22].

5.1.11 Upplevd risk

Företagen agerar utifrån upplevd risk. En ökad risk uppfattas av de flesta företagare som ett krav på ökad förväntad ekonomisk avkastning. I ekonomiska beräkningar för olika energigrödor kan man lägga in en kostnad för risk som är olika stor för olika grödor [21]. Den upplevda riskens omfattning består dels av verklig risk, dels av en uppfattad risk som kan avvika från den verkliga risken och är därmed påverkbar. Den verkliga risken påverkas även om det enskilda objektets avkastning ses som en isolerad företeelse eller sätts in i ett portföljperspektiv. Den sammanlagda risken kan minskas om olika aktivitetens risk har låg samvariation. Utifrån detta kan vi dra slutsatsen att det finns minst två sätt att minska den upplevda risken. Dels att sätta in energigrödorna i ett portföljperspektiv [24], dels se hur vi kan minska den upplevda risken med ökad kunskap och information. För att kunna göra detta behöver det studeras både hur potentiella odlare uppfattar risken och hur den upplevda risken kan reduceras på ett kostnadseffektivt sätt. Studier om vilka lantbrukare som odlar Salix har genomförts [22].

5.1.12 Teknik

Tekniken är olika väl utvecklad för olika energigrödor. Detta påverkar grödornas framtida kostnadsreduktionspotential samt hur svårt det är att introducera nya grödor. För halmhantering finns studier som väl beskriver kostnader för hantering av stråbränslen [1][7][10][11]. Även kostnadssänkingspotential för olika energigrödor har studerats [21]. För stråbränslen som halm och rörfen kan man använda befintlig teknik som används utanför energisektorn. Detta gör grödorna lättare att introducera samtidigt som kostnadssänkingspotentialen därmed är mindre. Hur stor kostnadssänkingspotentialen är för olika grödor påverkar om grödor skall bli ekonomiskt konkurrenskraftiga i framtiden.

5.2 Möjligheter

5.2.1 Ökad inkomst

Om lantbrukare skall satsa på energigrödor är det viktigt att de väljer en gröda som uppfyller deras mål. Ett av de viktigaste målen är ökad inkomst. Produktionskostnader och lönsamhet av olika energigrödor har studerats i ett flertal studier [5][12][13][19][21]. Vidare har en studie gjorts av lönsamhet, potential och organisation

av att lantbruket levererar stråbränslen till en större användare [9]. Det är även viktigt att studera vilka kostnadssänkningar som kan förväntas i framtiden samt hur dessa kan åstadkommas, något som delvis har studerats [21].

Genom en kombination av energigrödeodling och omhändertagande av slam och avloppsvatten kan både lönsamhet och avkastning per hektar förbättras [19][20]. För vidareutveckling av lönsamheten inom energigrödeområdet finns det ett behov av systemstudier där inte varje gröda eller produktionsmetod bara studeras som en isolerad företeelse. I sådana systemstudier kan man genom att sätta in de olika grödorna och produktionsformerna i ett större sammanhang identifiera vilka lösningar som är mest effektiva för att uppnå ytterligare kostnadssänkningar.

Om bioenergianvändningen ökar i världen kommer alternativvärdet på marken att öka och priserna på spannmål att stiga [8]. I detta scenario skulle det vara intressant att studera hur produktionen per hektar kan ökas både för livsmedels- och energiändamål. Detta för att det skall finnas tillräckligt utrymme till både energi- och livsmedelsproduktion. Produktionen kan öka för en given gröda med ändrad produktionsteknik men det kan också ske gröds substitutioner. Högre skördeavkastning för livsmedels- och fodergrödor innebär teoretiskt att mer åkermark kan frigöras för energiproduktion. Förutsatt att behoven av livsmedels- och fodergrödor är konstant, bedöms att 29 % av åkermarken kan utnyttjas för energiodling år 2020, vilket motsvarar en produktion på knappt 30 TWh bioenergi [3].

5.2.2 Minskad sysselsättning

Minskad sysselsättning kan både vara ett mål och ett hinder för energigrödor beroende på den enskilda företagarens situation. Arealerna av energigrödor skulle kunna öka genom att studera hur företagare som vill minska sysselsättningen skulle bli villiga att odla energigrödor. Energigrödor kan även vara alternativ till utarrendering av mark. För att detta skall inträffa behöver det studeras hur olika organisatoriska upplägg kan utformas, bl.a. vad beträffar kontrakt och skötsel av energiodlingen.

5.2.3 Vidareförädling

Studier har gjorts av hur lantbruksföretag säljer färdig värme från biobränslen och på så sätt ökar lönsamheten i lantbruksföretagen [25][28]. Information om att sälja värmestjänster finns även i några populärvetenskapliga broschyrer. Brikettering av stråbränsle för lokal avsättning kan både öka lantbrukets inkomster och skapa en marknad för stråbränslen när det inte finns någon stor lokal användare [6].

5.2.4 Jakt

Förbättrade jaktmöjligheter kan vara argument för plantering av energiskog. Ungefärliga beräkningar av hur jakten förbättrar nettot av energigrödeodling har gjorts [2][24]. En djupare studie av energigrödornas påverkan på jakten skulle kunna ökat en del lantbrukares intresse för energigrödor.

5.2.5 Breddad inkomstportfölj

Genom att lägga till produktionsgrenar som har annan påverkan på risken än de befintliga produktionsgrenarna kan risken för företaget minskas [24]. Både marknadsrisker, produktionsrisker och politiska risker behöver därmed studeras samt hur de samverkar med befintlig jordbruksproduktion. Se även avsnitt om ”Hinder, upplevd risk”.

5.3 Pågående forskning

Den pågående studien *Marknadsanalys av utbud och framtida utbud på energigrödor för värmeproduktion*, drivs av IVL och beräknas vara färdig i juni 2007. Övriga aktörer är Göteborgs Energi, Eskilstuna Energi & Miljö, Lunds Energi, Örnköldsvik Energi, Ena Energi AB, länsstyrelser och Energigården. Det övergripande målet med projektet är att i fyra geografiska områden – Skåne, Västra Götaland, Mälardalen och Västernorrland – utifrån lantbrukarens perspektiv klargöra vilka hinder och förutsättningar som finns för energigrödor idag och vilka som på sikt kan vara aktuella. Syftet med projektet är att bidra med information kring lantbrukarnas attityder till odling av energigrödor. Därtill är syftet att analysera hur lantbrukarna värderar olika egenskaper för olika odlingsalternativ samt att fastställa potentialen för energigrödor med hänsyn till lantbrukarens beslutsprocess. Resultaten bygger på en enkätundersökning till 2000 lantbrukare och där en särskild värderingsmetod (choice experiment) används [30].

5.4 Referenser

- [1] Bernesson S. & Nilsson D., Halm som energikälla Rapport - miljö, teknik och lantbruk vol 2005:07, SLU, Sweden. 2005.
- [2] Börjesson Pål, Hedar Erik, Herland Erik, Jonasson Lars, Larsson Marcus, Rosenqvist Håkan och Westin Paul (Ed.). Uppdrag att utvärdera förutsättningarna för fortsatt marknadsintroduktion av energiskogsodling, Slutrapport, Regeringsbeslut 2002-12-05, N2002/11666/ESB, Energimyndigheten, Eskilstuna. 2003.
- [3] Börjesson P., Produktionskostnader för biobränsle inom svenskt jordbruk, delrapport 1, 2007.
- [4] de Toro A., Rosenqvist H., Maskinsamverkan – tre fallstudier. Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:03, Inst. För biometri och teknik. SLU Uppsala, 43 sidor. 2005.
- [5] Ericsson, K., Rosenqvist, H., Ganko, E., Pisarek, M. and Nilsson, L., An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland. Biomass and Bioenergy. 30, 16-27. 2006.
- [6] Forsberg M., Sundberg M., Westlin H., Småskalig brikettering av hampa. JTI-rapport 351, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala. 2006.
- [7] Jesper T. Graversen & Morten Gylling, Energiafgrøder til fastbrændselsformål - Produktionsøkonomi, håndteringsomkostninger og leveringsplaner, SJFI – Working Paper no. 7/2002. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. Copenhagen, Denmark. 2002.

-
- [8] Johansson D and Azar C., A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the US. Accepted for publication in Climatic Change. 2007.
- [9] Mattsson J. E., Affärsutveckling – Närodlade stråbränsle till kraftvärmeverk. Rapport 2006:8 Inst. För landskaps- och trädgårdsteknik, SLU, Alnarp. 2006.
- [10] Nielsen V., Teknik till halmbjörgning siden 1950. DJF Raport Markbrug nr 95, Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Folum, Tjele, Danmark. 2003.
- [11] Nilsson D., Björgning, transport, lagring och förädling av halm till bränsle metoder, energibehov, kostnader = Harvesting, transport, storage and upgrading of straw as a fuel : methods, energy needs, costs, Rapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, 150. 1991.
- [12] Olsson R., Rosenqvist H., Vinterbäck J., Burvall J., Finell M., Rörflen som Energi- och Fiberråvara. En System- och Ekonomistudie. BTK-rapport vol. 4. 2001.
- [13] Parsby M. & Rosenqvist H., Energiafgrödernes produktionsökonomi – med särskild fokus på pil, SJFI – Working Paper no. 3/1999. Statens Jordbrugs- og Fiskeriökonomiske Institut. Copenhagen, Denmark. 1999.
- [14] Paulrud S., Pågående projekt, IVL Svenska Miljöinstitutet. 2007.
- [15] Roos, A., Rosenqvist, H., Ling, E. & Hektor, B., Factors influencing the adoption of short rotation willow coppice production among Swedish farmers. Acta Agriculturae Scandinavica B 50(1):28-34. 2000.
- [16] Roos A. and Rosenqvist H., Experiences of commercial energy crop production – A study of willow growers in Sweden. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Seville 5-9 June 2000. 2000a
- [17] Roos, A., Rosenqvist, H., A survey of short rotation willow growing in Sweden. Abstracts: XXI IUFRO World Congress 2000, 7-12 August, Vol II (Eds. IUFRO Vienna, Jandl, Devall, Khorchidi, Schimpf, Wolfrum, Krishnapilly) p 11. Kuala Lumpur, Malaysia. 2000b.
- [18] Roos, A. & Rosenqvist, H., Erfarenheter och lärdomar av storskalig energiskogsodling i Sverige – Resultat från en enkätundersökning bland Salixodlare. Paper presented at Energitinget 2000 14-15 March 2000, Eskilstuna, Sweden. 2000c.
- [19] Rosenqvist, H. and Dawson, W. M., Economics of using wastewater irrigation of willow in Northern Ireland. Biomass and Bioenergy Volume 29, 2005 83-92.
- [20] Rosenqvist, H. and Ness, B. An economic analysis of leachate purification through willow-coppice vegetation filters. Bioresource Technology 94: 321-329. 2004.
- [21] Rosenqvist H. and Nilsson L., Energy crop production costs in EU. Rapport i EU projektet RENEW. 2007.
- [22] Rosenqvist, H., Roos, A., Ling, E., Hektor, B. Willow growers in Sweden. Biomass and Bioenergy 18(2):137-145. 2000.
- [23] Rosenqvist, H. and Dawson, W. M., Economics of willow growing in Northern Ireland. Biomass and Bioenergy Volume 28, Issue 1, January 2005, Pages 7-14.

-
- [24] Rosenqvist H., Salixodling - Kalkylmetoder och lönsamhet, Silvestria 24, SLU, Uppsala, Sweden. 1997.
 - [25] Rosenqvist, H. & Uhlin, H-E. Närvärme från energiskog - En affärsidé för lantbruksföretaget. U(B) 1992/2. Vattenfall, Vällingby. 1992.
 - [26] Skärbäck E., Svensson, I., Krigström P., och Hultenberg S., Energiskog i landskapet, råd och anvisningar för lokalisering. Närings- och teknikutvecklingsverket, Stockholm. 1993.
 - [27] Stridsberg, S., Biobränslenas totala sysselsättningseffekt, Stiftelsen Lantbruksforskning, januari 1998
 - [28] Svensson J., Lantbrukaren som energiproducent – En fallstudie i energisatsning inom lantbruk. Examensarbete No 459, 2006. Inst. för ekonomi, SLU, Uppsala. 2006.
 - [29] Uhlin, Hans-Erik och Thampapillai, Dodo, 2001, Regional värmeförsörjning: en studie av regionala samhälls- och privatekonomiska effekter av trädbränsle för värmeproduktion i WX-regionen (Dalarnas och Gävleborgs län), Högskolan i Gävle.

5.4.1 Personliga meddelanden

- [30] Paulrud, S. IVL.

6 Bränslekvalitétens beroende av odling och skörd

6.1 Halm

Gunnar Lundin, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

6.1.1 Vattenhalt

Vattenhalten i den bärgade halmen måste vara under 20 % för att förhindra mögeltillväxt och temperaturstegring i halmbalarna [1]. Halmrivare och annan utrustning för halmhantering fungerar dåligt för halm med högre vattenhalt än den ovan nämnda. Det bildas även lätt ”kakor” av mögel i för fuktig halm, vilka ger driftstörningar i bl.a. halmrivarna.

6.1.2 Innehåll av grundämnen

6.1.2.1 Allmänt

Halmens innehåll av olika grundämnen finns tämligen väl dokumenterade. Som exempel kan nämnas att i bränslehandboken från Värmeforsk anges halmens innehåll av C, H, O, N, S, Cl. Beträffande huvudelement i askan anger samma källa Al, Si, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, men däremot ej Ba eller Ti. Bränslehandboken redovisar också effektivt värmevärde för halm. Även andra sammanställningar av grundämneshåll i halm och aska redovisade från olika forskningsprojekt som har gjorts [1].

6.1.2.2 Klor och alkalimetaller

Halm har en hög halt av klor och alkalimetaller såsom kalium och natrium som kan orsaka problem vid förbränningen [2][3] genom bildning av natriumklorid och kaliumklorid, vilka är mycket korrosiva, särskilt vid höga temperaturer. Se vidare kapitel 10.

Då halm redan idag i betydande omfattning används i dansk elproduktion har man här gjort ett flertal studier i syfte att minska halterna av kalium och klor i halmen [4]. Man påpekar att höga halter av dessa ämnen orsakar en rad problem i anläggningar med kraftproduktion, bl.a.

- Korrosion i överhettare
- Slaggbildning och igensättning
- Förkortad livslängd för katalysatorer för NO_x –reduktion

De danska försöken visade på positiv korrelation mellan halterna av kalium och klor i halmen [4], vilket även visades av Hansen m.fl. [5].

6.1.3 Odlingsspecifika egenskaper

6.1.3.1 Inverkan av grödart

I de danska studierna gjordes omfattande studier av halmens innehåll av olika grundämnen, bl.a. kisel, kalcium, kalium, och klor [4]. Beträffande de undersökta

stråsådesslagen (vete, råg, korn) visade sig de ha i stort samma sammansättning. Undantag dock för vete som hade en signifikant högre halt av kisel.

Beträffande rapshalm var halterna av kalium och klor i samma nivå som för stråsåden. Däremot var kiselinnehållet jämförelsevis lågt och kalciumhalten hög. Det senare skulle kunna tala för jämförelsevis goda förbränningsegenskaper. Vidare är asksmältpunkten för rapshalm högre än för stråsådhalm [6]. Detta medför att risken för sintring och påslag i pannan blir mindre vid eldning av rapshalm. En nackdel med att elda halm från oljeväxter är dock dess höga kväveinnehåll, vilket ju innebär att växtnäring går förlorat vid förbränningen samtidigt som NO_x -halterna ökar.

6.1.3.2 Inverkan av sort

Förutom skillnader mellan arter studerades i de danska försöken även sortspecifika variationer [4]. Vid jämförelse av ett par sorters korn respektive råg hittades inga skillnader i halterna av klor och kalium. Bland tre sorters vete däremot hittades statistiskt säkra skillnader i detta avseende.

6.1.3.3 Plats

Samband befanns ej föreligga mellan geografisk belägenhet och halmens kemiska sammansättning [4].

6.1.3.4 Jordart

I de danska studierna hittades inga samband mellan jordart och halmens innehåll av kalium respektive klor [4]. Däremot visade sig ökad lerhalt ge klara tendenser till ökad kiselhalt respektive minskad kvävehalt i halmen. I sammanhanget kan nämnas ett forskningsprojekt med omfattande analyser av 38 olika halmpartier, där man bl.a. fann att halm från riktigt bördiga jordar hade högre askhalt än halm odlad på mindre bördiga jordar [7].

6.1.3.5 Växtnäring

Genom att använda klorfria gödselmedel visade man i danska försök att man signifikant kunde reducera klorhalten i halmen [4]. I praktiken innebär detta att man använder K_2SO_4 istället för KCl som kaligödselmedel. Analyser av halmprover visade att trots den härvid ökade svaveltillförseln steg inte halmens svavelhalt. Studien visade även att varken kväve- eller fosforgiva (mängd näringsämnen) påverkade halmens innehåll av kalium.

6.1.3.6 Kemisk bekämpning

I en undersökning av klorhaltiga svampmedel i korngrödor konstateras att de fyra studerade preparaten i samtliga fall ökade halmens klorhalt i storleksordningen 100-1000 procent [8]. I andra försök med sex olika växtskyddsmedel hittades däremot inga klara samband mellan halmens sammansättning och den kemiska bekämpningen av grödan [4].

6.1.4 Skörd

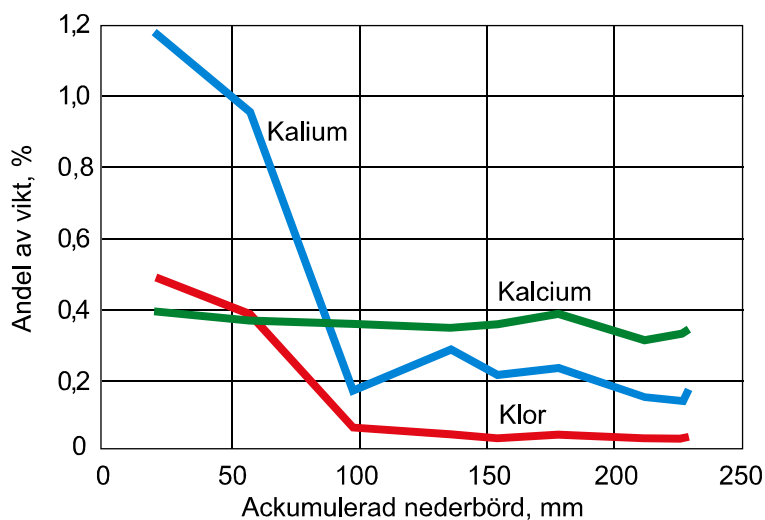
6.1.4.1 Teknisk utrustning

Vid skörd av halm för energiändamål används i regel balningsteknik som formar halmen till antingen fyrkantiga eller cylindriska enheter med storlek avsedda för maskinell hantering. Halmstråna behåller därvid i stort sin ursprungliga form vilket bl.a. innebär att den teoretiska strållängden uppgår till grödans höjd minus stubbhöjden, d.v.s. upp till en längd om cirka en meter. Viss söndertrasning av halmen sker dock vid passage genom skördetröskan och halmpressen liksom vid eventuell strängläggning. Om kortare strållängder önskas kan pressarnas inmatningskanaler förses med en uppsättning knivar.

Som alternativ skördemetod förekommer även att halmen finhackas. Om halmen måste hackas, t.ex. vid tillverkning av briketter eller pelletter, kan det vara en fördel att hacka den redan på fältet. Man behöver då inte först bärga den i balar och sedan lösa upp dessa igen. Låg densitet och relativt komplicerad hanteringsteknik gör emellertid att transport och lagring blir dyrt [1].

6.1.4.2 Inverkan av liggtid i fält

I danska försök har man med jämna intervall tagit ut halmprover för analys samtidigt som den ackumulerade nederbörds mängden under liggtiden mätts [4]. I figur 1 redovisas den uppmätta urlakningen av klor, kalium och kalcium från kornhalm. Av figuren framgår att 100 mm regn reducerade halterna av klor och kalium till låga nivåer medan kalciuminnehållet i stort sett var konstant. Motsvarande försök med vetehalm gav liknande resultat.



Figur 1. Urlakning från kornhalm under liggtiden på fältet. Efter Sander, 1977.

Figure 1. Leaching from barley straw during duration on the field. After Sander, 1977

Betydande urlakning av kalium har även konstaterats i studier där man undersökte förändringar av halm placerad i fiberpåsar under en period från september till maj [9]. Försök har visat att energiförlusterna vid tvättning av halm i form av torkenergi och förluster av organiskt material motsvarar ca 8 % av halmens kalorimetriska värmeinnehåll [3].

I en omfattande provtagning i Uppsalatrakten av vete-halm som låg kvar i fält 3-4 veckor efter skördetröskningen analyserades halmens innehåll av svavel, klor, mineraler och askhalt [10]. Beträffande klorhalten fann man att den oftast sjönk med tiden och att förloppet i regel påskyndades av regn. Även alkalihalten föreföll sjunka med tiden men här hade nederbörden mindre betydelse än i fallet med klor.

Man har i fältförsök visat att nämnvärda förändringar beträffande halmens innehåll av olika ämnen inträffar under den närmaste tiden efter skördetröskning oberoende av nederbörd [10]. Under nederbördsfria perioder senare än tre dygn efter skördetröskningen synes förändringarna vara obetydliga. I sammanhanget kan nämnas att halm kan bli grå av mögel bara den utsatts för nattdagg och varmt väder utan att några ämnen lakats ut [1].

Resultat från fältförsök visar att mekanisk bearbetning av halmen sannolikt har en påskyndande effekt på utlakningen [10].

6.1.5 Aska

Mängden aska vid eldning av halm kan variera avsevärt beroende på ursprung och teknik med vilken den eldats. I litteraturen återfinns uppgifter om askhalter på mellan 2,5 och 10 %, vilket innefattar värden bestämda både i laboratorium och vid praktisk eldning [3][6][10][11][12][13].

Ett problem vid halmeldning är att askan börjar mjukna vid relativt låga temperaturer [3], ofta redan vid 800-850°C, men även vid så låga temperaturer som 600°C. Då askan är mjuk har den en tendens att sintra och fastna i olika delar av eldstaden och på pannans värmeöverförande delar.

Askhalten i halm uppvisar stora variationer beroende på kvalitet och växtplats. Halm innehåller mycket fri reaktiv kiselsyra och innehåller även en påtaglig mängd alkali, vilket innebär en stor risk för bildning av kaliumsilikatglas i askan. Då Na-halten samtidigt är försumbar kan smältpunkten för detta K-silikatglas antas bli cirka 770°C [14].

Kalcium finns också, men i mindre grad. Därför kan Ca troligen inte pressa upp glasets smältpunkt till högre värden som är typiska för Ca-K-silikatglas (> 800°C) [14].

Klor förekommer i sådan omfattning att nästan 25 % av alkaliandelen kan tänkas förångas som klorid och ge upphov till saltpåslag. Svavelhalten i halmen räcker sedan inte för en fullständig sulfatering av alkaliklorid [14].

6.2 Pågående forskning om halm avseende bränslekvalité

Såvitt känt pågår för närvarande inga studier inom detta område.

6.3 Referenser

- [1] Bernesson S. & Nilsson D., 2005. Halm som energikälla. Översikt av existerande kunskap. Rapport-miljö, teknik och lantbruk 2005:07. Institutionen för biometri och teknik, SLU. Uppsala.
- [2] Hadders, G., Flodén, S. 1997. Spridning av aska från stråbränslen på åkermark. Förutsättningar och rekommendationer. JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 234, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 33 s. ISSN 1401-4963.
- [3] Nikolaisen, L.(ed), Nielsen, C., Larsen, M.G., Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J.K., Holm-Christensen, B. 1998. Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. 2:nd edition. The Centre for Biomass Technology, Köpenhamn, Danmark. 53 s. ISBN 87-90074-20-3.
- [4] Sander, B., 1997. Properties of Danish Biofuels and the Requirements for Power Production. Biomass and Bioenergy. Vol 12, nr. 3, sid 177-183. Storbritannien.
- [5] Hansen M.W., Hansen A., Jensen L.R. & Nielsen C., 1987. Forundersøgelse af halmfyrede kraftvarmeværker. Dk-teknik, TR-sag nr 1986-/352-86356. Søborg.
- [6] Stridsberg, S., Christensson, K. 1994. Bränslemixar med halm. Eldningsförsök vid fem anläggningar. SLF Rapport nr 10, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 47 s. ISSN 1104-6082.
- [7] Thellessen H., 1988. Halmens egenskaber til fyringsformål. Slaggdannelse. Statens jordbrugstekniske forsøg. Beretning nr 40. Horsens.
- [8] Ravn T., 1986. Brugsverdi av dansk halm. II Clorinhold i byghalm. Meddelse fra Biotechnisk institut, A.T.V., 22 årg., nr. 1-4. Kolding.
- [9] Christensen B.T., 1983. Nedbrydning af halm. I. Byghalms tab af næringssalte og tørstof som følge af udvaskning med vand. Tidskrift for planteavl 87, 477-487.
- [10] Hadders, G. 1994. Förändringar under skördeperioden av bränsleegenskaperna hos halm. JTI-rapport Nr 186, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 51 s. ISSN 0346-7597.
- [11] Ekström, N., Jonsson, C. 1985. Hantering av halm och aska vid halmeldning. JTI-rapport Nr 67, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 55 s. ISSN 0346-7597.
- [12] Nilsson, C., Carling, H., Ekström, N., Ivarsson, E. 1988. Att elda med halm. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 364, Teknik. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 53 s. ISSN 0347-9293. ISBN 91-576-3298-7.
- [13] Henriksson, A., Stridsberg, S. 1992. Möjligheter att använda halmeldning till energiförsörjningen i södra Sverige. The potential of using straw as a fuel for the support of energy in the agricultural areas of southern Sweden. Rapport 161, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 93 s. ISSN 0283-0086. ISRN SLU-LT-R--161--SE.
- [14] Strömberg, B. Bränslehandboken. Värmeforsk. Fö-324. ISSN 0282-3772. Stockholm, 2004.

6.4 Spannmål

Hugo Westlin, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Spannmål har av tradition odlats för livsmedelsändamål. Fem olika spannmålsslag är de mest vanligt förekommande i Sverige. År 2005 odlades 379 000 ha korn, 355 000 ha vete, 200 000 ha havre, 50 000 ha rågvete samt 21 000 ha råg [15]. Ytterligare spannmålsslag finns, men odlas i mycket liten omfattning. Intresset för att elda spannmål har ökat under de sista åren, främst på mindre gårdar och lantbruk. Det ökade intresset beror till del på höga energikostnader och låga avsalupriser på odlad spannmål. Eldning av spannmål sker idag även i ett 20-tal närvärmeanläggningar, där lantbrukare förädlar sin spannmål till värme. Enligt LRF:s energiscenario för år 2020 är det troligt att användningen av spannmål som bränsle kommer att öka i framtiden. Potentialen antas vara högre för större anläggningar än för lantbrukets internanvändning [16].

6.4.1 Bränsleegenskaper

Tidigare studier har visat att det finns relativt stora skillnader i bränslekvalitet mellan olika spannmålsslag. Undersökningar gjorda av t.ex. Hadders m.fl. (2001) [17] och Lindström (2004) [18] visar att asksmälttemperaturen hos spannmål både påverkas av vilka ämnen den innehåller och av förhållandet mellan olika ämnen, främst kalcium, kalium och kisel.

Spannmålsens kvalitet påverkas av många olika faktorer, och vilka faktorer som har störst betydelse varierar mellan olika år. Årsmånen och odlingsåtgärderna kan exempelvis vara minst lika viktiga som sorten [19]. Studien visade även att varken kväve- eller fosforgivan såväl som typ eller dos av växtskyddsmedel kunde påverka halmens kaliuminnehåll.

Vattenhalten i spannmålskärnan och dess betydelse för det effektiva värmevärdet har studerats av Westlin m.fl. (2006) [20]. Resultatet av studien visar att det effektiva värmevärdet i spannmålskärnan sjunker med ökad vattenhalt, samt att också verkningsgraden vid förbränningen blir sämre (eldningsförsöken genomfördes i en panna med en ungefärlig effekt på 20 kW utan rökgaskondensering).

6.5 Pågående forskning om spannmål avseende bränslekvalité

JTI driver idag tillsammans med institutionen för biometri och teknik vid SLU ett SLF-finansierat projekt kring odling av energispannmål. Projektet skall studera möjligheterna för lantbruket att öka lönsamheten vid odling av energispannmål. Inom projektet kommer ett antal typgårdar att konstrueras där olika strategier för odling av energispannmål tillämpas och gårdens ekonomi kommer att studeras. Projektet inleddes under hösten 2006 och beräknas vara klart under första halvan av 2008.

Inom Partnerskap Alnarp bedrivs ett antal projekt kring gödsling av bioenergigrödor med avloppsprodukter.

6.6 Referenser

- [15] SCB.; Jordbruksstatistisk årsbok 2006 med data om livsmedel. Örebro, 2006.
- [16] Herland E.; LRF:s energiscenario till år 2020 Förnybar energi från jord- och skogsbruket Ger nya affärer och bättre miljö. 2005.
- [17] Hadders G, Arshadi M, Nilsson C, Burvall J.; Bränsleegenskaper hos spannmålskärna. JTI-rapport Lantbruk&Industri 289, 2001.
- [18] Lindström E; Utvärdering och utveckling av AgroTec spannmålsbrännare. Energiteknik och Termisk Process Kemi (ETPC), Umeå universitet. 2004.
- [19] Fogefors H (red); Växtproduktion i jordbruket. Natur och Kultur Borås. 2001.
- [20] Westlin H, Lundin G, Rönnbäck M, Österberg S, Johansson M.; Förbränning av otorkad havre och havrefrånrens - hur fungerar förbränningen och hur påverkas ekonomin? JTI-rapport Lantbruk&industri 352. 2007.

6.7 Salix

Pär Aronsson, SLU

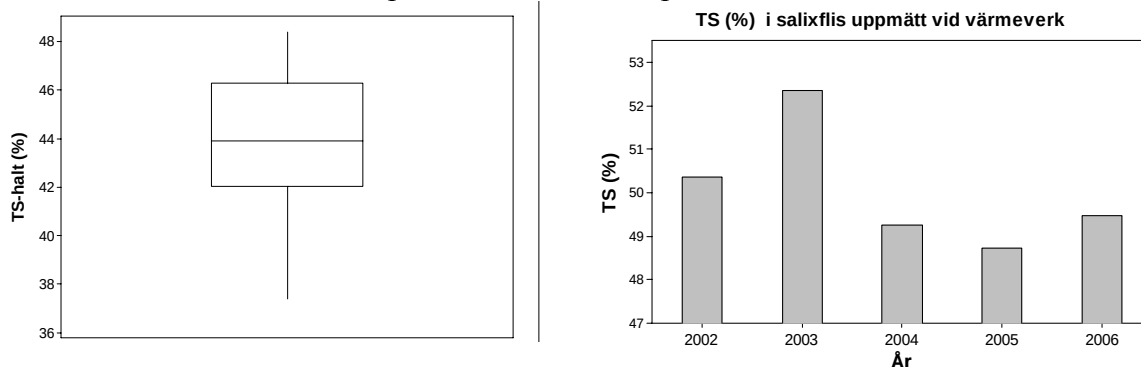
Salix odlas idag på ca 15000 ha åkermark i Sverige. Merparten (d.v.s. ca 55 %) av odlingarna planterades före år 1996 [21]. Årligen skördas ca 2500 ha salix [26], vilket genererar i storleksordningen 12000 ton TS flis som levereras till värmeverk. Det finns få studier av variationen i askhalt och kemisk sammansättning av skördad salixflis. En studie av detta utfördes emellertid under år 1993 av Ledin och Vigré vid SLU, men resultaten har inte publicerats. Analysdata har gjorts tillgängliga för presentation i föreliggande rapport. Proverna kommer från skördade skott i 28 kommersiella salixodlingar i olika delar av landet. Proverna representerar olika skottåldrar, kloner och växtplatser. Tyvärr saknas uppgifter om hur provtagningen skett och om hur analyserna utförts. Data från kommersiella salixodlingar har inhämtats från Lantmännen Agroenergi AB som administrerar i stort sett all skörd och försäljning av salixflis i Sverige.

6.7.1 Torrsubstanshalt

Salix direktflisas vid skörd och transporteras vanligtvis direkt till värmeverk för förbränning. I en del fall lagras flisen i stack vid fältkant för senare transport till värmeverk. Hur detta påverkar torrsubstanshalten är oklart.

Medelvärde av torrsubstanshalten i de 28 provtagna bestånden (Ledin & Vigré, opubl. data) var 44,1 % med förhållandevis stor spridning (Figur 2). Detta kan jämföras med halterna i salixflis som analyserats vid värmeverk under åren 2002-2006 (Figur 2). Dessa värden representerar analyser av ca 2100 flis-las från ca 1250 salixodlingar runt om i landet [26]. I genomsnitt för åren 2002-2006 var TS-halten 50,0 % med 52,4 % (2003) och 48,7 % (2005) som högsta respektive lägsta värdet. Den låga TS-halten under 2005 kan delvis förklaras av att det stora snödjupet i Mellansverige medförde att mycket snö matades in i skördebordet på skördemaskinerna. Att det ändå är så pass stora skillnader mellan data av Ledin & Vigré och prover från värmeverken skulle möjligtvis kunna bero på skillnader i torkmetoder. En annan möjlig faktor är tidpunkten då proverna togs. Det har visats att TS-halten är som högst tidigt på vintern, d.v.s. strax

efter bladfällningen för att därefter kontinuerligt sjunka [22]. I en klon minskade TS-halten från 52 till 48 % under perioden november-april.

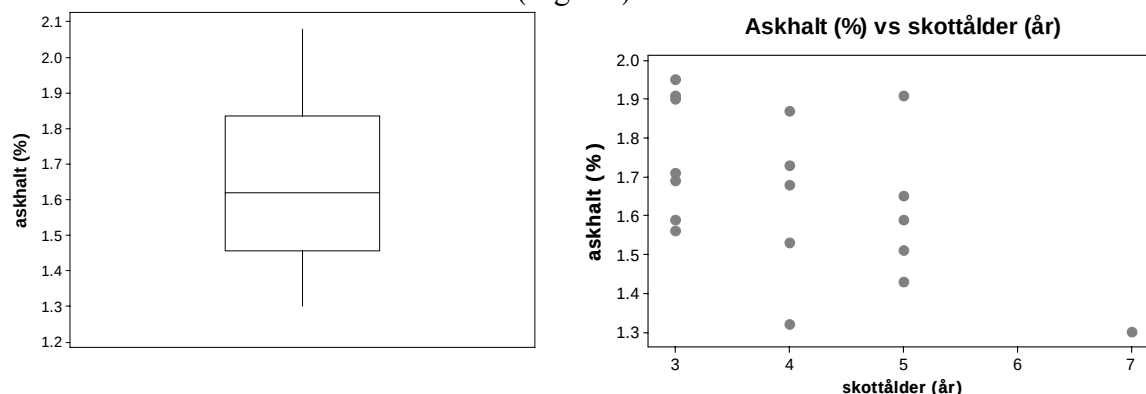


Figur 2. [Torrsubstanshalt (vänster) i 28 prov av salix presenterat som medianvärde med 25 % kvartiler (från Ledin & Vigré, opublicerade data), respektive medelvärde av torrsubstanshalt (höger) i flis-las av salix levererade till värmeverk åren 2002-2006 [26].

Figure 2. Content of dry substance (left) in 28 samples of Salix presented as median value (from Ledin & Vigré, unpublished data), and average content of dry substance (right) in Salix chips supplied to plants during 2002-2006 [6].

6.7.2 Askhalt

Askhalten i salixflis varierar något, men var i proverna från de 28 salixodlingarna i genomsnitt 1,6 % med en spridning mellan 1,3 och 2,1 % (Figur 2, Ledin & Vigré, opubl. data.). Denna askhalt är i stort i linje med data som presenterats av Strömberg (2004) från analys av några få flisprover. En svag tendens till sjunkande askhalt med ökande skottålder finns i datamaterialet (Figur 2).



Figur 3. Askhalt i 28 prov av salix presenterat som medianvärde med 25 % kvartiler (vänster) och askhalten i samma prover plottade mot skottålder (höger) (från Ledin & Vigré, opublicerade dataext).

Figure 3. Ash content in 28 samples of Salix presented as median value (left) and ash content of the same samples plotted against the age of shoots (right) (from Ledin & Vigré, unpublished data)

Partikelstorlek samt fraktionsfördelning behandlas i avsnitt 7.7 om lagring av salix.

6.7.3 Kemisk sammansättning

Strömberg [23] redovisar resultat av några enstaka kemiska analyser av salixved och dessa jämförs i Tabell 5 med analyser utförda av Ledin & Vigré (opubl. data). Halterna av N och S överensstämmer i stort, men en stor skillnad föreligger för klor.

Tabell 5. Halten av några olika ämnen i salixflis enligt Strömberg (2004) och Ledin & Vigré (opubl. data).

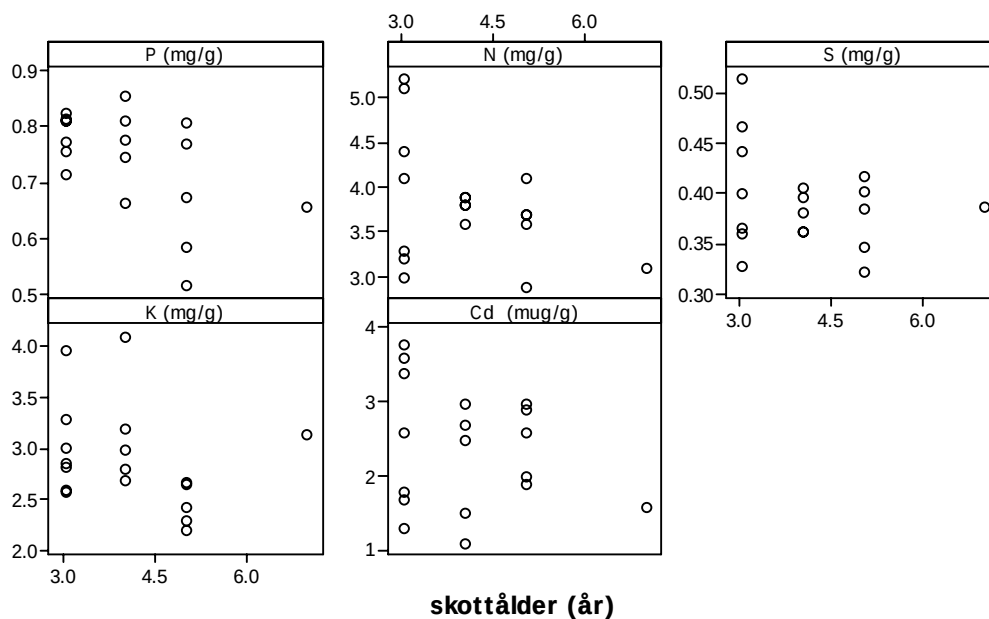
Table 5. Content of some elements in Salix chips according to Strömberg (2004) and Ledin & Vigré (unpublished data).

Källa	C	H	O	N	S	Cl
Strömberg (2004) (% av askfritt)	48,9	6,22	44,4	0,41	0,04	0,03
Ledin & Vigré (opubl. data) (% av TS)				0,33	0,036	0,003

Salix har en dokumenterat god förmåga att ta upp olika tungmetaller. Detta har uppmärksamats dels utifrån ett bränslekvalitetsperspektiv, dels utifrån en vision om att kunna utnyttja salixodlingar för att rena vanlig åkermark från kadmium för att därigenom möjliggöra produktion av högkvalitativa livsmedel. Kadmiumhalten i salixflis varierar mellan olika salixkloner och beroende på olika markfaktorer (inklusive markens kadmiumhalt) men är vanligtvis i storleksordningen 1-4 µg/g TS [24]. I studien av Ledin och Vigré (opubl. data) var medelhalten kadmium 2,4 µg/g TS (Figur 4 och Figur 5).

Barkandelen i ett salixbestånd minskar med ökande skottålder och halterna av olika ämnen skiljer sig markant åt mellan ved och bark [25]. Därför kan man spekulera i att genomsnittshalterna i flisen av olika ämnen påverkas av beståndsålder vid skörd. Någon tydlig sådan trend kan man inte se i materialet (Figur 4). Inte heller den årliga biomassatillväxten verkar vara tydligt korrelerad med halten av olika ämnen (Figur 5).

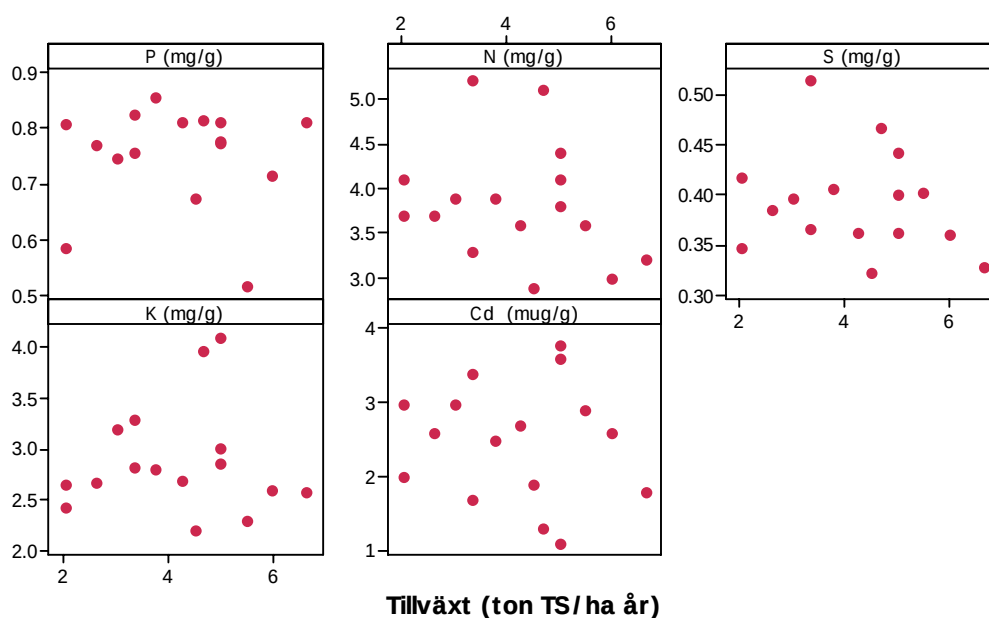
P, N, S, K, Cd vs skottålder



Figur 4. Halter av P, N, S, K och Cd i ved av salix förhållande till skottålder (Ledin & Vigre, opubl. data).]

Figure 4. Content of P, N, S, K and Cd in stem wood from *Salix* related to the age of the shoot (from Ledin & Vigré, opublished data)

P, N, S, K, Cd vs Tillväxt (ton TS / ha år)



Figur 5. Halter av P, N, S, K och Cd i ved av salix förhållande till tillväxt (Ledin & Vigre, opub data).

Figure 5. Content of P, N, S, K and Cd in stem wood from *Salix* related to growth (from Ledin & Vigré, opublished data)

När det gäller halterna av olika ämnen i skott av salix har inte korrelationen mellan dessa halter och olika omgivningsfaktorer studerats explicit. Detta var ett av de ursprungliga syftena med den studie av Ledin och Vigré från vilken data presenteras i föreliggande rapport, och kompletterande markanalyser gjordes också i studien. Det är oklart varför detta inte avrapporterats vetenskapligt, men man kan misstänka att det beror på att det inte gick att korrelera markfaktorer till halten av olika ämnen i salix-skotten.

6.8 Pågående forskning om salix avseende bränslekvalité

ENA Energi, SLU och Lantmännen Agrobränsle genomför för närvarande odlingsförsök med salix. Främst tittar man på gödnings effekter och resultat beräknas ligga framme om några år.

6.9 Referenser

- [21] Mola-Ydego, B. & Aronsson, P. 200X. Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. Manuscript submitted to Biomass and Bioenergy.
- [22] Telenius, B. 1997. Implications of vertical distribution and within-stand variation in moisture contents for biomass estimation of some willow and hybrid poplar clones. Scandinavian Journal of Forest Research 12:336-339, 1997.
- [23] Strömberg, B. Bränslehandboken. Värmeforsk. F0-324. ISSN 0282-3772. Stockholm, 2004.
- [24] Eriksson J. Blombäck K., Perttu K., Greger M., Göransson A., Klang-Westin E., & Landberg T. Förråd och flöden av kadmium i systemet mark - Salix. Energimyndigheten, rapport ER 19:2003. ISSN: 1403-1892, 2003.
- [25] Adler, A., T. Verwijst & P. Aronsson, 2005. Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand. Biomass and Bioenergy 29:102-113.

6.9.1 Personligt meddelande

- [26] Slagbrand, Rolf. Lantmännen Agroenergi AB.
- [27] Eklund, U. Ena Energi AB.

6.10 Rörflen

Rolf Olsson, SLU

Rörflen identifierades i projekt Agrobioenergi [28] tillsammans med Salix som den fleråriga gröda som har högst avkastning under svenska förhållanden. Med konventionell sommarskördeteknik bedömdes dock ca 10 % av skörden behöva artificiell torkning och lagring i lagerhus för att klara kvalitetskrav för stråbränslen. Då detta medförde alltför höga produktionskostnader så prioriterades Salixutveckling i fortsatta åkerenergiprogram.

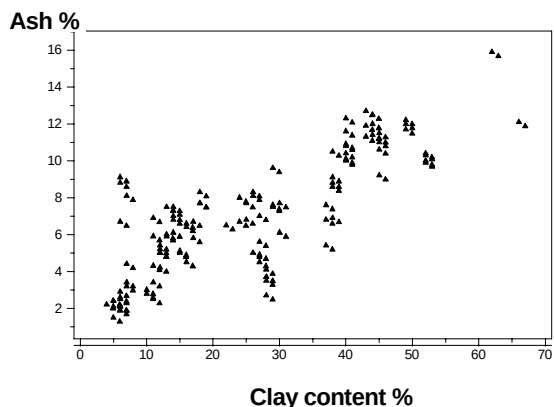
Ett nytt produktionssystem för rörflen, det s.k. vårskördesystemet, presenterades år 1990 [29]. Idéerna var då mycket svagt förankrade i experimentella data. I de åkerenergiprogram som följde koncentrerades insatserna till att bedöma de agronomiska förutsättningarna för vårskörd. Resultaten visade att metoden var tillämpbar i hela landet. Skördetekniken visade sig senare vara användbar i hela norra Europa [30]. Metoden innebär att grödan som sås år 1 skördas första gången vintern/våren år 3 varefter skörd sker vid samma tidpunkt år efter år så länge som körskador inte ger alltför ojämna fält. Lagringsperioden från skörd till användning är ofta lång och kan vid olämplig lagringsteknik påverka bränslekvaliteten. Då vinter/vårskörd ger den billigaste och uthålligaste produktionen av rörflen så kommer huvuddelen av analysen att koncentreras till analys av faktorer i vårskördmodellen som påverkar bränslekvaliteten.

6.10.1 Bränsleegenskaper

Gemensamt för alla perenna rhizomgräs, dit rörflen hör, är att vinter/vårskörd är möjlig och ger en avvissnad och torr produkt under förutsättning att torka och/eller frost gör att grödans ovanjordiska delar dör av. För rörflen gäller i vårt klimat också att vaxlagret, som skyddar grödan mot uttorkning under vintern, tvättas bort och produkten blir torr och skör. Uttvättningen av vaxskiktet gör också att biomassan snabbt ändrar fukthalt som svar på väderbetingelserna. Då rörflenet pressas till balar vid torr väderlek så innebär detta att balarna håller hög torrsubstanshalt (85-90 %) i alla vegetationsområden där frost gör att grödan invintrar.[31], [32], [33].

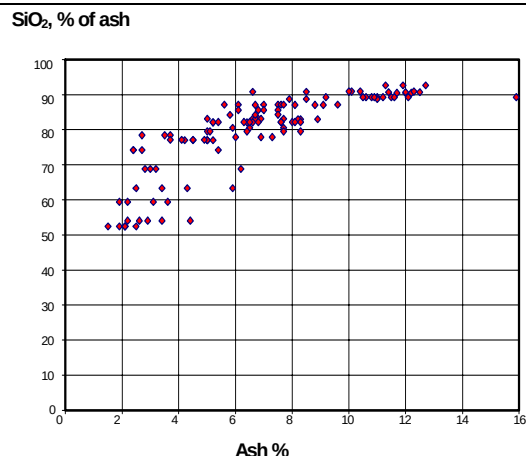
Sorter och odlingsbetingelser som ger hög bladskörd ger avsevärt lägre bränslekvalitet i form av t.ex. hög askhalt samt stor andel finfraktion vid hantering och sönderdelning av rörflensbalar. Vinter/vårskörd av dött material gör också att bränslets innehåll av växtnäring och processtörande ämnen minskar. För lösliga ämnen som klor och kalium sker ofta minskningen med en faktor 6 och för t.ex. kväve, svavel, kalcium och magnesium med ca 50 %. Svårslösliga ämnen som tungmetaller finns i oförändrad eller ökad nivå [31], [32], [33]. Vanliga bränsledata för vårskördad rörflen framgår av Värmeforsks Bränslehandbok.

Vårskörd innebär enligt ovan att en stor del av tillförd växtnäring återcirkulerar i odlingssystemet och alltså inte återfinns i bränslet. Kemisk sammansättning i den skördade biomassan påverkas av halten av växttillgängliga ämnen i jorden. Hög halt växttillgängligt kalcium i marken kan fördubbla kalciumhalten i bränslet enligt försök inom projekt Norrfiber (Ås respektive Rönnebo). Hög halt av vattenlöslig kisel syra i jorden som är vanlig i t.ex. mullfattig styv lera, ökar drastiskt halten kiseldioxid och därmed total askhalt i bränslet. [46],[48]. Sambanden mellan lerhalt och askhalt framgår av Figur 6, respektive askhalt och kiselhalt Figur 7 [34].



Figur 6. Lerhaltens inverkan på askhalt.

Figure 6. The effect of clay content on ash content.



Figur 7. Askans innehåll av kiseldioxid.

Figure 7. Content of silica dioxide in ash.

Askans initiala smälttemperatur har en god korrelation mellan kvoten: Kisel/kalcium + kalium + magnesium [35].

6.10.2 Inverkan av sort och odlingsbetingelser

De rörlenssorter som hittills funnits tillgängliga på marknaden har foderursprung och har därför växtförädlats mot stor bladandel som är kvalitativt bäst som djurfoder. Växtförädling av rörlfen mot energisorter pågår i Sverige och Finland och förutom hög avkastning så är här inriktningen den motsatta, d.v.s. hög stråandel. Fördelningen mellan blad och strå påverkas av sort, skördeteknik, vallålder, årsmån, jordart samt geografisk växtzon. Variationen i blad/strå mellan platser och år i sortmaterial kan variera mellan 26,6 och 78,5 %.[30] Andra viktiga parametrar som kan påverka bränslekvalitet är vinterhårdighet och resistens mot skadegörare. En första industrisort, Bamse, har introducerats och är under utvärdering vid bl.a. SLU Rönnebydalen. Sorten, som utvärderades mot andra växtförädlingslinjer i norra Europa, gav här ca 10 % högre avkastning än bästa fodersorten, Palaton [30]. I Svalöf Weibulls förädlingsprogram finns linjer från norra Sverige med åtminstone 30 % högre avkastning än Palaton [36]. Vallåldersvariation mätt som total askhalt i ett försök som omfattade 15 populationer vid 11 försöksplatser var mellan 2 år 6,5 resp. 7,4 % aska [30] medan variationen mellan de 11 olika försöksplatserna som återspeglar skillnader i jordart, årsmån samt förekomst av skyddande snötäcke eller inte, varierade mellan 0,9 och 6,7 % för strå och 3,1 och 15,1 % för bladfraktion [30]. Askhalten i rörlensbränslet sjunker med ökande vallålder. I ett försök som omfattade 10 olika försöksplatser sjönk t.ex. den genomsnittliga askhalten från 5,8 % i ettårsvallen till 3,2 % i femårsvallen [37].

6.10.3 Inverkan av årsmån och vinterhårdighet

I en rörlensvall ökar normalt stamandelen i skörden under de första vallåren. Detta är av stor betydelse vid vårskörd då den biologiska förlusten av biomassa därmed minskar samtidigt som askhalten sjunker. I odlingsområden där grödan under vintern inte

skyddas av ett snötäcke sker genom höststormarnas inverkan också ett stort bladavfall vilket ytterligare ökar vinterförlusterna men samtidigt minskar askhalten i bränslet. I försöket som omfattade 11 försöksplatser över hela norra Europa med 15 olika populationer/sorter, ökade i medeltal för alla sorter stamandelen från 68,5 % i ettårsvallen till 72,5 % i tvåårsvallen. För den förädlingslinje som idag utgör den kommersiella sorten Bamse så var skillnaden i stråandel mellan ettårsvall 64 % mot i tvåårsvallens 77 % [30].

Den första industrisorten, Bamse, är under långtidsutvärdering vid SLU-BTC Rönnebydalen. Under våren 2006 (vallålder 4) sjönk avkastningen drastiskt och i smårutor uppmätt skörd halverades i stort sett. Beståndet var stråfattigt och mycket bladrikt under växtsäsongen 2005. Den biomassa som växt under 2006 (skördas våren 2007) har uppvisat samma växtsätt varför avkastningen förväntas bli mycket låg även detta år [38]. En liknande trend finns också för sorten Palaton, där storskaleförsöken med vårsått respektive sen höstsått uppvisar motsvarande minskningar i avkastning och stråmängd de senaste åren. Sen höstsått har här uppvisat något bättre resultat. Höstarna har de senaste åren varit mycket varma och regniga och vintrarna snöfattiga och kalla.

Rhizomtillväxt sker under vår och sommar medan skottanläggningen för produktion av fertila (fröbärande) skott i huvudsak sker under höst och tidig vår. Skott som vuxit över markytan på hösten klarar inte övervintringen [41].

För att se på möjligheterna att öka den tillgängliga skördetiden, utan att skada skotttillväxten på våren, har försök med sen höstsått inletts vid försöken på Rönnebydalen. Rörflen har hittills ansetts ha god övervintringsförmåga [39] men de försök med lokala material som genomfördes under 1960- och 1970-talet visade att det lokala materialet var hårdigare än nordamerikanskt och att skillnaden ökade med ökande vallålder [40]. De svåra höstarna och vintrarna som förekommit de senaste åren bekräftar dessa tidigare observationer och visar på behovet av frosthärdigt material.

Det finns i befintligt växtförädlingsmaterial en stor spridning i strategi för skottanläggning under hösten [42], varför förutsättningarna att kunna utveckla högväxtande hårdiga sorter av rörflen som passar för vårskördssystemet är goda.

6.10.4 Inverkan av skördeteknik

Utvecklingen av vårskördetekniken (delayed harvest) har inneburit att produktionskostnader och bränslekvalitet avsevärt förbättrats för rörflen. Driftserfarenheter från förbränning av sommarskördad rörflen finns från Söderköping. Ett flertal driftstekniska problem uppkom som t.ex. kraftig bildning av stoft bestående av kaliumklorid som spreds i hela anläggningen. En svaghet som uppmärksammats för traditionell vårskörd är den kvalitetsförsämring som avklippning av tidigt utvecklade årsskott innebär, med kraftigt ökad askhalt samt ökad finandel i bränslet i kommande skördar genom den ökade bladmängden som uppkommer. Alternativet att öka klipphöjden på våren ger drastiskt minskad skörd. Om klipphöjden höjs från 5 cm till 10 cm så minskar skörden med 25 % [43].

Skördeförlusterna vid rundbalning har i försök uppgått till 20-30 % [43], [44] men kan vid praktisk odling uppgå till 50-60 % [45].

Vid såväl rundbalning som fyrkantsbalning sker en kraftig mekanisk bearbetning av det sköra vårskördade materialet, vilket också resulterar i ökade skördeförluster. Rivning och malning av balar resulterar i ytterligare ökad andel finmaterial. I ett malningsförsök med kulkvarn erhöles med rörflen 33,2 % mindre än 90 mikrometer. Odlings- och skördeåtgärder som ökar bladandelen kommer att resultera i ytterligare ökad andel finfraktion [47].

6.11 Pågående forskning om rörflen avseende bränslekvalité

Ett projekt med anknytning till forskningsområdet pågår, SLF: Bioenergi projekt V0640005 Rörflen – Växtförädling, sortframställning och utsädesproduktion. Projektet utvärderar de framtagna förädlingslinjerna inom SWAB med avseende på avkastning, bladandel och hårdighet. I försöken tillämpas sen höstskörd och den biologiska skörden registreras. Projektet berör i hög grad frågor av stor betydelse för bränslekvalitet enligt genomgången ovan.

6.12 Referenser

- [28] Westermarck.S. Energigrödor – Bränslen från Jordbruksgrödor. Resultat och bedömningar från det statliga energiforskningsprogrammet. Statens Energiverk 1987-12 09
- [29] Olsson. R, Rörflen: Energigröda för energi- och massaproduktion 1990. Scandinavian Energy and Environmental Conference, Stockholm 21-23 november 1990
- [30] Olsson. R et al The Reed Canary Grass Project. BTK Rapport 2004: 7
- [31] Landström S, Lomakka L, Andersson S. Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as a bioenergy crop. Biomass and Bioenergy Vol. 11, No.4, pp.333-341,1996
- [32] Strasil,Z.;Vana, V.; Kas,M. The reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilisation. Research in Agricultural Engineering 51 (1): 7-12 2005
- [33] Christian, Dudley,G; Yates, Nicola,E.; Riche, Andrew B: <The effect of harvest date on the yield and mineral content of *Phalaris arundinacea* L. (reed canary grass) genotypes screened for their potential as energy crops in southern England. J Sci. Food Agric. 86: 1181-1188 (2006)
- [34] Burvall, J. Hedman, B. Perennial rhizomatous grasses-The delayed harvest system improves fuel characteristics for reed canary grass. Sustainable Agriculture for food, energy and Industry, pp.916-918, 1998, James and James (Science Publishers) Ltd.
- [35] Burvall,J. Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass. (*Phalaris Arundinacea* L) Biomass and Bioenergy vol.12, No.3, pp.149-154, 1997
- [36] Andersson,B.; Lindvall,E. Utveckling av nya rörflenssorter. Slutrapport från STEM projekt nr. 12289-2; dnr. 511 OP-2001-02713

-
- [37] Landström, S.; Olsson, R. Perennial rhizomatous grasses-Cultivation experiments with reed canary grass for bioenergy in Sweden Sustainable Agriculture for food, energy and Industry, pp.942-944. 1998, James and James (Science Publishers) Ltd.
 - [38] Samulsson, R. (2007) Muntlig information från pågående försök med askgödsling av rörflensvall
 - [39] Andersson, S. Kvävegödsling till olika gräsarter. Växtodling 19, Inst.för växtodlingslära.1990 SLU Uppsala
 - [40] Andersson, S. Rörflen. Sorter för norra Sverige 1977-78 Aktuellt från lantbruksuniversitetet.252 Uppsala 1977
 - [41] Evans, M.W. and Ely, J.E. Reed canary grass. Jour. Amer. Soc.Agron.33: 1017-1027. 1941
 - [42] Hellquist, S., 2007 Muntlig kommunikation
 - [43] Pahkala, K. Et.al.2002 Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. MTT Jordbruk och livsmedelsekonomi .Växtproduktion- Svensk översättning: Eva Björkas, Svenska lantbrukssällskapens förbund.
 - [44] Larsson, S., Örberg, H., Kalen, G. Thyrel, M. Rörflen som energigröda. Erfarenheter från fullskaleförsök vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC) i Umeå under åren 2000- 2004. BTK Rapport 2006:11.
 - [45] Isolahti, M.; Ruokohelpi on satoisa energiakasvi. Teho. No.2 :8-10, pp.37-38, 2006
 - [46] Jones, L.H.P; Handreck, K.A. Silica in soils, plants and animals. Advances in agronomy 19, 107- 149 1967
 - [47] Bridgeman, T.G:et.al Influence of particle size on the analytical and chemical properties of two energy crops. Fuel. Vol.86, Issues 1-2, January 2007 pp.60-72
 - [48] Pahkala, K.et.al. Production and use of agro fibre in Finland. IN Final report of the Study, Part 1. Production of Agro fibre crops: Agronomy and Varieties, pp.84, Agricultural Research Centre of Finland, Jokioinen, Finland. 1996.

6.13 Hampa

Martin Sundberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Efter ett långt förbud blev det efter ett beslut i EU-domstolen åter tillåtet att odla hampa i Sverige 2003. Flera krav är dock knutna till odlingen. Bland annat är endast sorter med låga halter av det narkotiska ämnet THC tillåtna. Även om intresset för hampa är stort, har odlingen i Sverige fortfarande mycket begränsad omfattning. Under 2006 fanns 155 anmälda odlare med en sammanlagd areal om 527 ha.

Intresset för hampa i Sverige bottnar inte enbart i dess användning som ren energigröda, utan man ser också möjlighet att använda växtens olika delar i andra tillämpningar. Fibern kan användas till textilier, papper, isolermaterial och som armering i betong, plast mm. Ur fröna kan man pressa olja som har en mängd användningsområden. Fröna kan också användas direkt i livsmedelsprodukter och som djurfoder. De vedämnen som blir kvar efter fiberutvinning kan användas i t.ex. byggsivor, djurströ eller som bränsle.

Eftersom produktionskostnaden för hampa för närvarande är hög i jämförelse med andra energigrödor, är det många som idag bedömer att hampaodling *enbart* för förbränning knappast är ett realistiskt alternativ för energiproduktion i ett större perspektiv [49]. På flera håll i Sverige bedrivs därför arbete med att även ta tillvara fiber och/eller fröfraktionen och sedan använda veddelarna för energiändamål [50][51][52][53]. Denna genomgång har dock avgränsats till användning av hela växten till förbränning. Eftersom målet då är en stor mängd biomassa, är det i första hand fibersorter som är aktuella.

Hampa avsett för förbränning skördas av flera orsaker lämpligen efter det att de flesta bladen ramlat av, vilket sker efter det att frosten satt in. Näringen i bladen kan då återföras till jorden och nyttiggöras av kommande grödor. Förutom att bladen ger en stor mängd aska, innehåller de också höga halter av kalium vilket kan orsaka problem vid förbränningen. Under inverkan av frost under vintern torkar stammarna, vilket innebär att vattenhalten successivt sjunker. Framåt våren blir stammarna som regel mycket torra och innehåller bara 10-20 % vatten [50][53], vilket innebär att materialet är lagringsdugligt utan tillkommande kostnader för torkning.

Potentiell avkastning för sorter av fiberhampa kan i välskötta odlingar på lämpliga jordar ligga på upp till 10 ton ts/ha på hösten när bladen ramlat av [55]. Under vintern/våren sker betydande förluster av biomassa, vilket gör att avkastningen vid vårskörd har bedömts uppgå till ca 6 ton ts/ha [56]. På mycket goda, bördiga mulljordar borde det emellertid vara möjligt att nå högre avkastning [55].

6.13.1 Bränsleegenskaper

Tillgängliga analyser på hampa uppvisar en stor variation. Färsk hampa har generellt höga halter av kalium, natrium och klor, med därtill hörande risker för sintring och påslag med korrosionsrisker vid förbränning. Vid vårskörd, då plantan har torkat och förlorat bladen, är innehållet av alkali och klor betydligt lägre. Gjorda analyser av sent skördad hampa visar höga asksmälttemperaturer och anses därför kunna eldas utan problem [53][52].

Vårskördad hampa kan normalt bärgas med låga fukthalter. I en flerårig försöksserie registrerades fukthalter på mellan 13 och 24 %, där variationen främst orsakats av hur stor andel grönt växtmaterial som följt med vid skörden[50].

Mellan fiber- och oljehampa har inga stora skillnader i bränsleegenskaper eller oorganisk sammansättning påvisats [50]. Några studier som klarlagt eventuella skillnader i bränsleegenskaper mellan olika *sorter* av hampa har dock inte genomförts. Däremot har man noterat skillnad för hampa som växt på olika sorters jordar, där hampa på mullrik sandjord gett bättre bränsleegenskaper än sådan som växt på mer lerhaltiga jordar [50]. Detta kommer att undersökas ytterligare i kommande studier (se avsnittet 6.14).

Enheten för biomassateknologi och kemi vid SLU i Umeå genomförde under 2005 till 2006 pelleterings- och eldningsförsök med ett antal olika biobränslen, däribland hampa [58][59]. Projektet syftade främst till att studera askbildningsegenskaper under

förbränning. I projektet ingick bland annat hampa, dels med låg askhalt, dels med hög askhalt. Resultatet visade att närmare 80 % av askan från hampan med hög askhalt bildade slagg vid förbränning. Motsvarande siffra för hampan med låg askhalt var endast 20 %. Förbränningsförsöken visade på relativt låga partikelemissioner från pelleterad hampa, 30-60 mg per Nm³, i jämförelse med bark- och GROT, 100-140 mg per Nm³.

Driftserfarenheter från storskalig förbränning av hampa är för närvarande mycket begränsad. Vid kontakt med värmeverk framkommer att bränslehanteringen är utrymmeskrävande eftersom bulkdensiteten är låg. Inför eldningssäsongen 2005/06 planerades ett antal förbränningstester med hackad hampa i större anläggningar [55]. Flertalet av dessa blev dock inte genomförda, dels på grund av brist på ekonomiska resurser, dels på grund av problem i samband med skörden. Företaget Neova (f.d. Såbi) eldade hackad hampa tillsammans med flis i en av sina anläggningar, dock genomfördes inga bränsleanalyser eller tester på detta parti. Mängden hackad hampa var ej heller större än att det brann upp på ett par timmar [61]. Med liknande förutsättningar eldade Mälarenergi ca 10 ton hackad hampa med 8 % vattenhalt i en av sina pannor [60].

Hampa har under några år eldats i Visby Energis fjärrvärmeanläggning i Visby. Några mätningar eller dokumentation av hampans eldningsegenskaper har dock inte gjorts [63].

6.14 Pågående forskning om hampa avseende bränslekvalité

Under åren 2007-2009 kommer projektet ”Produktion och karakterisering av hampa som råvara för fasta biobränslen” att genomföras vid Enheten för biomassateknologi och kemi, SLU, Umeå. Projektet syftar i huvudsak till att ta fram fördjupad kunskap om hampans bränsleegenskaper. Följande kommer att studeras:

- skördetidens inverkan på bränslekvaliteten hos hampa (höst-/vårskörd, samt några ytterligare tillfällen däremellan)
- jordtypens inverkan på bränslekvaliteten hos hampa (mineral-/mulljord)
- hampasortens inverkan på bränslekvaliteten (fiber-/oljehampa)
- skördeteknikens inverkan på bränslekvaliteten för oljehampa (repning/ingen repning)
- lämpliga förbehandlingsmetoder för brikett- och pelletsproduktion av hampa (kvarntyp)

Eslöv-Lund Kraftvärmeverk AB planerar att under vintern/våren 2007 genomföra två proveldningsförsök med vinterskördad hampa i värmeanläggningar med två olika typer av pannor. Den ena är tänkt att utföras i en halmpanna i Danmark, där man som ett första steg också kommer att titta på hur hampan fungerar med den befintliga hanteringsutrustning som finns på anläggningen. Den andra proveldningen är planerad att utföras i Svalövs värmeverk [62].

6.15 Referenser

- [49] Mattsson, J. E.; Affärsutveckling – Närodlade stråbränslen till kraftvärmeverk. Rapport 2006:8, Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp, 2006
- [50] Finell, M., Xiong, S. & Olsson, R.; Multifunktionell industrihampa för norra Sverige. BTK-rapport 2006:13. Enheten för Biomassateknologi och Kemi, SLU, Umeå, 2006
- [51] Svennerstedt, B. & Svensson, G.; Industrihampa– odling, skörd, beredning och marknad. Fakta jordbruk nr 7, SLU, Uppsala, 2004
- [52] Johansson, S. & Olofsson, R.; Hampans möjligheter som energigröda. Slutrapport. Energinätverket Green4u, 2006
- [53] Norberg, P. Industrihampa-X. Slutrapport. Högskolan i Gävle, 2006
- [54] Pasila, A.; The dry-line method in bast fibre production. Academic Dissertation. University of Helsinki, Publications of Department of Agricultural engineering and household technology 15, 2004
- [55] Sundberg, M. & Westlin, H.; Hampa som bränsleråvara. Förstudie. JTI-rapport Lantbruk & Industri 341. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 2005
- [56] Forsberg, M., Sundberg, M. & Westlin, H.; Småskalig brikettering av hampa. Förstudie. JTI-rapport Lantbruk & Industri 351. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 2006
- [57] Strömberg, B.; Bränslehandboken. Värmeforskrapport F4-324. Stockholm, 2004
- [58] Öhman, M., Gilbe, R., Boström, D., Backman, R., Lindström, E., Samuelsson, R., Burvall, J.; Slagging characteristics during residential combustion of biomass pellets. Proceedings from the second world conference on pellets, Jönköping, Sweden 30 May – 1 June 2006
- [59] Öhman, M., Lindström, E., Gilbe, R., Backman, R., Samuelsson, R., Burvall, J.; Predicting slagging tendencies for biomass pellets fired in residential appliances: A comparison of different prediction methods. Proceedings from the second world conference on pellets, Jönköping, Sweden 30 May – 1 June 2006

6.15.1 Personliga meddelanden

- [60] Nerén, Jens. Mälarenergi
- [61] Oscarsson, Andreas. Neova
- [62] Ottosson, Peter. Eslöv-Lund Kraftvärmeverk AB
- [63] Pettersson, Leif. Visby Energi

7 Lagring och logistik

7.1 Halm

Gunnar Lundin, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

7.1.1 Hanteringsformer

Fullständiga hanteringskedjor för halm för energiändamål från fält till värmeverk har presenterats i en nyligen utkommen erfarenhetssammanställning [1]. Studien täcker alla moment från fält till värmeverk enligt nedanstående.

- Skörd
- Hemtransport
- Gårdslagring inkl. in- och urlastning
- Fjärrtransport till värmeverk
- Lagring vid värmeverk inkl. inlastning och beredning

I studien specificerades metoder, skrymdensiteter och kostnader för fem hanteringsformer: stora fyrkantbalar, små fyrkantbalar, rundbalar, fälthackad lös halm och fältbriketterad halm. Både utomhus- och inomhuslagring av halmen studerades. System med storbalar befanns vara billigast följt av system med mindre stora fyrkantbalar och fältbriketterad halm. Inomhuslagring påverkade kostnaderna i väsentlig grad. Fältbriketterad halm visade sig medföra kostnadsfördelar vid långa transporter och inomhuslagring p.g.a. hög volymvikt som gav ett högt utnyttjande av transportfordonen respektive lagret.

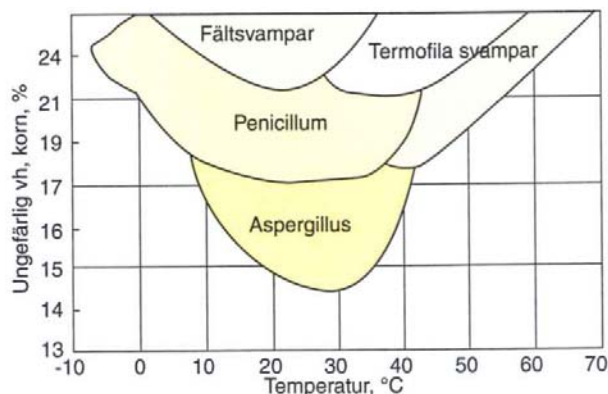
Hanteringskedjor för hela halmbränslesystem finns även presenterade av andra forskare [2][3].

7.1.2 Förändringar under lagringen, hälsoskadliga mikroorganismer

Förlusterna under lagringen består dels av förluster orsakade av mikrobiell aktivitet, dels av material som efter lagringen måste kasseras [2]. Till lagringsförlusterna hör även spillet som uppstår vid hanteringen av halmen.

Den viktigaste faktorn som begränsar flertalet av vegetabiliernas hållbarhet på våra breddgrader torde vara mögelsvampar. I litteraturen finns omfattande kunskap avseende deras angrepp på främst spannmålets kärnfraktion medan motsvarande erfarenheter för halm är mer begränsade.

Vissa arter av mögelsvampar, vilka brukar betecknas som fältsvampar, växer till i grödorna under de fuktiga förhållanden som råder under utvecklingen och mognaden på fältet. Andra släkter av mögelsvampar är bättre anpassade till torrare miljöförhållanden (14-19 % vattenhalt) än fältsvamparna. Dessa s.k. lagerskadesvampar är de dominerande skadegörarna efter skörd [4].



Figur 8. Temperatur- och vattenhållsförhållanden under vilka olika mögelsvampar kan tillväxa hos lagrad spannmål (Jonsson 1999, efter Lacey, Hill och Edvards, 1980).

Figure 8. Conditions of temperature and moisture in which different fungi can grow in stored cereals (Jonsson 1999, after Lacey, Hill and Edvards, 1980).

Vid exponering för organiskt damm inhalerar man mögelsporer och andra partiklar. Det hygieniska gränsvärdet för organiskt, respirabelt damm uppgår idag till 5 mg/m^3 . Damm med en aerodynamisk diameter mindre än $4 \mu\text{m}$ kan tränga ända ner till alveolerna där de överbelastar försvarssystemet och framkallar en kraftig motreaktion 4-8 timmar efter exponeringen, akut alveolit. Man får då feber, frossa och allmän sjukdomskänsla, i vissa fall också svår hosta och andfäddhet [5].

Den som under en längre tid andats in damm med höga mögelhalter kan drabbas av kroniska besvär, allergisk alveolit. Detta tillstånd är betydligt allvarigare än den akuta alveoliten, många blir aldrig helt bra [5].

Risken att personalen ska insjukna i alveolit kan minskas om halmen hanteras i slutna system. Detta skulle i de flesta fall bli mycket dyrt, och mögelbildning ska därför förhindras så långt det är möjligt. Balar som angrips av mögel har ofta mer mögel inuti balarna än på utsidorna. Vid sönderdelning av balarna före förbränning är riskerna således större än om balarna eldas hela. Balar som innehåller mögel blir också svårare att sönderdela då halmen i det mögeldrabbade området ofta klistrar ihop till en klump. Detta är ytterligare ett skäl till att efterstäva mögelfri halm [1].

Det svenska höst klimatet, särskilt då i mellersta Sverige, kan göra det svårt att bärga halm med tillräckligt låg vattenhalt [2]. Det finns uppgifter om att halmen bör kunna betraktas som lagringsduglig vid en vattenhalt på maximalt 18 %. Halmvärmeverk i både Sverige och Danmark tar vanligen inte emot halm med högre vattenhalt än 20 %.

7.1.3 Lagringsformer

Lagring utomhus utan täckning är den absolut billigaste, men mest riskfyllda lagringsmetoden [2]. Ibland kan metoden rentav bli den dyraste om kassationsförlusterna inräknas. Rundbalar är mer tåliga vid utomhuslagring och motståndskraftiga mot nederbörd jämfört med rektangulära fyrkantbalar som är känsliga för nederbörd och därför bör komma under tak snarast möjligt.

Som exempel på utomhuslagring redovisas i en studie förhållandena vid värmeverket i Svalöv där fyrkantbalar förvaras utan täckning [1]. Stackarna är ungefär 10 m höga och byggda enligt konceptet ”ju högre stackar, desto mindre andel balar drabbas av nederbörd ovanifrån”. Översta balen skyddar underliggande balar från nederbörd. Dessa balar går att använda som skydd under 2-4 år beroende på hur fort de får nederbörd på sig efter skörd och pressning.

Övertäckning av utomhusstackar med plast kan vara ett billigt alternativ, men det finns nackdelar [2]. Det kan vara svårt att förankra plasten så att den ej blåser bort, fåglar kan hacka hål i den, och det bildas ofta kondensvatten överst i stacken. För att undvika kondensvatten kan man ha stackens sidor delvis öppna, men man riskerar då att halmen fuktas upp av slagregn. Plasten hålls bättre på plats om den täcks av ett fisknät eller liknande. Detta nät kan sedan hållas på plats med sandsäckar, bildäck eller liknande. Höga krav ställs på plastens kvalitet och säkring.

Det finns sedan en tid en maskin i markanden som kan plasta in två fyrkantbalar ovanpå varandra lagda i en lång sträng, en s.k. tube-liner. Balarna lyfts upp på en ställning med en frontlastare, och plastas in som en lång ”korv” efterhand som de fylls på. Balar som ska plastas in får maximalt ha en vattenhalt på 14 %, annars bildas kondensvatten[1]. Även rundbalar kan förpackas enligt detta koncept.

En presenning skadas mindre av djur, och påverkas inte lika mycket av vinden eftersom den är tyngre [2]. Lämpligt material i den mest väderbeständiga och hållbara typen är PVC-polyester. Nackdelar är att det finns risk för avblåsning och att stacken kräver tillsyn.

En byggnad ger många fördelar vid halmlagring [2]. Halmen förblir torr, och det är inte nödvändigt med tillsyn. Det blir dock en mycket större investering jämfört med utomhuslagring.

En del lantbrukare har byggt enkla och billiga stolplador [2]. Stolparna kan vara impregnerade telefonstolpar. Takutsprånget bör vara väl tilltaget, exempelvis 1 meter, för att ge ett gott skydd. För att få större lagringssäkerhet kan man ha väggar på en eller flera sidor, förslagsvis på väst- och nordsidan.

7.1.4 Självantändning

När mögelsvampar och bakterier bryter ner halmen bildas värme och vatten [2]. Om temperaturen i lagret stiger över 60°C startar kemiska reaktioner som kan medföra att temperaturen stiger till flera hundra grader. Risken för självantändning är då mycket stor.

7.1.5 Olycksfallrisker

Vid hantering av halm föreligger risk för olycksfall vid maskinell hantering av storbalar, exempelvis vid inlagring. Ofta har man som förare stor erfarenhet av hur lastmaskinens stabilitet påverkas av varierande tyngd i lastarmarna. Mera sällan reflekterar man över lastens volymvikt och form. Genom att storbalarnas tyngdpunkt kommer jämförelsevis

långt framför lastarfästet kan maskinen bli mer instabil än man först tänkt sig [6]. Ofrivilliga maskinrörelser hos maskiner som används för lyft kan orsaka svåra personskador. För distinkt manövrering av dylik utrustning är det nödvändigt att hydrauliksystemets ventiler och tätningar är i gott skick [7].

7.2 Pågående forskning om halm avseende lagring och logistik

"Kostnader, tillgångar och kvalitet hos bränslehalm – inverkan av lokala variationer i väderlek och geografi samt val av hanteringssystem" (Projektnummer SLF H0640048). Pågående undersökning (2007-2009) vid institutionen för biometri och teknik, SLU. Tillgängliga kvantiteter av halm kommer att studeras genom att se på förhållandet mellan kärna och halm. Halmens torktid på fält kommer att studeras under olika väderbetingelser, genom simulering av väderdata för 15 år, samt kostnader för halm.

"Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk – Fallstudie Värtan" (Projektnummer SLF H0640055). Möjliga logistik- och hanteringskedjor för åkerbränslena Salix och halm, relaterade kostnader och affärskritiska parametrar för leverantörer av åkerbränsle studeras. Projektet leds av JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, och genomförs som en fallstudie av Fortum Värms planerade biobränsleanläggning i Värtahamnen. Övriga projektparter är LRF, Fortum och institutionen för biometri och teknik, SLU. Projektet finansieras av SLF (Stiftelsen Lantbruksforskning) och avslutas i september 2007.

7.3 Referenser

- [1] Bernesson S. & Nilsson D., 2005. Halm som energikälla. Översikt av existerande kunskap. Rapport-miljö, teknik och lantbruk 2005:07. Institutionen för biometri och teknik, SLU. Uppsala.
- [2] Nilsson, D. 1991. Bärgning, transport, lagring och förädling av halm till bränsle – metoder, energibehov, kostnader. Harvesting, transport, storage and upgrading of straw as a fuel – methods, energy needs, costs. Rapport 150, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 102 s. ISSN 0283-0086. ISRN SLU-LT-R--150--SE.
- [3] Stridsberg, S., Christensson, K. 1995. Hantering av hackad halm II. SLF Rapport nr 16, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 31 s. ISSN 1104-6082.
- [4] Jonsson J. & Pettersson H., 1999. Utvärdering av olika konserveringsmetoder för spannmål. Rapport nr 263 från JTI. Uppsala.
- [5] Andersdotter M., Filipsson A., Hansson R., Sjö Dahl L. & Thelin A., 2000. Arbetsmiljö och säkerhet i lantbruket. LT:s förlag. Södertälje.
- [6] Hemming J.-G., 1984. Rulla Stråfoder. Pratiskt Lantbruk 43. LT:s förlag, Borås.
- [7] Lundin G., 1995. Ergonomiska checklistor för teknisk utrustning vid storbals hantering. Rapport nr 206 från Jordbrukstekniska institutet. Uppsala.

7.4 Spannmål

Hugo Westlin, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Lagring av spannmål för livsmedels- och foderändamål är ett område där mycket forsknings- och utvecklingsinsatser har genomförts. Förändring av fukthalt och torrsubstansförluster i lager har studerats bl.a. av Jonsson & Pettersson (1999) [8]. De utvärderade de vanligaste konserveringsmetoderna för spannmål när de används på gården. Spannmålets säkra lagringstid – dvs. tillgänglig tid inom vilken buffertlagrad, luftad spannmål bör torkas för att undvika mögeltillväxt och därmed risk för försämring av kvalitén – har studerats i ett flertal projekt, bl.a. i ett EU-finansierat projekt ”OTA-Prev” [9]. Där har riktlinjer för spannmålets säkra lagringstid tagits fram, Tabell 6, för olika temperaturer och vattenhalter i spannmålen. En vidare utveckling av denna modell genomförs även i ett pågående doktorsarbete (se avsnittet *Pågående projekt*).

Tabell 6. Säker lagringstid för spannmål (höstvet) enligt Jonsson, 1999 (Preliminära)

Table 6. Safe period of time for storage of cereals according to Jonsson, 1999 (preliminary)

Temperatur	Tillgänglig tid, dagar, vid skördevattenhalt, %				
°C	18	20	22	24	26
25	9,7	4,4	2,7	2,0	1,6
20	10	6	4	3	2
15	35	14	8	5	4
10	40	20	12	9	6

Näst intill all kunskap kring torkning och lagring av spannmål har rört spannmål avsett för livsmedel eller foder. På senare år har dock en del frågetecken framkommit kring huruvida kraven på energispannmål kan anses vara desamma som på livsmedelsspannmål. Oavsett vilket, kan antas att kraven på spannmål till bränsle ser annorlunda ut än kraven på livsmedelsspannmål. Flera projekt kring användandet av alternativ och i viss mån äldre teknik för spannmålskonservering och lagring av bränslespannmål har därför inletts (se avsnittet 7.5).

Eftersom spannmål har varit, och fortfarande är, en mycket viktig lantbruksprodukt, finns ett väl utbyggt och genomarbetat logistiksystem för detta ändamål. Kostnader, både för konservering, lagring och hantering av spannmål, är även de väl studerade och analyserade. Flera arbeten kring detta har de senaste åren genomförts för att belysa lantbrukets möjligheter till billigare och effektivare torkning och lagring. På samma sätt har logistik och transport studerats.

Spannmålsskärnans bulkdensitet kan anses vara väl dokumenterad. Ett flertal olika studier har analyserat hur bulkdensiteten påverkas av lagrets fyllnadssätt, lagrets höjd

samt spannmålsens vattenhalt. Studierna har funnit att möjligheten att påverka spannmålsens bulkdensitet i lager finns, men att den är liten. I många sammanhang används spannmålsens volymvikt som ett mått på kvaliteten och är i vissa fall också betalningsgrundande.

7.5 Pågående forskning om spannmål avseende lagring och logistik

Forskare Nils Jonsson vid JTI arbetar för närvarande på en doktoranduppsats där han studerar spannmålsens mikrobiella aktivitet under lagring, och vilken inverkan detta har på spannmålsens säkra lagringstid.

Nils Jonsson har även beviljats medel från SLF för att studera energisnål konservering av bioenergispannmål, bland annat med hjälp av kallluftstorkning. I ett tidigare projekt har den engelska kallluftstorkningsnormen utvärderats [10], detsamma skall nu göras för den svenska.

7.6 Referenser

- [8] Jonsson N, Pettersson H.; Utvärdering av olika konserveringsmetoder för spannmål. JTI-rapport Lantbruk & Industri 263. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 1999.
- [9] Jonsson N, Johnsson P, Ritzzo A, Olsen M, Gustafsson L.; Modelling the growth of *Penicillium verrucosum* in cereal grain during aerobic conditions. In "Prevention of Ochratoxin A in Cereals" Final Report of Project No. QLK1-CT-1999-00433 in Quality of Life and Management of Living. 2007.
- [10] Bruce D.M, Jonsson N, Armitage D.M.; Practical strategies for minimising the production of ochratoxin A in damp cereals. Project Report No. 399. HGCA. 2006.

7.7 Salix

Raida Jirjis, SLU

7.7.1 Lagringsproblematik

Skördad salix (flisad eller oflisad) behöver ibland lagras under eldningssäsongen trots att den skördas vintertid. Lagringstiden kan, av olika skäl, variera mellan en vecka och några månader. Vid lagring av nyskördad salix kan biomassans egenskaper som bränsle ändras. Förändringar under lagringen styrs av ett antal faktorer som är relaterade till materialets egenskaper, bl.a. fukthalt och partikelstorlek, och externa variabler såsom lagringsform, lagringstid och stackstorlek.

Salix kan skördas som helskott eller skördas och flisas direkt i samma moment. Detta innebär att salix kan lagras som helskott i en vält eller i flisad form i en stack. Lagring av icke sönderdelad salix i vält kan leda till lägre fukthalt och lägre substansförluster, vilket kan förbättra bränslekviteten. Lagring av salixflis i stack är däremot förknippat med en rad problem. Det är ett välkänt faktum att nyskördad flis som lagras i stack bryts ner fortare på grund av mikrobiella aktiviteter. Dessutom genererar mikroorganismerna värme via deras metabolism. Värmeökningen kan vara extra kraftig om luftströmningen

i stacken är begränsad på grund av stora andelar finfraktioner i stacken. Detta leder till stora substansförluster och en betydande ökning av antalet mögelsporer. Dessa faktorer gör att både bränslekvalitet och arbetsmiljön försämras.

En anledning till att bränslekvaliteten blir sämre vid flislagring är att fukthalten omfördelas i stacken, vilket ger ett inhomogent bränsle. Bränslets askhalt kan också öka som konsekvens av materialets nedbrytning. Arbetsmiljön kan påverkas negativt på grund av sporbildningen i den lagrade flisen. Dessa sporer kan lätt bli luftburna när infekterad flis hanteras vid t.ex. lastning och omlastning. Exponering av höga koncentrationer av dessa sporer kan orsaka allergiska problem [11].

Effekterna av materialets egenskaper och olika lagringsformer på bränslekvaliteten har undersökts både i laboratorieskala och i fullskaliga fältförsök. De kvalitetsparametrar som kan påverkas under lagringen inkluderar bränslets fukthalt, askhalt och värmevärde. Studier har visat att höga substansförluster kan uppstå under lagringstiden. Omfattningen av substansförlusterna beror på flera faktorer såsom materialets kemiska sammansättning, fukthalt, fraktionsfördelning och andelen finfraktion (<5mm).

7.7.2 *Salix lagringsformer*

7.7.2.1 *Vältlagring*

Fördelarna med skottskördesystemet är att veden kan lagras som buntade skott eller löst i en vält. Vid lagring av salixskotten i vält minskade fukthalten från 54 % (råvikt) till ca 35 % under perioden mars-september. Täckning av vältan leder till ännu torrare bränsle [12]. Samma studie visar att substansförlusterna var minimala och att temperaturen i vältan var nära omgivningens temperatur under större delen av lagringen. En dansk studie visar liknande resultat [13].

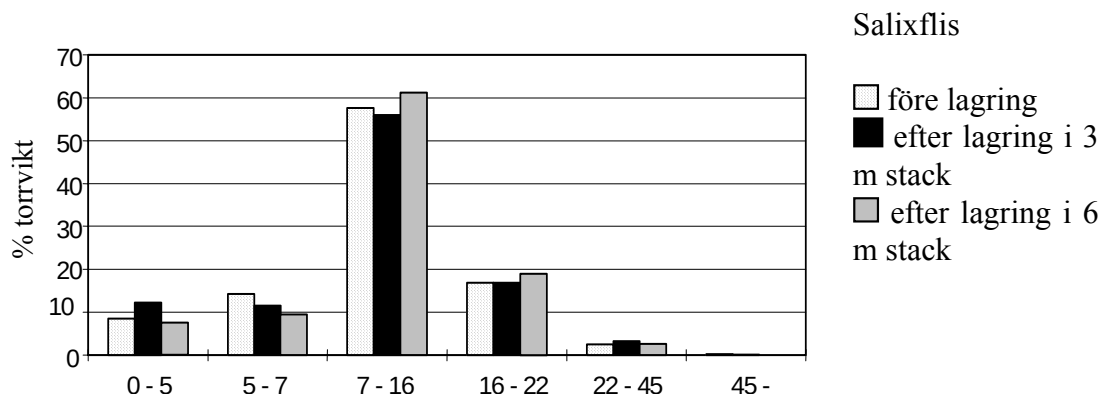
7.7.2.2 *Lagring av salixflis*

Salix lagras vanligen i flisad form i stack. Lagring i stack har studerats under varierande förhållanden [11] [13]. Om temperaturen i omgivningen och i materialet understiger 0°C förekommer en begränsad mikrobiell aktivitet och problemen är minimala. Om salixflis lagras när lufttemperaturen överstiger 0°C, så kan de mikrobiella aktiviteterna sätta igång och orsaka problem.

Lagringsförhållandenas inverkan på torrsbstansförlusterna hos nyskördad salixflis, samt hur stor del av dessa förluster som kan orsakas av mikrobiell aktivitet har studerats i ett laborieförsök [14]. Tre lagringstemperaturer (5, 10 och 15°C) och tre partikelstorlekar (3-7, 7-16 och 16-22 mm) studerades under 73 dygn. Resultaten visar att substansförlusterna, som förekom trots den låga temperaturen, minskas avsevärt vid sjunkande temperatur och ökad partikelstorlek. Förlusterna antas vara ett resultat av omsättningen i växtmaterialets egna celler och i de mikroorganismer som tillväxer i materialet. Dock orsakas merparten av torrsbstansförlusterna av mikrobiell aktivitet [14].

Partikelstorlekens inverkan på substansförlusterna under lagring har även studerats i storskaliga fältförsök [15]. Rapportens slutsatser var att flisstäckar med mindre

partikelstorlekar visar snabbare nedbrytning, högre andel mikroorganismer och större substansförluster. Dessa förändringar kan leda till högre askhalter i mindre stackar [15]. Figur 9 nedan visar typisk fraktionsfördelning samt torrsvikt för salixflis före lagring samt vid lagring i stack.



Figur 9. Fraktionsfördelning (mm) i salixflis före och efter lagring i 3 m respektive 6 m höga stackar [15].

Figure 9. Distribution of fractions (mm) in Salix chips before and after storage in 3 m and 6 m high stacks [1].

Effekten av lagring på askhalter i salixflis undersöktes vid samma försök. Förändringarna i askhalten speglar materialets nedbrytning, det vill säga större substansförluster leder till högre askhalt.

Temperaturutvecklingen i stackarna beror bland annat på stackhöjd och partikelstorlek hos den lagrade flisen. Omgivningens temperatur har mindre betydelse för temperaturutvecklingen i flisen om stacken är stor. Temperaturen i stacken har stor betydelse för materialets fukthalt och därför kan flisens medelfukthalt vara lägre i stora stackar eller vid lagring av flis med hög andel små partiklar [15].

Lagring av flis under långa tidsperioder kan försämra bränslekvaliteten och ge stora förluster [16]. Långtidslagring undersöktes i en studie där salixflis lagrades i en 85 m³ flisstack under ett år. Fukthalten, som var ca 48 % vid försökets slut, blev omfördelad i stacken med ett mycket fuktigt område (70 %) på stackytan. Området omfattade 48 % av stackvolymen. Den genomsnittliga substansförlusten var 14,1 % av torrsvikten [16].

7.7.2.3 Kyllagring av salixflis (Ventilerade lager)

Flera undersökningar som behandlar ventilation av flisstackar med kallluft har rapporterats [17][18][19]. En studie om lagring av salixflis i tre meter höga ventilerade stackar kylda med uteluft har visat markant minskning i materialets fukthalt [17]. Studien omfattade tre försöksled: a) lagring med kontinuerlig ventilation under tak, b) lagring med kontinuerlig ventilation utan tak, och c) kontroll, en stack utan ventilation eller tak. Materialets fukthalt före lagringen låg på cirka 54 %. I maj, efter fem månaders lagring, minskade värdet till 32,5 resp. 37,5 % i det ventilerade materialet

som lagrats under respektive utan tak. Medelfukthalten i kontrollstacken ökade däremot till ca 62 % [17].

Temperaturen i den kontinuerligt ventilerade stacken var mycket nära omgivnings-temperaturen, 6-22°C, medan temperaturen i kontrollstacken låg kring 60°C. En intensiv mikrobiell aktivitet i kontrollstacken ledde till höga substansförluster på 8,9 % av torrvikten. Substansförlusterna i de ventilerade stackarna med och utan tak blev 6,5 resp. 7,1 %. Förändringarna i askhalten var marginella [17].

7.8 Pågående forskning om salix avseende lagring och logistik

Inom projektet kontaktades några uppdragsgivare, bl.a. Energimyndigheten och Lantbrukarnas Riksförbund. Det visade sig att det för närvarande inte finns några pågående lagringsprojekt som gäller Salix.

I det pågående projektet ”Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk – Fallstudie Värtan”, studeras bl.a. möjliga logistikkedjor för halm och Salix (Projektnummer SLF H0640055), se mer i kap 7.2.

I projektet ”Utveckling av Salix-skördare från befintlig basmaskin för skörd av skogsflis” tas en prototyp för skördebord för Salix fram, med medel beviljade från Energimyndigheten. Projektet avser att utveckla skördare för salix som är bättre lämpade att skörda grövre salix. Målet är att skördaren ifråga ska ha hög tillgänglighet och i kontinuerlig drift kunna skörda stammar på upp till 15 cm. Vidare ska det nya skördebordet vara tillgängligt vid skördesäsongen 2007/2008. Projektet leds av Lantmännen Agrobränsle AB i samarbete Silvaro AB samt två Salixskördeentreprenörer, från Skog och Salix AB Nora respektive Maskin & Entreprenad Enköping.

7.9 Referenser

- [11] Jirjis, R.; Microbial activity during the storage of Salix. In: Storage and handling of willow from short rotation coppice. Ed. P. D. Kofman and R. Spinelli. Printed by ELSAM PROJEKT A/S, Denmark, 1997, s. 89-101.
- [12] Jirjis, R.; EU-project: AAIR SRF Harvesting, storage and drying. Contract no. AIR3 CT94-1102. Third year internal report. 1996.
- [13] Kofman P, Spinelli R. Storage and handling of willow from short rotation coppice. Report from ELSAM projekt, ISBN 87-986376-2-2, 1997.
- [14] Jonsson, N. & Jirjis, R.; Torrsubstansförluster och mikrobiell aktivitet vid lagring av salixflis. Summary: Dry matter losses and microbial activity during storage of Salix chips. Swedish Institute for Agricultural Engineering and Environment (JTI) report, Lantbruk & Industri nr 237. 1997.
- [15] Jirjis, R.; Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted Salix viminalis. Biomass and Bioenergy 28/2005, s. 193-201.
- [16] Thörnqvist, T.; Lagring av ung Salix spp. Institutionen för virkeslära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapport nr 133. 1982.

- [17] Elinder, M., Almquist, A. & Jirjis, R.; Kyllagring av salixflis ventilerad med kall uteluft. Stiftelsen Lantbruksforskning, SLF, Rapport no. 18, 1996.
- [18] Rice B., O'Donnell B. & Lyons G., 1990. Study of alternative harvesting-drying-storage strategies for short rotation forestry and forest residues. Report on Contract No. EN3B-0072-IRL. TEAGASC, Carlow, Eire.
- [19] Nellist M.E., Bartlett D.I. & Moreea, S.B.M., 1995. Storage trials with arable coppice. Proceedings of IEA/BA, Task IX workshop "Preparation and supply of high quality wood fuels", held in Garpenberg, Sweden, 13-16 June, 1994. Research Notes No. 278. Department of Operational Efficiency, Swedish University of Agricultural Sciences.

7.10 Rörflen

Rolf Olsson, SLU

Den dominerande produktionsmetoden för rörflen innebär att skörden förläggs till vårvinter-vår beroende på snöförhållanden och bärighet på åkrarna. Skörden måste ske innan de nya gröna skotten skadas av skördemaskinerna. Den dominerande bärningsmetoden i skogslänen inklusive norra Sverige är rundbalstekniken, medan stora fyrkantsbalar är vanligare i slättbygder där de även används för pressning av halm. Halmpressning ger idag i många fall alltför få maskintimmar per år att fördela kostnader på, vilket medför hög presskostnad. En ökad rörflensodling som ger pressarna jobb under kompletterande säsong kan innebära att presskostnaden för alla stråbränslen minskar. Volymökning kan också skapa utrymme för rationellare balhantering typ Arcusinsystemet, som används för balbärning/hantering i Storbritannien.

De två balsystemen har utvärderats vid Biobränsletekniskt Centrum under åren 2000-2004 [21], se Tabell 7. Densitet och övriga egenskaper i balar påverkas mycket av maskinförarens erfarenheter. Då pressning kunnat upprepas med samma maskin och förare så har i allmänhet prestanda och densitet ökat i balsystemet.

Tabell 7. Mått, vikt och densitet vid olika balsystem.

Table 7. Measures, weights and densities using different bale systems.

Press	New Holland D1201 (stora fyrkantbalar)	Hesston 4700 (små fyrkantbalar)	Krone Combipack (rundbalar)
Balmått (m)	2,5 x 1,2 x 0,9	1,2 x 0,8 x 0,8	Ø:1,4 b:1,2
Volym (m ³)	2,70	0,79	1,85
Medelvikt (kg/bal)	390	144	280
Densitet (kg/m ³)	144	182	152
Kapacitet vid rörflenspressning (ton/h)	12 - 19	ingen uppgift	5 - 7

Rundbalen tål tillfälliga regn ute på fältet bättre än fyrkantsbalen, men blir dyrare i transport då lastvikten vid transport blir mindre i rundbal än i stor fyrkantsbal. Även lagring fördras då lagringsmängden blir mindre per ytenhet och iordninggjorda

lagerytor är en relativt stor kostnad (välldränerade och upphöjda lagerytor eller lager-lador).

Vid korrekt täckning med plast och upphöjt, ventilerat underlag så påverkas inte fukthalt eller andra bränsleegenskaper vid denna typ av lagring och fukthalten uppgår normalt till 15 +/-5 %.

Preliminära beräkningar för lagring utomhus plasttäckt indikerar kostnader i rundbals-systemet (pelarstack) på 20 kr/MWh mot fyrkantsbalens 9 kr / MWh [26]. Centrallager i byggnad för fyrkantsbalar med rörflen har beräknats till 35 kr/MWh [21].

7.10.1 Lösskördeteknik

Balning och balhantering representerar över 50 % av produktionskostnaderna för rörflen [25]. För det liknande gräset *Panicum virgatum* (switchgrass) som är huvudenergi-gröda i USA, har konstaterats att exakthackning kan vara ett alternativ som ger färre hanteringsled och därmed lägre produktionskostnader [22]. Balningsfri teknik med exakthackar för skörd av rörflen har studerats i Finland [24]. I andra studier har konstaterats att exakthackmetoden minskar skörde-förluster fram till stack [20]. Lagring av hackat stråbränsle i stackar har studerats i lös form med *Panicum virgatum* [22], med halm [23] och rörflen, rent eller blandat med frästörv [24]. I inget av fallen skedde någon uppfuktning av det hackade materialet under förutsättning att det var torrt vid stackningen (fukthalt max 24 %) och ingen mikrobiell verksamhet kunde konstateras. Vid blandning med frästörv steg rörflenets fukthalt genom upptag av vatten från frästörven och en temperaturstegring upp till 40-50°C som är normalt för frästörvstackar uppkom utan att annan kvalitetsförsämring kunde konstateras [24]. Begränsade försöksresultat vad avser lagringens inverkan på kvalitet i rörflen föreligger fortfarande. Såväl halm som *Panicum virgatum* var sommarskördad och hade skyddande vaxlager vilket motverkar återfuktning som är vanligt hos vårskördad rörflen som saknar skyddslagret. Lössystemet kan även antas ge mindre andel finfraktion genom färre hanteringssteg, vilket också kan ha positiv inverkan på kvaliteten efter lagring. Kostnaden för olika skördekedjor för rörflen har kostnadsberäknats i en finsk studie [20]. Skördekedjan för rundbals teknik med gårdsmaskiner uppgick till 86,29 Euro/ha medan rundbalskedjan i entreprenörssystem uppgick till 72, 32 Euro/ha.

Det ekonomiskt bästa systemet fram till mellanlager var ett system med lösbärgning, strängläggare, slätterkross, exakthack och släpvagn. Kostnaden för detta system uppgick totalt till 40 Euro/ha. Lagring och transport till slutkund uppges i denna studie utgöra en flaskhals. För löslagrad switchgrass har en studie genomförts med lastning av löslagrat, hackat gräs med frontlastareförsedd traktor. I denna studie lastades 13 ton hackat gräs på 30 minuter på en 45 fots vandrande golvtrailer medan avlastningen tog 20 minuter [22].

Studierna visar på goda förutsättningar att utveckla löshanteringssystemet för rörflen och att produktionskostnaderna därmed går att sänka.

7.11 Pågående forskning om rörflen avseende lagring och logistik

I Västerbotten pågår ett projekt med syftet att ta fram nya bränsleråvaror från åkern och skogen via demonstration av teknik, odling och organisation, storskalig produktion. Cirka 415 hektar rörflen har odlats i samband med projektet, som startade hösten 2006 och beräknas avslutas hösten 2007. Organisations- och avtalsfrågor har betonats under utförandet. De aktörer som deltar i projektet är Umeå Energi, Skellefteå Kraft, Norra skogsägarna, LRF och Länsstyrelsen. Projektet finansieras av aktörerna samt med medel från Energimyndigheten och EU [32].

7.12 Referenser

- [20] Pahkala, K. Et.al. 2002 Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. MTT Jordbruk och livsmedelsekonomi. Växtproduktion- Svensk översättning: Eva Björkas, Svenska lantbrukssällskapens förbund.
- [21] Larsson, S., Örberg, H., Kalen, G. Thyrel, M. Rörflen som energigröda. Erfarenheter från fullskaleförsök vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC) i Umeå under åren 2000- 2004. BTK Rapport 2006:11.
- [22] Bransby, David, I. Field chopping as an alternative to baling for harvesting and handling switchgrass., Proceedings of the fourth biomass conference of Americas: Biomass a growth opportunity in green energy and value added products. Vol 1, Edited by Overend, R.P. and Chornet, E. Oakland California USA August 29- September 02, 1999. Elsevier Science.Ltd.
- [23] Stridsberg, S.Christensson, K. Stacklagring av halm, Stiftelsen Lantbruksforskning februari 1997
- [24] Leinonen, A. et al, Cultivation and production of reed canary grass for mixed fuel as a method for reclamation of a peat production area; International Symposium Peatland Restoration and Reclamation, In Duluth, Minnesota, USA 14-18 July 1998
- [25] Olsson, R.et.al. Rörflen som Energi-och Fiberråvara-En System och Ekonomistudie; BTK Rapport 2001:4. ”001 ISSN 1650-5115
- [26] Örberg, H. Muntlig kommunikation 2007

7.13 Hampa

Martin Sundberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

De skördemetoder som använts för hampa genererar från åkern antingen ett relativt långt material pressat i rund- eller fyrkantbalar, eller om det skördas med hack ett mer sönderdelat material i lös form.

Ett potentiellt problem vid både skörd och hantering av hampa är att den starka bast-fibern lätt kan linda sig runt roterande arbetsorgan. Även hampa skördat med exakthack innehåller långa fiberbuntar eftersom dessa är så sega att hacken inte förmår klippa dem. Detta kan begränsa möjligheterna att hantera hackad hampa i t.ex. matningsskruvar [Johansson & Olofsson].

I likhet med andra stråmaterial är det också för hampa viktigt att kunna åstadkomma en hög komprimeringsgrad i syfte att hålla nere lagrings- och transportkostnader. De uppgifter om volymvikter i balar med ohackad hampa som återfunnits ligger i intervallet 125-180 kg ts/m³ [27][28][29][30]. I praktiska försök där man provat några olika metoder att komprimera exakthackad hampa för att förbättra transportekonomin har man uppnått volymvikter mellan 146-184 kg ts/m³ (antagen fukthalt 10 %) [27].

Uppgifter om volymvikter för lös hackad hampa är bristfälliga. Enligt praktiska erfarenheter från en maskinentreprenör på Gotland, ökar volymvikten med minskad nominell hackselälgd. Denne levererar lös hackad hampa till värmeverk, där levererade mängder vägs in. På underlag av detta tillsammans med kända transportvolymen har volymvikten vid transport bedömt till ca 70 kg ts/m³ vid en hackselälgd på 26 mm och till 115 kg ts/m³ vid en hackselälgd på 18 mm [31]. Enligt samma källa har det varit praktiskt möjligt att utan täckning utomhuslagra vinterskördad hackad hampa i stuka under flera månader utan materialet försämrats. Detta förutsatt att arbete läggs på att få en toppig, välformad stuka, samt att skörden kan utföras så att inte snö blandas in i hackelsen. När det senare inträffat har en tillväxt av mögelsvampar observerats.

Eftersom vårskördad hampa har mycket låg fukthalt är den spröd och bryts lätt sönder. Speciellt när den skördas med exakthack bildas en stor mängd små partiklar som också bäddas in i materialet. Vid hantering av löslagrad hackad frigörs detta damm, vilket innebär att personer som hanterar materialet måste se till att använda lämplig skyddsutrustning för att undvika inandning.

7.14 Pågående forskning om hampa avseende lagring och logistik

För närvarande pågår ingen känd forskning om lagring och logistik av hampa.

7.15 Referenser

- [27] Johansson, S. & Olofsson, R.; Hampans möjligheter som energigröda. Slutrapport. Energinätverket Green4u, 2006
- [28] Norberg, P. Industrihampa-X. Slutrapport. Högskolan i Gävle, 2006
- [29] Pasila, A.; The dry-line method in bast fibre production. Academic Dissertation. University of Helsinki, Publications of Department of Agricultural engineering and household technology 15, 2004
- [30] Hansson, I. 2005. Skördemetoder av industrihampa. Examansarbete SLU, JBT Alnarp.

7.15.1 Personliga meddelanden

- [31] Nilsson, Benny, Lantbrukare. Bondarve Lantbruk & Maskin, Gotland
- [32] Lindström, Arne. LRF Västerbotten.

7.16 Lagring av bränsle på anläggningen

Alla anläggningar har ett behov av att lagra bränsle eftersom leveranserna inte alltid kan ske "just-in-time". Hur mycket bränsle som lagras beror på bränsle och driftstrategi men också av hur stora lagringsytor som finns tillgängliga. En vanlig strategi är att lagra

tillräckligt mycket bränsle för ett par dygns drift vid full last, det vill säga att klara helgen utan leveranser. Detta varierar dock kraftigt från anläggning till anläggning. Vilken metod för lagring och lossning som är lämpligast beror på bränslets form. Flis, pellets och briketter levereras på samma sätt som annat biobränsle. Vanlig bränslemottagning är att bränslet tippas direkt ner i en tippficka eller på en bränsleplan.

7.16.1 Lossning

Den första station som bränslet möter på anläggningen är lossning. Bränsle i pulverform som levereras i bulk till anläggningen lossas till en buffertsilo. Vissa pulveriserade energigrödor kan ge problem vid tömningen. Rörflöden kan till exempel kräva särskilda tömningsanordningar medan erfarenheter från mald spannmål visar att det bränslet är enklare att lossa. [33]

Halm i balar har ganska låg energitäthet, vilket gör att det är utrymmeskrävande att lagra dem på anläggningen. Leverans till anläggningen kan därför lämpligen ske enligt ett leveransprogram. Programmet specificerar datum för leveransen, mängd, priser samt den kvalitetsnivå som bränslet ska motsvara. På anläggningen lastas halmen av med en gaffeltruck eller en kran, se Figur 10. Vid lossning från lastbil med kran är det viktigt att balarna är rätt placerade på lastbilen för att balkranen ska kunna arbeta effektivt. Balarna bör även ha rätt storlek och inte vara för tunga. [34]



Figur 10. Brokran som lastar av en lastbil

Figure 10. Bridge crane unloading a trailer [35]

Halmbalarna vägs vid lossningen. Man använder antingen en vågbrygga eller en plattformsvåg. Lastbilen kör upp på vågbryggan, där lastbilens vikt subtraheras från totalvikten. Plattformsvågen fungerar på så sätt att lastbilen kör upp på plattformen med framhjulen och vägs varje gång en bal lossas. Det är visserligen ett mer tidsödande sätt men inköpskostnaden för plattformsvågen är två-tre gånger lägre jämfört med vågbryggan. [34]

Fukthalten på halmbalarna kan mätas med ett mätdon utrustad med en stång som förs in i halmbalen. Resistansen mellan två elektroder mäts och konverteras till ett värde som visar vattnets procenthalt. [34] En annan metod att mäta fukthalten är att använda ett system baserat på mikrovågor, se Figur 11.



Figur 11. Balkran med fukthaltsmätning [35]

Figure 11. Bale crane with moisture sensing device

Andra stråbränslen som rörflen och hampa kan lossas på liknande sätt som halm. Den erfarenhet som finns kring dessa gröder är dock begränsad och inget material finns dokumenterat om lossning av hampa- eller rörflensbalar.

7.16.2 Lagring

Bränslet mellanlagras ibland på anläggningen innan det förs vidare till förbränningen. En rad faktorer bör beaktas för att minska risken för brand, reducera svinn av bränslet samt åstadkomma smidig lossning och lastning, se tidigare i kapitel 7.1.3. Samtidigt bör även kostnaderna för lagringen tas i beaktande. En lagerbyggnad är dyrare att uppföra och underhålla än en utomhusplatta men samtidigt okänslig för väder. I genomsnitt har lagret på anläggningen kapacitet att rymma åtta dagars bränslebehov. [34] Figur 12 visar hur en lagerbyggnad för halm kan se ut.

Formen på bränslet spelar roll när lagringsmöjligheterna bedöms. Stråbränsle, som halm och rörflen kan lagras i balar. Balarna kan staplas och lagras inomhus eller utomhus. Som ovan beskrivits (kapitel 7.1.3) så bör balarna övertäckas om de förvaras utomhus. Medan halmbalar, speciellt runda, klarar nederbörd så måste rörflenshalm lagras skyddat för nederbörd och markfukt. Lastpallar kan användas för att åstadkomma ett väl-dränerat underlag. [37]



Figur 12. En kran flyttar balarna till lagringsplatsen [35]

Figure 12. A crane moves the bales to storage

7.17 Arbetsmiljö vid hantering av bränslen på anläggningen

Vid all hantering av bibränslen finns det risk för självantändning efter mikrobiell aktivitet. Eftersom risken för brand är stor när bränslets fukthalt är ojämn så skall alltid brandsläckningsutrustning finnas till hands vid lagret för att minimera följderna av en brand. [36] [38]

För att förhindra att personalen ska drabbas av alveolit bör mögelbildning förhindras så långt som möjligt. Om det är möjligt bör halm hanteras i slutna system. Det innebär dock höga kostnader för anläggningen. Balar som angripits av mögel har ofta mer mögel inuti balarna än på utsidan. Om balarna sönderdelas före förbränning är riskerna därför större än om balarna eldas hela. [36]

7.18 Anläggningarnas krav på bränslet

För att åstadkomma en bra förbränning har anläggningarna ett antal bränslerelaterade kvalitetskrav. Beroende på vilken typ av panna som förbränningen sker i krävs det olika typer av bränsle, speciellt när det gäller formen på bränslet. Kapitel 10.1 beskriver detta mer utförligt.

Många anläggningar har kvalitetskriterier när det gäller bränslets fukthalt. När stråbränslen, speciellt halm, eldas i rostpannor så måste den vara torr. Sätenergi har satt fukthaltsgränsen i sin rosterpanna till 18 %. [40] Studier av danska anläggningar har visat att med en fukthalt på över 20 % så blir förbränningen lätt ojämn. [34]

Andra kvalitetskrav kan begränsa användningen av vissa gödslingsmedel som påverkar grödornas förbränningsegenskaper negativt. [40] Flintrännen i Malmö (fast rosterpanna på 40 MW värme) sameldar salix, men endast nyskördad sådan på grund av anläggningens kvalitetskrav. [41] Andra anläggningar tar emot all sorts salix och att det då istället blir en prisfråga när salix med sämre förbränningsegenskaper köps in. [42]

Priset är självklart den mest signifikanta faktor som avgör vilket bränsle som eldas i pannan. Här vägs en rad faktorer samman som bränslets inköpspris, transportkostnader, eventuell lagringskostnad, beläggnings- och korrosionsrisk, miljökriterier samt bränslets kvalitet i förhållande till den energimängd som kan utvinnas ur grödan.

7.19 Pågående forskning avseende lagring och logistik på anläggningen

Värmeforsks program Fukthaltsmätning av biobränsle har flera projekt som utvärderar teknik för att automatiskt mäta fukthalten på inkommande bränsle.

Near infrared (NIR) har visat sig vara en metod som med god noggrannhet kan mäta fukthalten i bränsle. I det forskningsprojekt som nu pågår, Automatisk fukthaltsmätning vid bränsleleverans med NIR, kommer en provtagningsmetod att utvecklas för att kunna ta representativa prov för hela lasset. En enklare form av sond mäter fukthalten direkt i eller över lasset via en optisk fiber. NIR-mätare utrustad med sonder kopplade till skruv/borr ska kalibreras och prövas på en anläggning vid leveranser av olika biobränslen.

Automatisk fukthaltsmätning vid bränsleleverans med radiofrekvens RF (radiofrekvens) kan användas för att mäta fukthalten i hela containrar med biobränsle. Tidigare mätningar har genomförts med god noggrannhet och det bör vara möjligt att göra fukthaltsanalyser direkt i containrar med upp till 40 m³ bränsle. För att kunna mäta i den stora skalan behöver containern kalibreras för att önskade signaler ska kunna urskiljas. Även antennutformningen har betydelse för utsignalerna. Målet med det nu pågående projektet, Automatisk fukthaltsmätning vid bränsleleverans med radiofrekvens, är att hitta den mest optimala frekvenser för tillämpningen, bestämma lämplig metod för att skala bort störningar från olika containrar samt att genomföra mätningar vid en bränslemottagningsstation.

7.20 Referenser

- [33] Stridsberg S & Segerud K; "Pulvereldning kol/rörflen/mald bränslekärna", Värmeforskrapport 566 mars 1996
- [34] Nikolaisen L (ed); "Straw for Energy Production – Technology - Environment - Economy", andra upplagan The Centre for Biomass Technology Köpenhamn 1998
- [35] Williams R; "Project 1.1 – Technology Assessment for Biomass Power Generation – UC Davis", TASK 1.1.1 Draft Final Report October 2004 http://biomass.ucdavis.edu/pages/reports/UCD_SMUD_DRAFT_FINAL.pdf
- [36] Bernesson S & Nilsson D; "Halm som energikälla", SLU-rapport 2005:07 Uppsala 2005
- [37] Burvall J; "Rörflen som bränsleråvara", Fakta Teknik, Nr 1 1997
- [38] Johansson H; "Resultat av forskningsprogrammet Stråbränsle" Stockholm maj 1997
- [39] Nilsson K; "Sammanställning av bränsledata för Salix och skogsbränslen", Vattenfall Utveckling AB, U-V 96:Ö1 juni 1996
- [40] Jirjis R; "Effects on particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*", Biomass and Bioenergy 28 2005, 193-201

7.20.1 Personliga meddelanden

- [41] Green, Sven-Göran, Lantmännen Agrovärme AB
- [42] Resmark, Martin, E.ON
- [43] Björklund, Ulf, Eskilstuna Energi & Miljö

8 Förädling av bränslen

Håkan Örberg, Biomassateknologi och Kemi (BTK), SLU

8.1 Förädling av stråbränslen

Behovet att förädla bränslen från åker sammanfaller med behovet att optimera produktionsekonomi, transport, hantering förbränning, samt att minimera miljöpåverkan i de olika leden. I denna förstudie görs avgränsningen att grödor från åker omfattar stråbränslen och salixbränslen.

Tillämpade system för salix i Sverige bygger på en hantering där salix skördas och flisas för att sedan förbrännas separat eller mixas in i annat bränsle (trä, torv) fortlöpande under eldningssäsongen. Detta system innebär att efter det att salixen har flisats kan den jämföras med annat skogsbränsle där ett torkningsbehov föreligger innan någon form av förädling till pellets sker. Forskning kring detta område är omfattande och salix ingår även i pågående STEM-finansierade projekt med fokus på förädling till pellets. Därför behandlas enbart området stråbränslen nedan.

8.1.1 Stråbränslen

Området stråbränslen som är aktuella inom Sverige är förutom olika halmsorter (vete-halm, kornhalm, havrehalm, rapshalm etc) det fleråriga energigräset rörflen och den ettåriga grödan hampa. Dessa olika stråbränslen har flera gemensamma egenskaper som gör att forskning och utvecklingsbehov för dessa kan beskrivas samtidigt. Dock finns ett antal faktorer där egenskaperna skiljer sig åt. Det gäller framför allt hampa där den extrema fiberstyrkan utmärker sig i förhållande till övriga stråbränslen. Skillnader föreligger även i fråga om fysikaliska egenskaper beroende på hur länge halm eller energigräs har varit utsatt för väder och vind. Nedbrytning av organiska fettsyror och hartser i ytan på halm och energigräs under lagring på fältet förändrar ytegenskaper och hållfasthet.

8.1.2 Storbalar som utgångsform

I systemstudier som genomförts vid SLU har uteslutande olika former av storbalat material varit den studerade formen [1]. Lantbrukets tillgång på pressar för detta och utvecklingen effektivare storbalspressar indikerar att materialet från åkern och fram till industrigrindarna kommer att hanteras i storbalsform. Den mest optimala formen för detta är fyrkantsbalar med de ungefärliga måtten 120x100x240 cm och med en balvikt för halm på ca 400-450 kg [2].

I denna fortsatta översikt antas att utgångsformen vid förädlingsanläggning är storbalar.

I storskalig förbränning tillsammans med t.ex. torv, GROT m.m. kan förädling till briketter eller pellets uteslutas och sönderdelning av balar möjliggöra tillräckligt noggrann blandning.

8.2 Befintlig kunskap

Beträffande förädling av halm till pellets finns några befintliga anläggningar i Europa (ingen i Sverige) varav den största ägd av Eon ligger i Køge, Danmark. I denna anläggning finns ett system att från storbalar förädla till pellets. En del lösningar är speciellt utformade för halm medan mycket av tekniken är direkt tagen från förädling av träråvaror till pellets.

Vid SLU Biomassateknologi och kemi (BTK) och SLUs forskningspilot BTC har ett system för tillverkning av briketter och pellets från storbalar byggts och utvärderats under flera år. Forskning har bedrivits kring delar av de olika moment som omfattar hela förädlingskedjan. Genom de arbeten som har utförts kan kunskapsläget utifrån detta definieras väl.

8.2.1 Sönderdelning av balar

Utrustning för sönderdelning av balar med hänsyn till att det här handlar om torra material finns utvecklade. Ett flertal konstruktioner finns som klarar av att hantera de snören som håller ihop balarna. En lösning tillämpas vid Køge där snören klipps av och samlas ihop för att inte åstadkomma problem i den fortsatta hanteringen. Snören har ofta en tendens att linda sig kring axlar och förstöra lagertätningar m.m. Detta fenomen finns dock lösningar för.

I samband med sönderdelning och grovrivning av balarna sker för dessa material kraftig dammgenerering vilket måste tas om hand genom lämplig ventilationsutrustning. Dimensioneringsnormer för detta finns inte utvecklade men erfarenheter vid BTC är vägledande för nykonstruktioner.

Kapacitetsberäkningar vid olika såll och mätningar av energiförbrukningen för olika halmsorter och olika gräs och/eller hampa är inte utförda.

Balar tillverkade av hampa har vid sönderdelning i grovkvärn utan föregående avskiljning av bastfiber resulterat i kraftig sammanflätning av fibrer och skävor. Tekniken att sönderdela hampa är ännu utvecklad.

8.2.2 Avskiljning av främmande föremål

I samband med balning på fältet kan stenar och andra processtörande föremål komma in i balen. Särskilt besvärande är föremål av stål från jordbruksmaskiner m.m. Dessa främmande föremål måste ovillkorligen avlägsnas före sönderdelning. Utrustning för detektion av metalliska föremål finns utvecklade. Avskiljningsmetoder som bygger på densitetsskillnader finns väl utvecklade. Teknik utvecklad för trämaterial och avfallsåtervinning är i detta avseende tillämpbar för stråbränslen.

8.2.3 Dammavskiljning

Tekniken att avskilja damm i industriella processer är väl känd och utrustning som klarar av alla olika sorters damm finns på marknaden. Emellertid saknas dimensioneringsuppgifter för hur stora dammängder och vilka nödvändiga luftflöden som krävs för att klara en bra arbetsmiljö vid upparbetning och förädling av olika

8.2.7 Pelleteringsprocessen

Vid forskningsprojekt i vid REAP Canada (Resource Efficient Agricultural Production) har pelletsproduktion av switchgrass studerats i mindre försök. Inget systematiskt arbete med olika förbehandling har genomförts. Ett flertal vetenskapliga artiklar finns publicerade från universitetet i British Columbia, Kanada, av främst forskarna Mani, Tabil och Sokhansanj vilka studerat grundläggande fysikaliska egenskaper hos olika halmsorter och gräs och komprimering till pelletering och brikettering i labbskala. Några försök i fullskala under praktiska förhållanden har inte gjorts. Vid pelletsfabriken i Köge där pellets tillverkas av halm har pelletteringsprocessen successivt förbättras utgående från metod och utrustning för träpelletering. Något vetenskapligt arbete för att optimera produktionen av stråbränslen i ett vidare begrepp har inte genomförts.

I ett projekt "Pelletering av rörflen" [8] har försök med pelletering av vårskördad rörflen under olika betingelser genomförts där det konstateras att denna råvara har egenskaper som kräver helt annan utrustning jämfört med konventionell pelleteringsutrustning. Man pekar på behov av fortsatt FoU.

Enligt uppgift från [9] fungerar pelletering av rörflen med konventionella pressar bra tills matris och pressrullar blivit varma då torrhalten snabbt ökar och materialet bränner fast. Orienterande försök med pelletering av gräs i pressar med kall teknik som t.ex. ECo Tree i Italien har fungerat bra. I denna teknik så hålls materialet kylt av de stora luftströmmarna som kyler pressrullar och matris [10]. Nya kalla tekniker från Kina som utvecklas (t.ex. High Zones) samt ny teknik där matriser och pressrullar kyls med vatten och luft har också gett lovande resultat. Råvara med högre vattenhalt kan då användas vilket också förbättrar möjligheterna till att utveckla semimobila tekniker som inte är lika känsliga för fukthaltsvariationer. Vid behov kan då torrhalten i färdig pellet höjas genom eftertorkning i storsäck utan innersäck [10].

8.2.8 Kylning, dammavskiljning, paketering

Utrustning och metoder för kylning av pellets tillverkade av stråbränslen avviker sannolikt inte avsevärt från motsvarande moment av träpellets. De forskningsresultat och kunskaper som finns där torde väl kunna tillämpas för stråbränslepellets.

8.2.9 Styrning och optimering av processen

Styrning och optimering av pelleteringsprocessen m.a.p. fukthalt, askhalt och asksammansättning (alkali och kisel) med NIR (Near Infrared Spectroscopy) och XRF (X-ray Fluorescence)-teknik pågår inom forskningsprogrammet "Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri". Forskningsprogrammet avser i första hand skogsråvaror, men resultat bör bli användbara även på åkerbränslen.

8.3 Pågående forskning

I det av STEM, pelletsindustrin och SLU finansierade programmet "Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri" (2007-2010) finns insatsområdena "Nya råvaror" och "Pelleteringsteknik och -system" där grundläggande moment gällande densitet på råvaror och friktionsstudier av råvaror ingår, bl.a. som del i ett doktorandarbete. Ny intressant pelleteringsteknik ska även provas bl.a. i samverkan med större

utrustningsleverantör. Generella riktlinjer för detta FoU-program är dock att fokus ligger på främst träråvaror, och stråbränslen berörs endast i begränsad omfattning genom kartläggning och karaktärisering i forskningspilot. Ett framtida program för förädling av stråbränslen bör dock samordnas med programmet ”Produktionsteknisk plattform för svensk pelletsindustri” eftersom synergier då kan realiseras.

I ett just påbörjat projekt finansierat av SLF skall inledande studier av hampa göras under tre år. Förutom odlingstekniska aspekter skall projektet studera olika typer av malning för att möjliggöra vidare förädling till pellets eller briketter.

I ett annat pågående tvåårigt SLF-finansierat projekt som utförs av SLU Biometri och teknik görs en systemanalys av kostnader och effektivitet för förädlingskedjan av briketter jämfört med pellets för jordbruksråvaror.

Vad som sker i andra länder i EU inom detta område är svårt att överblicka. Avsikten med de forskningsprogram som nu etableras inom 7:e ramprogrammet är bl.a. att samordna kunskapsläget och forskning där ett viktigt område kan vara ”förädlingsteknik för miljövänligt och effektivt nyttiggörande av stråbränslen”.

Ett projekt med syfte att stödja produktion av åkerbränsle med egen vidareförädling av mindre enheter förbereds av STEM med enskilda lantbrukare och producenter av briketter och länsstyrelsen Västerbotten som deltagare.

8.4 Kunskapsluckor

Inom tekniken för förädling av stråbränslen till pellets eller briketter finns stora kunskapsluckor beträffande följande huvudområden:

- Malningsteknik för att förbättra råvarans fysikaliska och kemiska egenskaper för pelletstillverkning
- Konditionering av råvaror för minskad energiåtgång och ökad produktionskapacitet i tillverkningen
- Tillägg av additiv (’presshjälp’, dammbindning eller förbättring av bränsleegenskaper)
- Pelleteringprocessen. Ny eller anpassad teknologi för pelletering av stråbränslen som har andra fysikaliska egenskaper än de träråvaror som dagens teknik är utvecklad för.

Generellt sett är området utvecklat. Den teknik och de metoder som finns utvecklade för förädling av träspån, kutterspån och liknande är inte optimal för stråbränslen. De fysikaliska skillnaderna på materialet kräver andra eller anpassade metoder. På grund av bristande efterfrågan har fram till idag FoU samt utrustningstillverkare inte arbetat med dessa material. I dagsläget har situationen förändrats då stor efterfrågan finns på sätt att förädla stråbränslen till en form som är miljövänlig sett ur förbrännings-, transport- och hanteringsegenskaper. Speciellt är tekniken att förädla hampa som odlas för energiändamål utvecklad beträffande fiberseparering, malning, konditionering, pelletering m.m.

Tabell 8. Sammanställning av kunskapsluckor.

Table 8. Compilation of knowledge gap.

Kunskapslucka	Åtgärdens karaktär	Tidsåtgång	Prioritering inom programmet
Malningsteknik	Försök kombination kvarnar/Pelletering	> 3 år	Låg
Konditionering	Grundläggande studier i materialegenskaper vid olika konditionering Tillämpade försök i produktionsanläggningar	> 3 år	Medel
Additiv	Systematiska försök med olika additiv. Utvärdering i pelletsprocessen. Utvärdering i förbränningsprocessen.	> 3 år	Medel
Pelleteringsprocessen	Försök med ny teknik för pelletering. Förändrad fysikalisk processmiljö vid pelleteringen.	> 3 år	Medel

Kommentar

Malningsteknik Kostsam försöksuppställning. Laboratorium med olika kvarntyper inte tillgänglig idag. Malning av stråbränslen kräver lite energi och är inte så kostsamt. På sikt krävs dock åtgärder då dagens kvarnar ger stor spridning i partikelstorlek och mycket damm.

Konditionering Uppbyggnad av försöksanläggning pågår vid SLU BTC Umeå, planeras klar 2007 (finansieras av pelletplattformen). Den färdiga anläggningen kan användas för projekt kring åkerbränslen.

Additiv Planerade försök vid SLU BTC. Som s.k. ”presshjälp” skall olika typer av *lignin* utvärderas och beträffande ”combustion aids” skall additiv utvärderade i tidigare forskningsprojekt verifieras [7].

Utvärdering i förbränningsprocessen kan ske i projekt < 0,5 - 2 år.

Pelleteringsprocessen Utveckling av nya maskintyper kräver samverkan med maskintillverkare och är mycket kostsamma. Varje förändring/modifiering av maskiner tar tid. De etablerade tillverkarna av pelleteringsmaskiner är idag inte särskilt intresserade av åkerbränslen, som de ser som en marginellt liten marknad.

Kortare projekt på forskningssidan krävs med resultat som på sikt kan locka utrustningstillverkare.

8.5 Referenser

- [1] Nilson, D., *Bärgning transport, lagring och förädling av halm till bränsle-metoder, energibehov, kostnader*. Inst. F. lantbruksteknik. Rapport 150, 102 s. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 1991.
- [2] Olsson, R., Rosenqvist, H., Vinterbäck, J., Burvall, J., Finell, M., *Rörflen som energi och fiberråvara - en system och ekonomistudie*. BTK-rapport 2001:4. 60 s. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. 2001.
- [3] Mani, S., *Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses*. Elsevier. University of British Columbia. January 2004.
- [4] Miles, T.R and Miles, T.R. Jr, *Densification systems for Agricultural Residues*. In: Thermal Conversion of solid wastes and Biomass p.p. 179-191. American Chemical Society, Washington, DC. 1980.
- [5] Samson, R., Drisdelle, M., Mulkins, L., Lapointe, C., and Duxbury, P. *The use of switchgrass biofuel pellets as a greenhouse gas offset strategy*. In: Bioenergy 2000: Proceedings of the 9th Biomass Conference of the Americas, Buffalo, New York. October 2000.
- [6] Paulrud, S., *Uppgraded biofuels - effect of quality on processing, handling characteristics, combustion and ash melting*. Doctoral thesis, Sveriges lantbruksuniversitet. 2004
- [7] Öhman, M., Hedman, H., Danielsson, B., Boström, D., *Inverkan av låginblandning av additiv vid förbränning av stamvedspellet för motverkande av slaggning i eldningsutrustningen*. STEM projekt P 13674. Sept 2002.
- [8] Örberg, H., Kalén, G., Thyrel, M., Finell, M., Andersson, L-O., *Pelletering av rörflen*. Sveriges lantbruksuniversitet. BTK-rapport 2006:12, 2006.
- [9] Muntlig uppgift, Bo Lundmark, Glommers Miljöenergi AB
- [10] Muntlig uppgift, Rolf Olsson SLU Umeå
- [11] Hansson och Nilsson. Pågående projekt. *Optimal pellets och brikett - en systemstudie*. Sveriges Lantbruksuniversitet 2007.

9 Beredning och dosering

Beredning och dosering av bränsle beror på typ av förbränningsprocess och form på bränslet. För flisat och pulveriserat trädbränsle finns det idag fungerande utrustning för beredning och dosering in till pannan, medan hela balar kräver speciell eldnings- och inmatningsteknik

Vanligt förekommande dosering av material med lite större partikelstorlek är med gripskopa, cellmatare, skruvar, transportband eller skrapor. Inmatning till rostpannor kan även ske genom att bränslestupet alltid är fyllt och bränsleinmatningshastigheten styrs med rosterhastigheten. I dessa fall krävs det att bränslet fyller ut bränslestupet och att det blir tätt så att ingen luft kommer in i pannan den vägen.

Flis i rätt storlek behöver inte beredas vidare om det är tillräckligt rent från föroreningar. Om överstort material förekommer kan det avskiljas genom sållning, varpå rejektet krossas innan inmatning till pannan. Krossning och sållning är mer angeläget om bränslekvaliteten är ojämn och är inte kritiskt för stråbränsleanvändning. [1]

Balar kan matas in som de är, men det förekommer även att balarna delas, rivs och/eller hackas innan inmatning till pannan. En nackdel med balar är att de skiljer sig fysikaliskt från övrigt bränsle, vilket gör att det krävs speciell utrustning för inmatning och helst även för förbränning.

För att minska variationer i förbränningen vid baleldning så går en trend mot att matningen ska ta hänsyn till vikt och fukthalt för att få en energibaserad matningshastighet istället för den vanliga som baseras på volym. [5]

För att istället uppnå en mer kontinuerlig förbränning har halmeldning med baldelare utvecklats. En kniv delar balen i ca 30 cm stora skivor som kontinuerligt matas in i pannan. En anläggning utrustad med balupplösare delar balen innan förbränningen så att löst strå automatiskt matas in i pannan. [6]

Hantering av balat stråbränsle kräver ganska stort utrymme och särskild utrustning för mottagning, hantering och sönderdelning av balarna. I Sverige har endast ett fåtal pannanläggningar denna utrustning. Danska anläggningar har börjat gå ifrån helbalseldning och använder system för skuren halminmatning till pannan för att uppnå högre effektivitet. [7]

Pellets och briketter har en fördel genom att de är förädlade, har jämn kvalitet och är enkla att mata och dosera. De kan användas som de är i vissa roster- och fluidbäddpannor och om grundmaterialet är pulver kan de även användas i pulverpannor efter malning. En viktig parameter för pellets och briketter är att hållfastheten är hög fram till eventuell malning.

Pulver matas vanligen in genom pneumatisk transport, samtidigt med primärluften till brännaren. I alla typer av pulvertransportsystem finns det risk för brand på grund av

dammexplosion. Det finns konventionell teknik för att motverka bränder och för att snabbt släcka om det ändå uppkommer brand.

Nedan listas olika energigrödors egenskaper som har betydelse för dosering in till pannan:

Halm	Förekommer i form av pulver/pellets, balar och strån. Det kan uppkomma problem då strån transporteras med hjälp av skruvtransportörer eftersom halmstrån är långa och lindar sig kring skruvarna. I bränslestup förekommer det problem med hängning vid transport av stråbränslen. Detta problem kan minskas om stupen utformas bättre. För att pulverisera halm måste bränslet malas eller bli skuret i små delar för att hinna brinna upp under den korta uppehållstiden vid pulvereldade pannor. Mald halm har liknande egenskaper som träpulver. Halms egenskaper kan förbättras genom att det lämnas en tid på åkern och blir "tvättad" av regn. På så sätt minskar andelen klor och kalium vilka orsakar korrosion och avlagringar. En annan möjlighet är att nyskördad halm skickas direkt till förbränningsanläggningen. Här tvättas den i avsedda faciliteter vid en temperatur på 50-60°C. Det ökar även fukthalten i bränslet. [9] I en rosterpanna kan halm eldas riven eller som helbal. Vid eldning med riven halm krävs rivare, fläkt/sug-transportör, cyklon, cellhjul mot bakbrand och inmatare till pannan. Rivaren klarar oftast inte halm som varit fuktig, eller möjlig halm eller halm som innehåller kvickrot. Vissa rivare klarar inte heller att riva linhalm, medan rapshalm går bra.
Spannmål	Definieras som spannmålskärna av vete, korn, rågvete eller havre, med skal men utan strå. Hanteringsegenskaper för spannmål är mycket goda, både avseende transport, lagring och matning av spannmål. [4]
Spannmålsavrens	Pellets av spannmålsavrens kan malas och eldas i pulverpannor. Under försök med spannmålsavrens tillsammans med trädbränsle i Norrtälje fick gripskopen i bränslehanteringen tätas för att avrenset inte skulle flyta ut. [4]
Salix	Salix används alltid flisad och liknar "normal" bränsleflis när det gäller volymdensitet, rasvinklar och andra bränsleparametrar. Storleken på flisen är ofta något större än för vanlig flis och andelen fina partiklar är oftast låg. Salixflis kan till och med vara mer homogen än skogsbränsleflis. [4] Salix i mald form har testats för pulverbrännare. Det resulterade i stora problem med bränslematningen, exempelvis valvbildning i bränslesilo och statisk elektricitet som orsakade stopp i hanteringen. [8]
Rörflen	Kan också komma i form som helbalar, pellets (pulver) eller lös halm. Rörflen har låg bulkdensitet och det är vanligt med problem med valvning. [2]
Hampa	Odla bland annat för växtens slitstarka fibrer, vilket kan ställa till med problem i inmatningsskruvar och annan inmatningsutrustning genom att

fastna och trassla in sig. Hög andel fibrer gör att det finns risk för valvning ovanför skruvar etc. [3]

Hampa är svår att dela och har orsakat stora problem vid skärningen i baldelaranläggningen. Istället har cigarreldning använts som alternativ, se kapitel 10.1.2. [10] Hampa har även visat sig ha två stora nackdelar då den dels är volyminös och dels är alltför torr att elda som enda bränsle i en panna med rörlig rost. För att undvika detta har man blandat hampan med träflis för att erhålla lämplig fukthalt. [11]

För att ta reda på hur en viss energigröda fungerar i en anläggnings bränslehantering krävs prov i fullskala.

9.1 Blandning

Om två eller fler olika bränslen förbränns tillsammans är det viktigt att blanda dem ordentligt. Fördelen med en bra omblandning är att förbränningen blir stabilare, risken för sintringar på grund av lokal överhettning minskar samtidigt som möjligheten att utnyttja de olika bränslenas positiva egenskaper och synergieffekter ökar.

Vanliga metoder för att blanda bränslen är antingen på en bränsleplan med hjälp av lastare med skopa, vilket kräver att en person kör lastaren, eller med hjälp av gripskopa i bränsleficka, vilken kan programmeras eller köras manuellt. I flera anläggningar som eldar halm tillsammans med andra bränslen är det vanligt att det är svårt att blanda. [1]

En blandningsstrategi som har visat sig fungera bra är att använda en tillräckligt stor tippficka, med plats för fyra olika bränslesortiment, och en gripskopa. Skopan är programmerad att hämta bränsle från de olika sektionerna enligt ett förbestämt mönster och sedan lasta av det på en blandningshög mitt för inmatningsfickan. När gripskopan sedan tar bränsle till inmatningsfickan får skopan med sig ett genomsnitt av den önskade bränsleblandningen som sedan slutblandas vid utmatningen från fickan och i stupet till inmatningsskruvarna till pannan. En förutsättning för detta är att tippfickan har tillräckligt stor volym. [1]

Ett annat alternativ för blandning är om anläggningen har en stokerplatta i två sektioner, med möjlighet att styra sektionernas hastighet var för sig. Från plattans slutkant faller de olika bränslesortimenten ner i en skraptransportör. Skraptransportören mynnar sedan i ett stup ner till inmatningsskruven, där bränslet blandas. [1]

9.2 Hantering av orenheter

För alla bränslen som har hanterats på icke hårdgjord yta finns det risk för att föroreningar, exempelvis grus, följer med bränslet. Beroende på förbränningsteknik har det olika stor effekt på processen, men det finns alltid en risk för ökat slitage på transportutrustning. Pulverpannor är mest känsliga för småsten, men de brukar avskiljas i samband med sållning innan pulverbrännarna. Det finns även möjlighet att avskilja metalliska bitar och stenar innan kvarnar och såll vilket kan ske med hjälp av exempelvis en virvelströmsseparator respektive stenfälla.

9.3 Pågående forskning

Sedan februari 2006 pågår det ett fyraårigt EU-projekt som heter NextGenBioWaste. Det övergripande målet är att öka användandet av förnyelsebara bränslen och projektet ska titta på hela kedjan, från bränslehantering och förbränning till aska och askhantering. SP1 har fokus på bränslepreparering och blandning. Total budget för projektet är 29 M€, mer information finns på projektets hemsida: www.nextgenbiowaste.com.

9.4 Referenser

- [1] Stridsberg, S. *Anpassning av värmeverksutrustning till halminblandning*, Värmeforskrapport #673, oktober 1999
- [2] Burvall, J. Tillverkning och proveldning av rörfen-pulver –ett fullskaleförsök. Sveriges Lantbruksuniversitet, Rapport 9:1993
- [3] Finell, M. et. Al. *Multifunktionell industrihampa för norra Sverige*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Enheten för Biomassateknologi och Kemi, Umeå. BTK-rapport 2006:13
- [4] Strömberg, B., *Bränslehandboken*, Värmeforskrapport # 911, 2005
- [5] Sørensen L H; "Straw-fired Combined Heat and Power Plant", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 103-113
- [6] Hartmann H; "Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 62-84
- [7] Williams R; "Project 1.1 – Technology Assessment for Biomass Power Generation – UC Davis", TASK 1.1.1 Draft Final Report October 2004 http://biomass.ucdavis.edu/pages/reports/UCD_SMUD_DRAFT_FINAL.pdf
- [8] Strömberg B; "Bränslehandboken" Värmeforskrapport 911 mars 2005
- [9] Kavalov B & Peteves S D; "Bioheat applications in the European Union: an analysis and perspective for 2010", European Commission DG JRC Institute for Energy Petten 2004
- [10] Hering T; "Stroh- und Ganzpflanzenverbrennung am Beispiel der Strohheizwerke Schkölen und Jena", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 114-126
- [11] Sundberg M, Westlin H; "Hampa som bränsleråvara", JTI-rapport Nr 341 2005

10 Förbränning av energigrödor

För att uppnå en optimal förbränning krävs att varje delprocess sker under rätt förhållanden. Man brukar tala om förbränningens 3 T, Tid, Temperatur och Turbulens, som skall vara uppfyllda för en god förbränning. Förbränningen måste pågå under tillräckligt lång tid, vid tillräckligt hög temperatur och med tillräcklig turbulens, det vill säga omblandning av komponenterna. Detta uppnås genom utformningen av eldstaden, olika bafflar och placering av luftintag med mera. Även bränslets askhalt, asksammansättning, storleksfördelning och värmevärde/fukthalt är viktiga faktorer vid förbränningen. Dessa aspekter beaktas i följande avsnitt.

10.1 Olika pann typer

Rostpannor, pulvereldade pannor och fluidiserande bäddpannor har olika förutsättningar för att elda energigrödor. Formen på bränslet spelar stor roll om det ska passa den typ av panna som redan finns på anläggningen. Andra saker som kan spela in vid valet av bränsle är möjligheterna till att ta hand om en ökad askmängd. De olika panntyperna skiljer sig även i förbränningsatmosfären på grund av olika temperaturförhållanden. Kapitel 10.4 har en mer utförlig beskrivning av panntypens inverkan på förbränningsatmosfären.

För att åstadkomma en så bra förbränning som möjligt är det viktigt att en ny panna utformas efter de krav som det bränslet (eller de bränslena) har som ska eldas i pannan.

10.1.1 *Pulverförbränning*

Pulvereldade pannor var från början avsedda för olja eller kolpulver men idag har det skett en utveckling mot multi-fuel brännare som helt eller delvis är avsedda för biobränslen. För att kunna förbränna energigrödor måste bränslet vara i pulverform. Det innebär att det ställs höga krav på bränslekvaliteten och beredningen av bränslet vilket leder till en hög bränslekostnad. [2]

Rörflen kan pulvreras och användas i pulvereldade pannor. I ett försök som pågick under nio timmar i Drefvikens panna (30 MW med två brännare á 15 MW) konstaterades att rörflenspulver gick bra att förbränna utan några speciella intrimningar. Normalt eldades träpulver på samma anläggning. Trots att pulverbränslesystem är känsliga för variationer i bränsle kunde man konstatera att det är möjligt att uppnå jämn kvalitet och tillräckligt goda flödesegenskaper med det torra vårskördade rörflenet. [4] [5] Samförbränning med rörflen och kol som pulver har i ett försök vid Västhamnsverket (185 MW) fungerat utan nämnvärda problem. Lösa beläggningar av aska vid brännarna kunde konstateras, speciellt vid högre panneffekter, men det vållade inga besvär. [6]

Salix i mald form har testats för pulverbrännare. Det resulterade i stora problem med bränslematningen på grund av valvning och statisk elektricitet som orsakade stopp i hanteringen. [7]

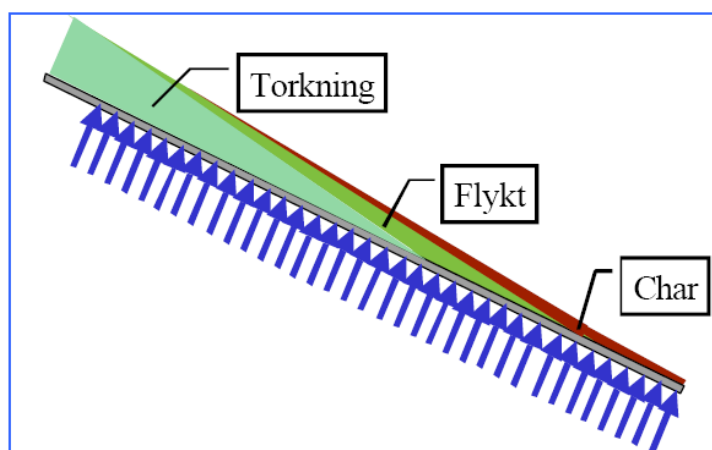
Även spannmål och pellets av olika grödor (till exempel halm) kan eldas i pulverpannor efter att ha malts.

10.1.2 Rostförbränning

Rostpannor kan designas för att hantera ett relativt stort spann i bränslepartikelstorlek, fukthalt och höga askhalter. [2] De är oftast den typ av förbränningsteknik som föredras för biobränslen på grund av dess tillförlitlighet och den stora erfarenhet som finns för rostpannor [8], i vart fall vad gäller mindre pannor (<20 MW). Rostpannans storlek bör vara rätt anpassad och det ställs även krav på att bränslet är bra blandat. Rostpannor passar därför bra till samförbränning av olika bränslen med olika kvalitet, till exempel trä med stråbränslen. [1]

Det finns olika sorters rostpannor. I en panna med fast snedrost rör sig bränslet längsmed rostern på grund av sin egen gravitation. På så vis torkar och förflyktigas bränslet successivt på rostbädden. Då bränslet rör sig ner för rostern vänds partiklarna upp och ner, de rullar. Det förbättrar bränsleblandningen, speciellt för bränslen som har lite större storlek. En annan typ av rost är den vibrerande rostern. Då den skakar så fördelar den bränslet jämt över ytan. [1]

När en panna är utrustad med en rörlig roster förflyttas bränslet långsamt genom pannan. Fördelen med en rörlig rost är att det är lättare att kontrollera bränslematningshastigheten och därmed förbränningen då man kan reglera hastigheten på rostern. En kombination av dessa båda tekniker är den rörliga snedrostern. Det antas att en sådan panna ger en mer komplett förbränning av bränslet eftersom det blandas kontinuerligt då det faller samtidigt som rostern kan regleras. En annan typ av rörlig rost är wanderrostern. Här består rostret av stavar som bildar en matta som rör sig genom pannan. [1]. Figur 13 visar en rost där förbränningens olika faser äger rum i olika zoner på rostern.



Figur 13. Förbränningsbädd på en roster. De olika skedena överlappar varandra eftersom drivkraften bakom tork-och pyrolysisprocessen (flykt) är strålning uppifrån. [39]

Figure 13. Combustion bed of a grate boiler. The different phases overlap each others since the working force behind drying and gasification is radiation from above.

När det gäller stråbränslen är rostförbränning användbar. Stråbränslen i hackad form eller i hela balar kan förbrännas i en rosterpanna. Vid så kallad cigarreldning så knuffar balarna varandra framåt och förbränns eftersom i pannan.

Den största utmaningen med att elda halm i balar på en rost är att få till en jämn förbränning av bränslet. Balarnas densitet och fukthalt varierar samtidigt som inmatningsmetoden kan vara oregelbunden. Det innebär att ångproduktionen, ångtemperaturen, emissioner, oförbränt i aska och slagg etc varierar. [9] Vid eldning med hela balar blir förbränningen på grund av inmatningssättet diskontinuerlig. Av den anledningen bör denna typ av förbränning endast äga rum vid full last. [10]

Rörflen har visat sig fungera dåligt att elda i helbalspannor. På grund av askans benägenhet att bilda skelett så sker lätt ofullständig förbränning av bränslet. Förbränningsanläggningar för halm kan dock i allmänhet även hantera rörflen i hackad form. [5] Det innebär att anläggningen kan reducera sina kostnader eftersom rörflenet kan hanteras med samma maskiner som halmen. Dessutom ökar det möjliga bränslespektrat och gör anläggningen mindre utsatt vid brist på halm. [11]

Provelldning i Danmark med rörflen dels i helbal (Ringsteds anläggning med 4,5 MW) och dels som löst gräs (Nykøbings rosterpanna på 4,0 MW) gav emissioner av CO och NO_x som låg högt över acceptabla värden. Anledningen är förmodligen bränslets låga densitet samt fukthaltsvariationer i materialet som gav upphov till ojämn förbränning med höga emissioner. [12] Andra försök med cigarreldad rörflen medförde inga tekniska problem jämfört med halm. Även lös rörflenshalm i en rosterpanna gav samma goda resultat. [12] [13] Erfarenheten vad det gäller eldning med rörflen skiftar med andra ord. I mindre pannor har förbränning av rörflensbriketter och pellets fungerat bra. Speciellt om pannorna var anpassade till bränslen med höga askhalter.

Vid försök på en wanderrost i Arlöv sameldades spannmål (vete) med olika andelar kol. Spannmål låg underst på rostern och kol överst. Med en energiandel spannmål på 60 % kan en maximal panneffekt på 70-75 % av nominell panneffekt uppnås (nominell effekt med kol i pannan var 28 ton ånga/timma). Försök med att elda en förblandad spannmål/kolbränsleblandning på en wanderrost gav problem med koldammning om blandningens mellanlagringstid var för lång då spannmål absorberade kolets ytfukt. [14]

Vid rosteldning används salix ofta som inblandning i bränslemixen utan problem. När salixen har varit grövre fördelad har det dock ibland uppstått våldsamt förbränning och genomblåsningar på rostern då det grövre bränslet inte har täckt bränslebädden lika bra som övriga bränslen som använts (Mjölby energi, 14 MW tillfört bränsle). [7] [14]

10.1.3 Fluidiserad bädd

Många nya biobränsleeldade pannor som byggs idag är fluidbäddpannor, speciellt när det gäller större pannor (>20 MW). De kan utan större problem eldas med en rad olika bränslen så länge som bäddtemperaturen effektivt kan kontrolleras. [8] En cirkulerande fluidbädd kan byggas mer kompakt jämfört med en vanlig FB-panna. Den klarar även av högre ask- och stofthalter men är endast ekonomiskt lönsam vid högre effekter. [16]

En cirkulerande fluidbädd ger också jämfört med en BFB-panna bättre omblandning mellan luft, bränsle och bäddmaterial och därmed bl.a. jämnare temperaturfördelning.

En fördel med fluidbäddar jämfört med rostpannor är att bränslen med högre fukthalt kan användas. Att enbart elda halm i en fluidbäddpanna kan skapa stora problem på grund av bränslets höga alkalihalt. Det är stor risk att bädden sintrar, se kapitel 10.2. Halm kan dock blandas med annat bränsle, till exempel träpellets, om det ska eldas i en fluidpanna. [16]

Salix har eldats i cirkulerande fluidbäddpannor med ganska gott resultat. Två stora pannor (Örebro med 180 MW tillfört bränsle och Eskilstuna med 63 MW tillfört bränsle) har använt salix i mindre mängder som samförbränningsbränsle till huvudbränslet. Erfarenheter från bubblande fluidbäddpannor har gett indikationer på att bränslet flyter upp ovanpå bädden. [7] [14] [17]

10.1.4 Förbränningsteknikernas lämplighet

Sammanfattningsvis så kan lämpligheten för att förbränna energigrödor med olika förbränningstekniker presenteras enligt Tabell 9. Den baserar sig på de erfarenheter som i dagsläget finns kring de olika grödorna.

Tabell 9. Den relativa lämpligheten för olika energigrödor att eldas med olika förbränningstekniker.

Table 9. The relative suitability for different agro crops to be fired with different combustion techniques.

Bränsle \ Förbränningsprincip	Halm	Salix	Rörflen	Spannmål	Hampa
Fast rost	+	+	+	+	+
Rörlig rost	+	+	+	+	+
Pulverbrännare	+	0	+	+	+
Bubblande fluidbädd	-	++	i.u.	i.u.	i.u.
Cirkulerande fluidbädd	-	++	i.u.	i.u.	i.u.

Förklaring: (--) Ej möjlig, (-) Ej lämplig, (0) Nackdelarna kompenseras till en viss utsträckning av fördelarna, (+) Lämplig, (++) Mycket lämplig, (i.u.) ingen uppgift

Ett annat sätt att diskutera olika förbränningstekniker är att utgå från bränslets form. Tabell 10 ger en översikt över hur strån, pellets, briketter, pulver och hela balar kan hanteras i de olika förbränningsteknikerna.

Tabell 10. Den relativa lämpligheten hos olika förbränningstekniker för olika typer av form på energigrödebränslen med avseende på värmeproduktion

Table 10. The relative suitability of different combustion techniques regarding the shape of the agro crop fuel when producing heat

Bränsleform Förbränningsprincip	Strån	Pellets	Briketter	Pulver	Hela balar
Fast rost	-	+	+	--	+
Rörlig rost	+	++	+	--	+
Pulverbrännare	-	++*	++*	++	--
Bubblande fluidbädd	0	+	+	-	--
Cirkulerande fluidbädd	0	+	+	-	--

Förklaring: (--) Ej möjlig, (-) Ej lämplig, (0) Nackdelarna kompenseras till en viss utsträckning av fördelarna, (+) Lämplig, (++) Mycket lämplig

*bränsle som pulvrerats och sedan bearbetats till brikett- eller pulverform kan användas i pulverbrännare om malning sker innan förbränningen

10.1.5 Generella aspekter

Effektiv förbränning kräver en optimal balans mellan bränslet och den förbränningsteknik som används. Förbränningen måste vara rätt inställd och anpassad till det bränsle som eldas. Speciellt är det viktigt att se till att syrehalten och bränslemängden är anpassade efter varandra. En anläggning som är utrustad med avancerad reglerteknik gör det teoretiskt sätt lättare att använda bränslen med sämre kvalitet. Oftast är det större anläggningar som har bra resurser för att kunna kontrollera processen. I och med att bränslekostnaderna blir lägre kan det kompensera för de dyrare investeringar som gjorts i anläggningen med till exempel avancerat kontrollsystem. [1]

En viktig skillnad mellan de olika panntyperna är temperaturen i eldstaden. Närmast rostern i en rosterpanna är temperaturen runt 1100°C, lokalt något högre, och till en stor del med reducerande förhållanden. I en fluidbädd är bäddtemperaturen relativt konstant mellan 750 – 900°C. Temperaturen begränsas genom interna värmeväxlarytor och rökgasrecirkulering. Skillnaden i förbränningstemperatur resulterar i olika sammansättning på det stoft, oförbrända partiklar och de aerosoler som når upp till värmeöverföringsytan. Vid lägre förbränningstemperatur i fluidbäddar blir de bildade partiklarna större och andelen föreningar som förångas lägre. Omblandningen i bädden är bättre än i en rosterpanna vilket gör att förbränningen sker under relativt konstanta förhållanden. [2]

10.2 Askrelaterade problem

Utifrån ett tekniskt perspektiv är de största problemen med att använda energigrödor de beläggningar och avlagringar som bildas i pannan och efterföljande rökgassystem.

10.2.1 Slagg, påslag, sintring och agglomerering

Mängden aska och innehållet av askformande ämnen är viktiga parametrar för avlagringsformationer i pannan. Avlagringar kan delas upp i slagg och påslag.

Slagg är avlagringar i smält eller mycket trögflytande form. Det orsakas av att askpartiklar blir mer eller mindre kladdiga och fastnar vid varandra eller vid ytor i eldstaden. Slagg återfinns i de delarna av pannan som är utsatta för strålningsvärme. Påslag är avlagringar som byggts upp av alkaliinnehållande ämnen, främst aska, som har förångats och sedan kondenserats. Påslag återfinns i den svalare förbränningsregionen där värmeväxlarutrustningen är placerad. [18] [19]

Avlagringar har negativ påverkan på pannan. De minskar möjligheterna för värmeöverföring vilket leder till lägre pannverkningsgrad. Avlagringar kan växa och bli så stora att flödet i pannan begränsas och leder till mekanisk skada. De kan till exempel växa på rostern och försvåra askrensningen vilket kan medföra att anläggningen måste stanna. Beläggningarna kan även ge upphov till korrosion. [18] [19]

Sintring och agglomerering är andra termer som dyker upp när man talar om förbränning. Sintring definieras som ett fenomen där löst sammansatta partiklar blir till en tät kompakt massa. Agglomerering är en term som används för partiklar som sätts ihop i kluster vilka har större storlek än originalpartiklarna. [18] Agglomerering kan till exempel ge problem i fluidiserade bäddar. [19]

10.2.2 Faktorer som avgör risken för beläggningar

Askans smältförlopp avgör när bränslet riskerar att ge avlagringar eller sintra. Speciellt avgörande är den temperatur då askan smälter. [20] En låg begynnande asksmälttemperatur ger oftast stora problem med slaggbildning och påslag vid förbränning. [21]

Sambanden kring ett bränsles asksmälttemperatur är ytterst komplexa och kunskapen är begränsad. Man har dock kommit fram till att asksmälttemperaturen hos ett bränsle påverkas av både vilka ämnen det innehåller och förhållandet mellan olika ämnen, främst kisel, kalcium och kalium. Närvaro av kalium sänker asksmälttemperaturen, medan närvaro av kalcium höjer den. [19]

Studier kring halm och halmaska har visat att det finns ett samband mellan askans smälttemperatur och kvoten mellan koncentrationen av klor och av kalium i bränslet. Ju högre kvoten var, desto lägre var mjukningstemperaturen. Samtidigt har man konstaterat att både klor och kalium utlakas av regn. [20]

När det gäller påslag har askans sammansättning samt halter av svavel och klor stor betydelse. Beläggningarna kan också växa genom reaktioner mellan komponenter i beläggningen och rökgaser (till exempel SO_2 , CO_2 och HCl). [19]

Nedan följer en sammanställning av olika sätt att reducera beläggningar i pannan.

10.2.2.1 Mekaniska faktorer

Hur anläggningen är utformad kan även påverka graden av avlagringar i pannan. En vibrerande eller rörlig rost förhindrar att slaggbildning fastnar och försämrar förbränningen. [10] [19] En vattenkyld rost minskar också problemen med

slaggbildning. [9] Det sänker temperaturen på rostern vilket innebär att askans smältpunkt inte uppnås så lätt. [1] När det gäller brännare inträffar det att slagg bildas på och omkring lufthålen i brännare. För att undvika detta kan man välja brännare som har keramisk infodring eftersom de medför mindre sintring än till exempel kylda brännarrör. [19]

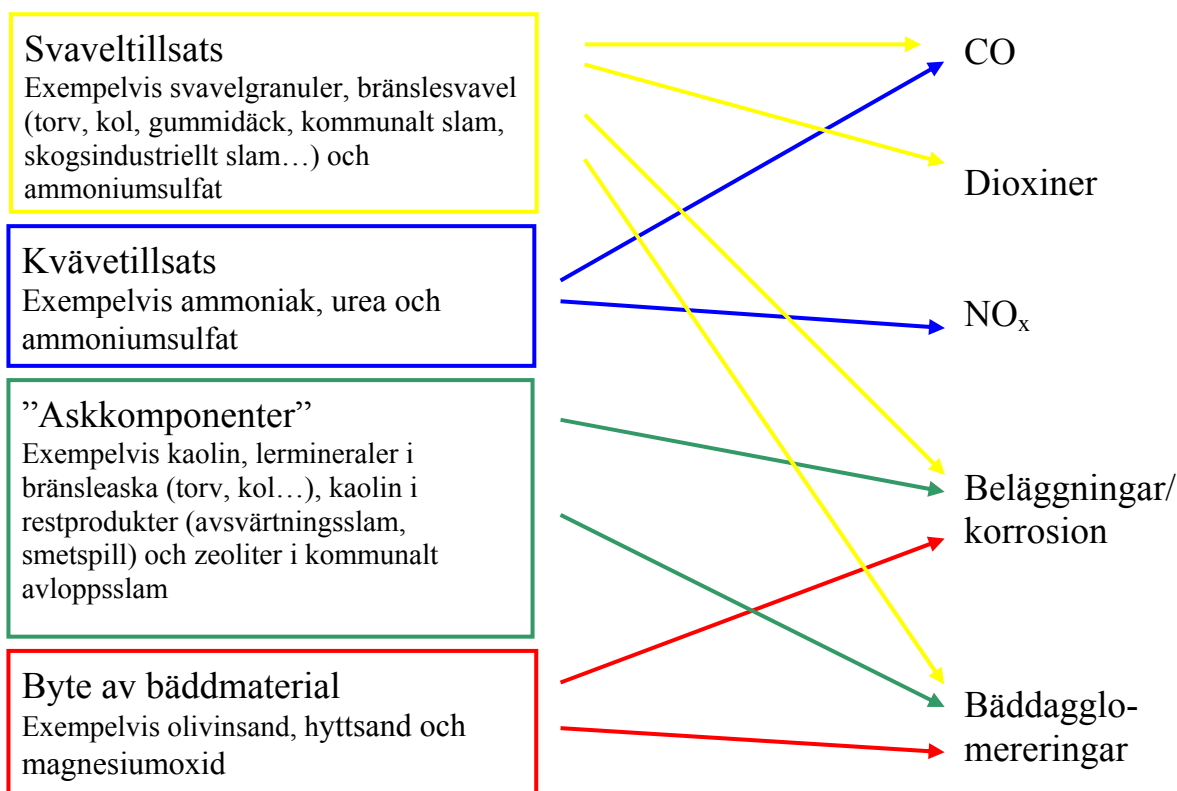
10.2.2.2 Additiv

För att förhindra att lättflyktiga ämnen inte följer med rökgasen upp i pannan och orsakar avlagringar kan additiv användas. De krav som ställs på additiv är att de har hög bindningskapacitet för alkali, binder snabbt och bildar stabila produkter. Dessutom bör de vara billiga och ha så liten påverkan på miljön som möjligt. [2]

Additiv kan användas på olika sätt:

- Kemisk bindning av alkali
- Adsorption på partiklar
- Sulfatering av alkaliklorider
- Minska bildningen av alkalisilikater i bädden

De olika angreppssätten kan ge olika synergieffekter. Det innebär att förutom att bäddagglomerering, beläggingsbildning och korrosion kan reduceras så påverkas även emissioner av andra ämnen som CO, TOC, dioxiner, SO₂ och NO_x. Detta illustreras i Figur 14. [23]



Figur 14. Angreppssätt för att förhindra alkalirelaterade problem och vilka synergieffekter som kan nås. Bearbetad [23]

Figure 14. Ways of preventing problems related to alkali and what synergy effects which can be obtained. Adapted from [23]

Kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) är en mineral som har visat sig vara effektiv för att fånga in alkalimetaller i heta rökgaser. Kaolin reagerar med kalium och bildar föreningar med högre smältpunkt. Avlagringarna får mindre klorhalt och är lättare att avlägsna. Mängden avlagringar behöver dock inte minska vid tillsats av kaolin eftersom det medför en ökning av antalet partiklar i rökgasen. [2] Kaolinet stannar inte i eldstaden utan följer med rökgasen. [22] Samtidigt kan en ökning av partiklar i rökgasen ibland leda till bortnötning av avlagringar.

Även svavel har visat sig kunna reducera beläggningsproblem och används oftast som ett additiv för att förhindra korrosion. Svavel reagerar med metallklorider, till exempel alkaliklorider, och bildar sulfater. Sulfater har oftast högre smältpunkt än klorider av samma metall och studier har visat att klorhalten i avlagringarna minskar kraftigt vid tillsats av svavel. [2] Insprutning av ammoniumsulfat ger betydligt mindre avlagringar, se Figur 15, men även mindre CO och NO_x. Svavlet kan tillsättas i elementär form i bränslet, som $\text{SO}_{2(g)}$ i förbränningsluften eller genom sulfatinsprutning. Ammoniumsulfatinsprutning har visat sig vara mest effektiv. [2]



Figur 15. Beläggningssond som utsatts för rökgasen i Munksunds CFB-panna. Bilden till vänster visar beläggningarna som bildas utan svaveltillsats och bilden till höger med svaveltillsats (ammoniumsulfat) [2]

Figure 15. Coating probes exposed to the flue gas at Munksund's CFB-boiler. The picture to the right shows the coating formed when not adding sulphur and the picture to the right shows the situation when sulphur was added.

Andra additiv som använts för att höja askans smältpunkt är kalksten (CaCO_3) och dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Dessa additiv binder svavel till bränslet och kan även användas för att reducera svavelemissionerna. [2]

10.2.2.3 Sameldning

Genom sameldning kan ämnen tillsättas som hämmar avlagringsrisken. Sameldning kan även leda till att klor, kalium och andra ämnen som lätt framkallar avlagringar späds ut och på så sätt leder till färre avlagringar i pannan. Sameldning med svavelrikt kol eller torv medför till exempel att beläggningsproblemen minskar. [2] När trä- och halmpellets samförbrändes i Chamlers 12 MW CFB-panna tillfördes rötat kommunalt avloppsslam. Vid 13 % inblandning av rötslam höjdes agglomereringstemperaturen från 940°C till 1067°C . [23]

10.2.2.4 Byte av bäddmaterial

Det är välkänt att för vanliga träbränslen som träpellets, GROT, bark etc, så minskar agglomereringstendenserna i FB-pannor vid byte av bäddmaterial från en kvartsrik natursand till ett kvartsfattigt bäddmaterial som till exempel olivinsand eller hyttsand. Detta har analyserats närmare i försök med samförbränning med halm- och träpellets (20 % halmpellets och 80 % träpellets) i Chalmers 12 MW CFB-panna. Genom att byta bäddmaterial från silversand till hyttsand minskade agglomereringsbenägenheten markant för både bottenbädds- och cyklonbensproverna. När sedan bottenbäddsprover gjordes fann man att agglomereringstemperaturen sjunkit ner till ca 1000°C troligtvis beroende på att askhalten i bädden blivit så hög att det är bränsleaskans egenskaper som slår igenom. Att byta till bäddmaterialet olivinsand hade inte lika bra effekt som byte till hyttsand. [23]

När olika energigrödor som salix och rörflen förgasats i en laboratorie-FB-panna visade det sig att oorganiska ämnen som löstes ut från bränslet reagerade med bäddmaterialet och att det var en förutsättning för att bädden skulle agglomerera. Om bäddmaterialet bestod av ett "överflöd" av dolomit så minskade mängden alkaliämnen i bädden. Dessa förflyktigades istället. Om bädden innehöll mycket silikat så bands de alkali som fanns i bränslet i bädden. Risken ökade därmed väsentligt att bädden skulle agglomerera. [24]

10.2.2.5 Förbehandling (malning - partikelstorlek)

Partikelstorleken har stor betydelse, inte bara för förbränningsprocessens fysikaliska egenskaper (flamläge på rostern, utbränningsgrad, etc.) utan även kemiska sådana. Partikelstorlekens påverkan på bränsleegenskaperna har undersökts i en studie. Rörflen och elefantgräs maldes i en kulkvarn till två olika storlekar, < 90 µm och 90-600 µm. I studien var det svårt att uttala sig om storleken på partiklarna har någon betydelse för beläggningstendensen men den mindre fraktionen av bränslet hade ett alkaliindex som tydde på en högre asksmälttemperatur. De båda storleksfraktionerna skiljer sig dock åt när det gäller en rad olika parametrar vilket tyder på att vissa av de ämnen som bränslet innehåller inte fördelar sig slumpmässigt mellan de olika partikelstorlekarna. De mindre partiklarna hade en högre koncentration av oorganiskt material och även en högre fukthalt jämfört med de större partiklarna. De hade i sin tur högre kolinnehåll och lägre kvävehåll vilket gav dem högre värmevärde. Flyktandelen var också större hos de stora partiklarna. Det gjorde att partiklarna betedde sig olika och de mindre partiklarna hade lägre pyrolystemperatur, lägre koksförbränningstemperaturer och gav en högre andel av katalytiska pyrolysspaltningssprodukter. [22]

Partikelstorleken kan även påverka processtemperaturen (partikeltemperaturen) och på så sätt askans smältbeteende. Studier har visat att en mindre partikelstorlek leder till ökad partikeltemperatur. När rörflen proveldades som briketter och pellets i en 180 kW rostpanna så visade det sig att partikeltemperaturen var relativt lika för de båda formerna. Istället så fann man att en betydligt större mängd oförbränt rörflen återfanns i askan när man eldade pellets. Det kan bero på att banden mellan partiklarna i pelletsarna var starkare och att tjära bildades inuti pelletsarna. [25]

10.2.3 Erfarenheter av energigrödor

10.2.3.1 Halm

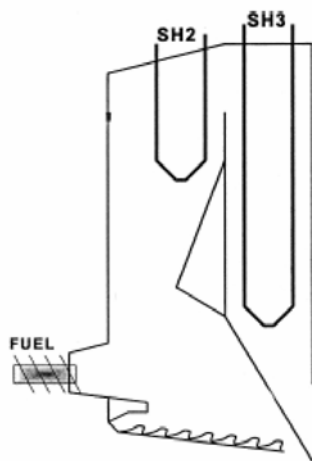
Bland halmsorterna ses oljeväxthalm och vete-halm som lätteldade bränslen medan havrehalm inte gärna tas emot. Halm som legat på slag och fått stora regnmängder på sig, så kallad grå halm, är att föredra medan halm som pressats samma dag som den tröskats, gul halm, helst inte skall förekomma. Anledningen är att kaliumhalten i strået sänks vid nederbörd, vilket i sin tur påverkar askans smältpunkt. [20] [29] Tyska studier har visat att vintervete och vinterråg bäst lämpar sig för förbränning [30]

Halm innehåller ämnen (Na, K, Mg) som ger låg asksmältpunkt. Temperaturen i rostpannor bör därför inte gå över 800 – 900°C eftersom askan kan klistra ihop sig. Sådana låga temperaturer är möjliga att uppnå med låga belastningar på rostern. [16] [31]

I Svalöv eldas 100 % halm med gott resultat. De beläggningar som bildas är lätta att sota bort och sotning sker en gång i månaden. Pannan är en lådpanna på 5 MW med rörlig rost. [44] Hos Sätenergi eldas även där halm till 100 % med gott resultat. Pannan, en rörlig rosterpanna på 4 MW, får inga beläggningar och man menar att det beror på att de har en panna som är anpassad för halmförbränning och inget annat. De har även fått utbilda bönderna att leverera halm som passar förbränningen och kan på så sätt undvika förbränningsproblem. Fukthalten är det viktigaste kriteriet vid leveransen. Halmen måste vara torr, högst 18 %. [45]

Jämförelser mellan att elda halm och hela plantan, det vill säga med strå och spannmålskärna, har visat att slaggbildningen minskar då hela plantan förbränns. Anledningen är att halten av kalium blir lägre i bränslet när hela plantan eldas. En annan fördel är att klorutsläppen minskar. Försöken genomfördes i de små tyska anläggningarna Jena (1,75 MW rost med balar som delas vid inmatningen) och Schkölen (3,15 MW cigarrförbränning). [31]

Nyare halmförbränningsanläggningar i Danmark har lärt sig av gamla misstag när det gäller att bekämpa avlagringar. Vid Masnedø's panna med vibrerande rost (8 MW_e och 21 MW_v) har överhettarsektionen designats så att överhettartuberna är parallella med rökgasflödet. Det reducerar påslagen men samtidigt även värmeöverföringskoefficienten. Det innebär att det krävs en större yta på överhettarna jämfört med om de hade suttit på tvären i rökgaskanalen. Ångtemperaturen är 520°C och överhettarna är placerade enligt Figur 16. [32]



Figur 16. Masnedø's panna och dess överhettarplacering [32]

Figure 16. Masnedø's boiler and the position of super heaters

Vid inblandning av torv med halm i ett samförbränningsförsök på liten skala i en 5 kW FB-panna ökade innehållet av järn, svavel och kalcium hos askpartiklarna. En utspädning och/eller faktisk reduktion av kalium hos de bildade askpartiklarna påverkade smältbeteendet och därmed agglomereringsrisken positivt. När torv blandades med halm på en liten rosterpanna reducerades slaggnings-tendensen. Det kan

förklaras med att halm är rikt på kalium och kisel. Höga kalcium till kiselkvoter i ett bränsle är att föredra för att minimera uppkomsten av slagning i rostpannor. Det krävs dock relativt höga inblandningsgrader av torv för att uppnå gott resultat när det gäller att undvika avlagringar och agglomerering (upp mot 40 vikts-%). [33]

Tester har gjorts där pannor som normalt eldas med kol sameldats med halm (Studstrups pulvereldade pannor på totalt 380 MW). Det visade sig att beläggningar på överhettarsektionen ökade i takt med att halmmängden i bränslet steg. Kaliumkloriden i pannan ökade vilket resulterade i avlagringar. Detta påverkade även korrosionsbenägenheten i pannan, se Kapitel 10.3.2. [2]

Vid bäddagglomereringsförsök i en liten 5 kW BFB-panna fann man att askpartiklarna från halmförsöken var aggregatknande och stora (> 5 mm) och var porösa. Askpartiklarna innehöll bränsleaska, oförbränt material och bäddmaterial fastklistrade på ytan. Bränslepartiklarna var rika på kisel och kalium och under utbränningen bildades lågsmltande och klibbiga kaliumsilikater som dels kan fästa vid andra bränslepartiklar, dels vid kolliderande bäddkorn. [27]

10.2.3.2 Spannmål

När det gäller spannmål har havre en asksmälttemperatur som liknar trädbränslens, det vill säga ca 1150 – 1380°C. Övriga sädeslag börjar smälta tidigare, vid ca 700-800°C. Vid försök har man konstaterat att när havre förbränns så bildas endast en lätt sintrad aska som liknar den som bildas vid förbränning av träpellets. Övriga spannmål bildade hård slagg som måste hackas loss. [19] Korn förefaller dock vara något bättre ur sintringssynpunkt än höstvet- och rågveteaskor. [21] Orsaken till havrens jämförelsevis höga asksmälttemperatur torde vara att den har en högre halt av kisel och en högre Si/K-kvot. Lägst halt av kisel har vete och råg. [19] De låga smälttemperaturerna innebär att det krävs speciell teknik för att uppnå en effektiv förbränning och samtidigt undvika risken för att askan smälter. [21]

Genom tillsats av kalk till vete och råg kan sintringsproblemen minska. Tanken är att kalken ska bilda kalciumfosfater vilka har högre initiala smälttemperaturer (ca 900°C) än kaliumfosfater (ca 700°C). En annan effekt av kalktillsats är att svavelutsläppen helt eller delvis kan försvinna. Svavlet binds med andra ord i askan när kalk tillsätts. I Danmark, där det är vanligare att man eldar rågvete (triticale) som har lägre asksmälttemperatur (ca 700°C), blandar man in 1-5 % kalk i bränslet för att höja smälttemperaturen. Sintringsrelaterade problem försvinner helt eller minskar betydligt om endast havre eldas. [19]

Eldningsförsök med spannmål vid användning av CFB-teknik har visat att spannmål kan användas som bränsle i en CFB om kalksten tillförs samtidigt. Under sex dagars provdrift i en 16 MW CFB-panna (Avesta energiverk) erhöles inga driftproblem. Inga sinterklumpar kunde konstateras i bäddaskan. I cyklon- och konvektionsdel kunde inte heller några påslag observeras. Temperaturen i reaktorn var 830-860°C och i cyklonbenen 890-910°C. I jämförelse med eldning av enbart träspån erhöles dock en högre emission av kväveoxider. [25] Havre kräver till skillnad från övriga spannmålsbränslen ingen kalkinblandning. [19]

Spannmålsavrens har även de en låg asksmältpunkt. Det har använts i Jordbros pulverpanna (80 MW) där pulvriserad pellets förbränts. Bränslet blev då ett fint pulver som gav bra utbränning. När det gäller beläggningar så bildades mycket sintrade askklumpar. [41]

Vid testkampanjer i Västhamnsverket med spannmål (vete, rågvete och korn) i en FB-panna (30 MW) så sintrade vete redan vid temperaturer kring 550°C. Korn fungerade relativt bra. Beläggningresultaten var dock ganska likartade och berodde på den låga asksmälttemperaturen. Både kalk och dolomit användes som additiv där den sistnämnda hade en viss positiv inverkan. Även olika bäddmaterial undersöktes där man varierade kornstorleken på sanden. [42]

10.2.3.3 *Salix*

Eldning av 100 % salix har i vissa FB-anläggningar fungerat utan problem medan andra fått sintring redan vid en mindre andel salix bränslet. [14] Vid försök i Chalmers 12 MW CFB-panna tycktes kalium anrikas något i kvartsbädden. Vid de aktuella temperaturerna reagerade kalium med kvarts och silikater bildades. Kaliumsilikater kan förorsaka smälta och därigenom bäddagglomerering. Detta blir ett problem om bäddmaterialet inte byts tillräckligt ofta. [17] [34]

Salix eldas med 10 %-inblandning tillsammans med stamveds- och lövflis i Flintrännan i Malmö (fast rosterpanna på 40 MW). De beläggningar som bildas är svampliknande men inte hårda eller glasartade. De fastnar på överhettartuberna. Då sotblåsning inte kommer åt dessa beläggningar kan det vara problematiskt att rena rökgaskanalerna. När inblandningen av salix uppgår till 30 % så blir det alltför mycket beläggningar i pannan. [46]

I Eskilstuna eldas 10 % salix i en CFB- och en FB-panna (57 MW respektive 110 MW). Salixen samförbränns med trädbränslen (GROT, bark, sågspån) i flisform. Vid testeldningar med upp till 15 % salix uppstod problem med beläggningar i pannan. Beläggningarna är dock ganska lätta att sota bort. [43]

Grenaas CFB-panna på 78 MW eldas med kol och halm. Bäddmaterialet (sand och flygaska från en näraliggande rostpanna som eldas med kol) byts ut i stort sett varje dygn. Anläggningen har inte haft så stora problem med bäddagglomerering. Förmodligen beror det på att bäddmaterialet byts ut så ofta och att temperaturen i pannan noga kontrolleras. När agglomereringsproblem har uppstått så har orsaken oftast varit felaktig reglering av anläggningen. [40]

Samförbränning med salix och torv i en liten 5 kW test-FB-panna har visat att halten kalium minskar samtidigt som kalciumhalten ökar vid ökand andel torv. Samtidigt höjs svavelhalten. Detta innebär att smältpunkten höjs och agglomereringstendensen minskar. Utifrån förbränningsförsöken i en pelletsbrännare (rosterförbränning) kunde däremot konstateras att inblandning av torv till det relativt kiselfattiga salixbränslet ökade slaggningstendensen. Tidigare forskning har visat att tillförsel av reaktivt kisel till kiselfattiga bränslen ökar risken för slaggbildning. Resultaten var goda när det gäller

bäddagglomerering och beläggingsbildning/korrosion i pannors konvektionsdelar redan vid relativt låga inblandningsgrader av torv (15-20 vikts-%). [33]

En studie har undersökt agglomereringsrisken utifrån faktorer som bäddkornsstorlek och fluidiseringshastighet. Vid agglomereringsförsök i bänkskala visade det sig att ökad fluidiseringshastighet gör att bädden agglomererar vid en högre temperatur. Mest markant var detta dock vid relativt låga fluidiseringshastigheter. Detta innebär att det i en kommersiell CFB-panna är så hög fluidiseringshastighet att gashastigheten troligtvis inte har någon signifikant påverkan på agglomereringsrisken. Även i BFB-pannor är fluidiseringshastigheten ofta tillräckligt hög för att inte ha någon signifikant effekt på agglomereringsrisken. [34]

10.2.3.4 Rörflen

Rörflen som skördas under våren har en högre asksmälttemperatur än om den skulle ha skördats under hösten. Anledningen är att alkalimetaller lakas ut under vintern samtidigt som halterna av svavel och klor sjunker. Genom att förskjuta skördetiden fram till våren så höjs asksmälttemperaturen från 1070°C till 1400°C. Kapitel 6.10 har mer utförligt beskrivit det vårskördade rörflenets bränseleegenskaper.

Vid testkampanjer inom TPS branschforskningsprogram sameldades rörflen i form av briketter i Eskilstunas 4 MW rosterpanna under några veckor med mycket gott resultat. Andelen rörflen uppgick till maximalt 25 %. [43]

När rörflen jämfördes med halm och hampa vid bäddagglomereringsförsök i en liten 5 kW BFB-panna visade det sig att rörflen hade den högsta askhalten. Det antas ha betydelse för defluidiseringsförloppet då de enskilda askpartiklarna hade en elementarsammansättning med ett lägre K/Si+Ca-förhållande, vilket medför en lägre smältandel vid rådande temperatur och därmed troligtvis en mindre klubbighet än fallet för halm och hampa. [27]

Samförbränning med kol har provats. När rörflen tillsattes så höjdes askans smälttemperatur jämfört med om enbart rörflen skulle ha eldats. Däremot så bildades askskelett vilka fastnade och försvårade askutmatningen. [5]

10.2.3.5 Hampa

Hampa har enligt bränsleanalyser en asksmälttemperatur som är på en nivå som gör att problem med beläggningar i pannan bör vara små. [4]

Vid kontrollerade bäddagglomereringsförsök med halm, rörflen och hampa i en 5 kW BFB-reaktor jämfördes deras agglomereringstendens med varandra och även med bäddmaterialet. Bäddmaterialet skiftade mellan natursand (kvarts, plagioklas och kalifältspat) och alternativa bäddmaterial som olivin. Av de tre bränslena hade halm högst agglomereringstendens följt av rörflen och hampa. Jämfört med skogsbränslen som tidigare analyserats i samma panna agglomererade rörflen och hampa något mer än vanliga skogsbränslen medan halm hade en betydligt kraftigare agglomereringstendens. Bäddmaterialen gav inte upphov till några signifikanta skillnader vid bäddagglomereringsförsöken. [27]

Hackad hampa har eldats i testkampanjer i Sätenergis 4 MW rosterpanna med gott resultat. [45]

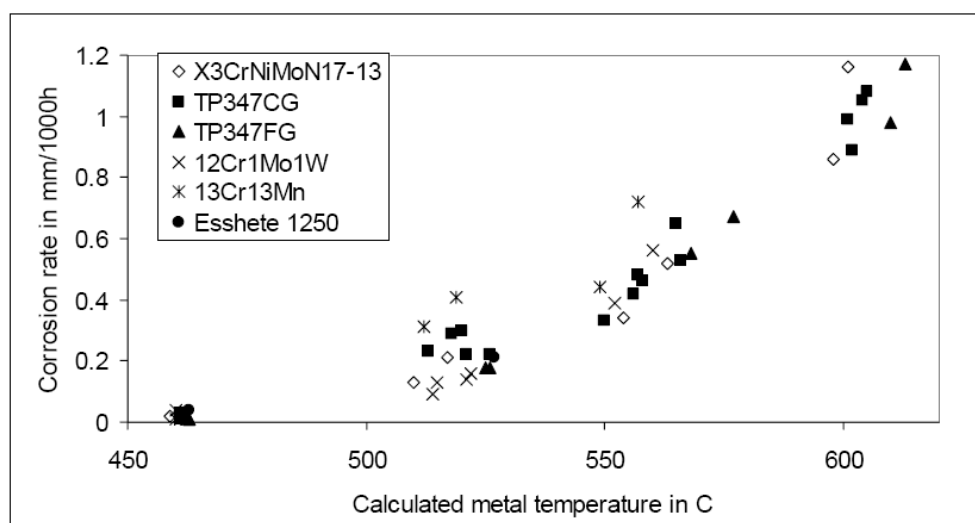
10.3 Korrosion

10.3.1 Vad orsakar korrosion?

Korrosion orsakas främst av kalium och klor. Samtidigt spelar materialet och förbränningsmiljön roll för korrosionsbenägenheten. Temperaturerna i rökgaser och värmeöverförande ytor samt sammansättningen i rökgaser och flygaska medför att det bildas avlagringar. Avlagringarna bidrar till förhöjd korrosionstakt genom att underlätta transporter av reaktanter till korrosionsprocesser vid metallytan. De innehåller också smälta salter som är klibbiga och ökar tillväxthastigheten. Saltsmältan förmår dessutom att bryta upp befintliga oxidskikt och kan därigenom ytterligare bidra till korrosionen. [2]

Högtemperaturkorrosion uppstår främst på överhettare som producerar ånga med minst 400°C. De heta ytorna gör att vissa alkaliföreningar smälter. Kaliumklorid har en avgörande roll för andelen smälta i avlagringar. Det är större risk för högtemperaturkorrosion när förbränningen lyfts till överhettarregionen. Stråkbildning, reducerande förhållanden, stegad förbränning och korta uppehållstider gör att det lättare blir korrosion. [19] Torra bränslen och bränslen med en hög flyktandel, till exempel energigrödor, riskerar bilda stråk med lägre syrehalt och därmed annan rökgassammansättning. För att motverka detta kan lufttillförseln modifieras och flera bränsleinmatningspunkter användas. [2]

Korrosionsnivån stiger i takt med att temperaturen på överhettarmetallen ökar. När temperaturen är kring 460°C är korrosionsnivån låg medan den stiger när temperaturen ökar, se Figur 17. [2] Temperaturen där korrosionsnivån börjar stiga beror också på bränslet och pannutformningen.



Figur 17. Korrosionsnivån relativt metalltemperaturen för 12 – 18 % Cr stål vid en undersökning vid Masnedø's halmeldade panna. [2] Observera att metalltemperaturen troligtvis är högre än överhettningstemperaturen.

Figure 17. Level of corrosion in comparison with the average temperature for 12 – 18 % Cr steel during an investigation at Masnedø's straw fired boiler. Please observe that the temperature of the metal probably is higher than the super heater temperature.

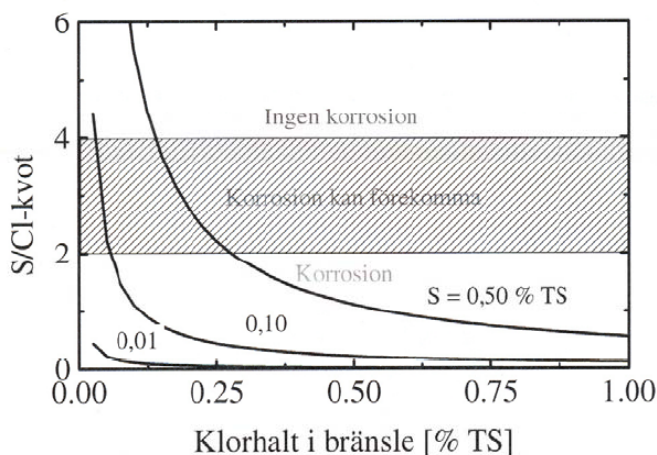
Lågtemperaturkorrosion är oftast ett problem för pannor som eldar biobränslen med hög fukthalt och låg förbränningstemperatur, speciellt om svavelhalten ständigt är hög. Det kan uppstå i olika anläggningsdelar från konvektionspartiet till skorstenen. [19]

En tredje typ av korrosion är eldstadskorrosion. Den kallas även kolmonoxidkorrosion och uppträder vid höga halter av kolmonoxid orsakade av luftunderskott. Genom att utforma brännare och lufttillförsel på sådant sätt att reducerande förhållanden undviks längs väggarna minskar risken för korrosion. Höga klorhalter bidrar till eldstadskorrosion. Speciellt stegad förbränning innebär en ökad risk för eldstadskorrosion. [19]

10.3.1.1 Additiv

På samma sätt som avlagringar kan förhindras eller begränsas så kan additiv även reducera risken för korrosion. Genom att förhindra att alkaliklorider fastnar på värmeöverförande ytor så minskar korrosionen.

Försök har visat att kloridhalten i beläggningar blir avsevärt mindre vid svaveltillsats. Det har visat sig att förhållandet mellan svavel och klor framförallt är kopplat till risken för högttemperaturkorrosion. För att minska risken för korrosion bör alkaliklorider konverteras till alkalisulfater innan rökgasen når överhettartuberna. Alkalisulfater är mer stabila och mindre korrosiva vid normala överhettartemperaturer under 600°C. När den totala mängden tillgängligt svavel i rökgaserna ökar så minskar också risken för korrosion orsakad av alkaliklorider. I studierna föreslogs att molförhållandet för svavel/klor (S/Cl) i bränslet bör vara minst 4 för att uppnå försumbara klorhalter i beläggningarna och därmed eliminera korrosion från denna källa, se Figur 18. [2]



Figur 18. Korrosionsrisken vid olika S/Cl-kvoter [2]

Figure 18. Risk of corrosion at different S/Cl ratios

Även kaolin kan användas för att fånga in alkalimetaller och på så sätt minska korrosionen. Additivet är dock relativt dyrt och används i dagsläget inte som additiv i kommersiella pannor. Kaolin och andra liknande mineraler återfinns dock i vissa torvkvalliteter. Sameldning med torv kan med andra ord bidra till positiva effekter både på grund av mineralinnehållet samt dess relativt höga svavelhalt. [2]

Sameldning med kol har visat sig ge positiva effekter. När träbränsle och kol samförbrändes i Chalmers 12 MW CFB-panna påvisades en lägre reaktivitet för kalium till klor jämfört med ren biobränsleförbränning. Inblandningen av kol minskade avsevärt mängden kaliumklorid i både flygaskan och på beläggningssonden. I samma panna har även sameldning med avloppsslam testats. Försöken visade att med inblandning av slam vid biobränsleförbränning minskade de kaliumkloridrelaterade beläggningarna på värmeöverförande tuber radikalt, även vid relativt små slammängder. [2]

10.3.1.2 Förbränningstekniska åtgärder

För att undvika korrosion kan förbränningstekniska åtgärder tas till. Att förbättra slutförbränningen och undvika stråkbildning är till exempel mycket viktiga åtgärder för att minska risken för högttemperaturkorrosion. Genom att förbättra styrningen av primär- och sekundärluft eller bränsleinmatningen kan förbränningen förbättras. Vid samförbränning är det särskilt viktigt att de olika bränslena är väl blandade så att bränslet har en jämn kvalitet och fukthalt. På så sätt undviks övertemperaturer och/eller syreunderskott som leder till CO-toppar. För att få en jämn bränsleinmatning är det en fördel om det finns flera parallella linjer. För att skydda eldstadsväggarna mot korrosion kan en åtgärd vara att tillsätta luft i så kallade lufttridåer. På så sätt minskar risken för att syrefattiga områden ska uppstå vid väggarna. [2]

Andra möjligheter att förbättra förbränningen är att förlänga bränslets uppehållstid i pannan och på så sätt förhindra att förbränningen förskjuts bakåt vilket bidrar till korrosion och beläggningar. [47]

10.3.2 Erfarenheter

På grund av relativt korta testkampanjer med energigrödor kan det vara svårt att avgöra bränslets korrosionsbenägenhet. Vid samförbränning är det också svårt att avgöra vilken direkt inverkan som energigrödan hade på eventuellt uppstådd korrosion.

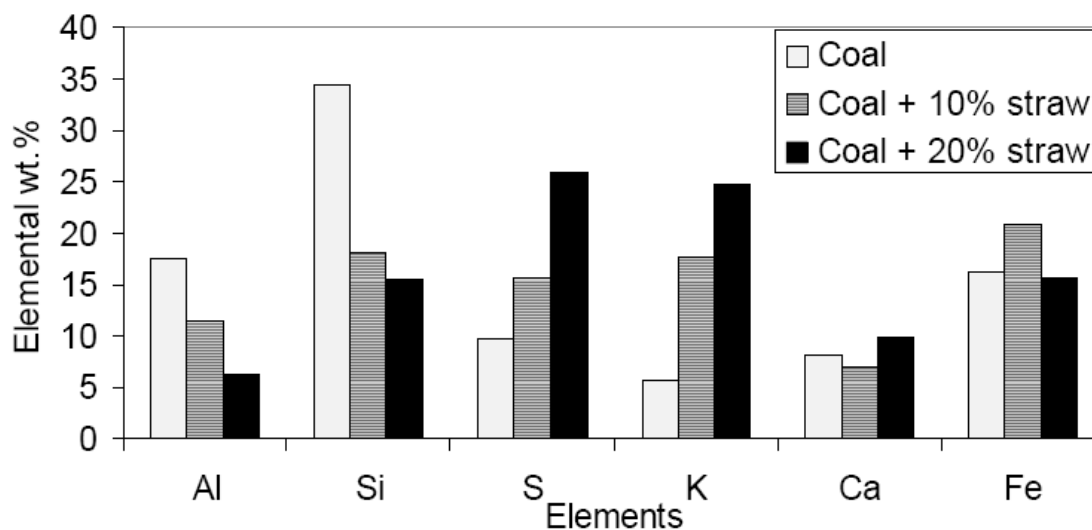
10.3.2.1 Halm

När det gäller halm så spelar väderleken vid skörden in på bränslets korrosionsbenägenhet. Halten klor och kalium är särskilt hög under år då lite nederbörd fallit veckorna innan skörd. Detta ger problem med korrosion. [36]

När halm förbränns kondenserar KCl och K_2SO_4 på känsliga komponenter i anläggning, till exempel överhettare. Erfarenheter från danska anläggningar visar att korrosionsgraden är låg vid 460°C då ett skyddande kromrik järnoxid formas. När temperaturen ökar upp till 525°C blir korrosionsgraden mer linjär med avseende på temperatur, se även Figur 17. En hög rökgastemperatur ger en högre värmeöverföring. Det påverkar också tjockleken på avlagringarna samt avlagringarnas morfologi och sammansättning. Dessa faktorer påverkar risken för att smälta avlagringar ska formeras vilket kan leda till snabbare korrosion. [2]

Ju högre ångdata som en anläggning kör med, desto högre blir korrosionsnivån. För att hålla korrosionen på en acceptabel nivå måste ångtemperaturerna vara under 490-500°C vid 100 % halmförbränning. Samtidigt är det av fördel om eldstadsväggarna är kylda så att väggtemperaturen inte överstiger 510 – 520°C. [32] [36]

När halm samförbrändes med kol i olika mängder i Studstrups pulvereldade anläggning (+ 10 % och + 20 %) under 300 timmar ändrades sammansättningen av askans huvudkomponenter, se Figur 19. [2]



Figur 19. Den genomsnittliga sammansättningen av huvudämnen i askan som lagrats på korrosionstesttuber vid undersökning med SEM-EDS analys [2]

Figure 19. Average composition of the main substances in ash. The ash formed layers at corrosion probes during an investigation with SEM-EDS analysis

Huvudkomponenterna som detekterats i askan var aluminium, kisel, svavel, kalium, kalcium och järn. Medan aluminium och kisel minskar när andelen halm i bränslet ökar, så höjs andelen svavel och kalium. Man kunde inte upptäcka klor i avlagringarna. Studien visar att vid 10 % eller 20 % halminblandning så minskar korrosionsnivån jämfört med en halmeldad panna och närmar sig istället de nivåer som är i koleldade kraftverk. [2]

Genom att byta ut pannväggarna en meter upp från bädden med syrafast stål har risken för eldstadskorrosion minskat betydligt hos Sätenergis 4 MW rosterpanna som eldar 100 % halm. Samma stål har även satts in i skorstenen för att förhindra lågtemperaturkorrosionen. [45]

10.3.2.2 Spannmål

När det gäller spannmål har lågtemperaturkorrosion främst uppmärksamats, speciellt i form av punktfrätning. Det tyder på att klor är en viktig parameter. Även svavel kan vara inblandad som bidragande orsak till korrosion. Spannmålskärna innehåller mer svavel och klor än till exempel träpellets. Svavlet avgår till största delen som svaveldioxid, SO_2 vilket i konvektionsstråk till viss del omvandlas till SO_3 . Denna kan i sin tur vid lägre temperaturer bilda svavelsyra. Kloret i bränslet blir väteklorid, HCl , vilket återfinns i punktkorrosion. [19]

Korrosion kan uppstå snabbt och i stor omfattning. Vissa anläggningar drabbas snabbt av korrosionsskador på insatsrör, asklådor eller skorstensavlutningar medan andra fungerat i flera år utan några som helst problem. [19]

10.3.2.3 *Salix*

När direktskördad salix med hög fukthalt eldas i en rosterpanna kan antändningen av bränslet fördröjas. Det innebär att avgasningen förskjuts längre ned på en roster och gasförbränningen flyttas i eldstaden. [7] Ett genomsnittligt salixbränsle innehåller relativt mycket kalium och fosfor jämfört med trä. [2] Man har även funnit svavel och klor i beläggningar på tubytor. Svavel och klor kan tillsammans med kalium bilda en påtaglig smälta vid 550-600°C vilket innebär risk för korrosion på värmeväxlartuber och andra ytor på rökgassidan i en CFB-anläggning. [17] [34]

10.3.2.4 *Rörflen*

Det finns inga dokumenterade resultat om korrosion vid förbränning av rörflen.

10.3.2.5 *Hampa*

Det finns inga dokumenterade resultat om korrosion vid förbränning av hampa.

10.4 Askans kvalitet beroende på förbränningsmetod och bränsle

Energigrödor har ofta högre askhalt än trädbränslen. Det påverkar processen och anläggningens resultat negativt; bränslet får ett lägre värmevärde, det krävs bra askutmatningsutrustning och det innebär höga kostnader för att ta hand om den stora askmängden.

Förbränning ger dels så kallad bottenaska, det vill säga aska som ramlat ner till botten av pannan, och dels flygaska, som separerats från rökgaserna. Vid förbränning följer de lättare partiklarna med rökgasen medan de tyngre ramlar ner och samlas i bottenaskan. Flygaskan består även till en viss del av komponenter som befunnits i gasfas och som sedan kondenserar när temperaturen sjunker. [37] På grund av att energigrödor har en högre andel flykt än kol så bildas mindre koks vid förbränningen jämfört med kol. En större andel av bränslet brinner med andra ord i gasfas för energigrödor jämfört med kol. [1] [10]

Fördelningen av ämnen mellan botten- och flygaska beror på faktorer som panntyp, förbränningstemperatur, den lokala atmosfären (oxiderande eller reducerande förhållanden), uppehållstiden i pannan och tillsatsen av additiv. [2]

Stoftmängden i rökgaserna blir speciellt höga vid förbränning i CFB. Även om huvuddelen av bäddmaterialet avskiljs i cyklonen så kommer många partiklar mindre än ca 10 µm att följa med rökgaserna. [2] vid förbränning av biobränslen i en fluidiserad bädd består askan till övervägande del av bäddsanden.

Vid bäddagglomereringsförsök i en liten 5 kW BFB-panna fann man att askpartiklarna skiljde sig åt mellan halm, rörflen och hampa. Askpartiklarna från halmförsöken var aggregatknande och stora (> 5 mm) och var porösa. De innehöll bränsleaska, oförbränt material och bäddmaterial fastklistrade på ytan. Bränslepartiklarna var rika på kisel och kalium och under utbränningen bildades lågsmltande och klibbiga kaliumsulfater som dels fäste sig vid andra bränslepartiklar och dels vid kolliderande bäddkorn. Rörflen- och hampaaskorna hade å andra sidan askpartiklar som var i form av tunna stickor i fin fraktion. Dessa askor återfanns i bädden.[28]

För en närmare beskrivning av askans sammansättning hos de olika energigrödorna, se kapitel 13

10.5 Pågående forskning

Flera värmeforskningsprojekt har anknytning till förbränning av energigrödor. Inom programmet Processtyrning utvärderas till exempel för närvarande nyttan med kamerabaserad flamfrontsstyrning i rosterpannor. Försök görs i en biobränsleeldad anläggning, där flamfrontens position detekteras med en kamera och justeras med hjälp av ökade/minskade frekvens på bränsleinmatningssystemet. Det övergripande målet med projektet är att dels kvantifiera hur mycket flamfrontsstyrning/stabil flamfront påverkar olika processparametrar, och dels att visa på möjligheter med att kunna använda en mer varierande bränslekvalitet, framför allt med avseende på fukthalt, med bibehållna/förbättrade emissionsnivåer och askkvaliteter.

Ett värmeforskningsprojekt inom Fukthaltsprogrammet studerar möjligheten att använda IR sensorer för att mäta egenskaper hos flammen. Syftet är att utveckla en billig teknik som kan ersätta dyra system för massflödesmätning. IR sensorn kommer att ge samma information som massflödesmätningssystem och kan på så sätt integreras i regleringen av förbränningsprocessen.

Inom Värmeforsks basprogram Anläggnings- och förbränningsteknik pågår forskning för att minimera alkalirelaterade problem. Etapp 1 återfinns som referens Davidsson K, Eskilsson D, Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kassman H, Steenari B-M, Åmand L-E; ”Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem; Ramprogram”, Värmeforskrapport 997 december 2006 och etapp 2 pågår för närvarande. I etapp 2 studeras metoder för hur alkalirelaterade problem kan minimeras. Rötslam, ammoniumsulfat, kaolin, zeoliter, torv, avsvärtningslam och kolaska tillsätts i processen vilken sedan analyseras. Som bränsle används bland annat halm och för att ytterligare få upp klorhalten tillsätts PVC i bränslet.

Inom TPS Branschforskning pågår för närvarande försök med att elda rörlensbriketter i en 4 MW rosterpanna i Eskilstuna. Syftet med projektet är att ta fram en metod hur nya bränslen kan introduceras i en rosterpanna. Samtidigt mäts emissioner, påslag, panndata och askinnehåll. En rapport väntas vara klar i höst.

För närvarande undersöks möjligheten att använda Vattenfalls patenterade ChlorOut koncept i en pulvereldad panna vid eldning av halm. Vid ChlorOut sprayas en ammoniumsulfatlösning in i pannan och alkalikloriderna omvandlas till alkalisulfat. Syftet är att minska mängden alkaliklorid i rökgasen då anläggningen måste stoppas för rengöring på grund av kraftig beläggingsbildning varannan vecka. Med hjälp av mätningar med IACM (In-situ Alkali Chloride Monitor) har man kunnat visa att KCl-halten minskar vid dosering. Resultaten är nu under utvärdering.[48]

Mälardalens högskola genomför ett projekt där förbränning av raposolja från Ecoil undersöks i Kungsörs 5 MW panna och i en liten panna (30 – 70 kW) i Västerås. Normalt eldas gasol och dieselolja i pannorna. Emissionerna och värmeproduktionen vid förbränning av raposolja kommer att utvärderas jämfört med förbränning av fossila bränslen.

Framställning av fordonsbränslet RME (rapsmetylester) förväntas öka. I Norrköping pågår idag en etablering av en större industri för framtagning av RME av företaget Swedish Bioenergy AB (dotterbolag till Scanoil). Anläggningen planeras att starta under 2007 och förväntas producera 325 000 ton biodiesel och 450 000 ton pelleterad rapskaka per år. Med syfte att fastställa förbränningsegenskaperna hos rapskaka pågår för närvarande ett projekt finansierat av Värmeforsk, "Förbränningskaraktärisering av rapskaka och förslag till optimalt nyttjande i olika förbränningsanläggningar" som ska vara klart oktober 2007. I projektet ingår bränslekaraktärisering och proveldning i bänk- och pilotskala, samt rekommendationer för optimala mixar mellan rapskaka och traditionella biobränslen. Flera värmeverk i regioner har uttryckt intresse för framtida proveldning i fullskala.

10.6 Referenser

- [1] Kavalov B & Peteves S D; "Bioheat applications in the European Union: an analysis and perspective for 2010", European Commission DG JRC Institute for Energy Petten 2004
- [2] Henderson P, Ifwer K, Stålenheim A, Montgomery M, Högberg J & Hjörnhede A; "Kunskapsläget beträffande högtemperaturkorrosion i ångpannor för biobränsle och avfall", Värmeforskrapport 992 december 2006
- [3] Olsson R, Rosenqvist H, Vinterbäck J, Burvall J & Finell M; "Rörflen som energi- och fiberråvara, en system- och ekonomistudie", BTK-rapport 2001:4 Umeå 2001
- [4] Burvall J; "Tillverkning och proveldning av rörflenpulver – ett fullskaleförsök", Röbbäcksdalen meddelar, Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap Rapport 8 1993
- [5] Johansson H; "Resultat av forskningsprogrammet Stråbränsle" Stockholm maj 1997
- [6] Stridsberg S & Segerud K; "Pulvereldning kol/rörflen/mald bränslekärna", Värmeforskrapport 566 mars 1996
- [7] Strömberg B; "Bränslehandboken" Värmeforskrapport 911 mars 2005
- [8] Maniatis K; "R&D Needs for Bioenergy" IEA Bioenergy REWP seminar 3 mars 2005
- [9] Sørensen L H; "Straw-fired Combined Heat and Power Plant", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 103-113
- [10] Hartmann H; "Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 62-84
- [11] Nilsson D & Hansson P-A; "Influence of various machinery combinations, fuel properties and storage capacities on costs for co-handling of straw and reed canary grass to district heating plants", Biomass and Bioenergy 20 2001, 247-260

-
- [12] Geber U, Tuvevsson M; "Vallväxters egenskaper som producenter av energi- och fiberråvara och som biologiska renare av näringsrika vatten", SLU Serie Växtodling 1993
 - [13] Burvall J; "Provförbränning av energigräset rörflen vid två kommersiella halmeldade anläggningar i Danmark", Värmeforskrapport 440 juli 1992
 - [14] Rudling L; "Spannmålsförbränning på wanderrost", Värmeforskrapport 414 december 1991
 - [15] Hjalmarsson A-K, Ingman R; "Erfarenheter från förbränning av salix", Värmeforskrapport 631 mars 1998
 - [16] "Energie aus Biomasse", Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe E.V. Gülzow april 2002
 - [17] Sifris G, Gärdenäs S, Skrifvars B-J & Backman R; "Förbränning av salix i CFB", SLF rapport nr 23, 1995
 - [18] Paulrud S; "Upgraded Biofuels – Effects of Quality on Processing, Handling Characteristics, Combustion and Ash melting", Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Umeå 2004
 - [19] Rönnbäck M & Arkelöv O; "Tekniska och miljömässiga problem vid eldning av spannmål – en förstudie", SLF januari 2006
 - [20] Hadders G; "Förändringar under skördeperioden av bränsleegenskaper hos halm", JTI-rapport Jordbrukstekniska institutet Nr 186 1994
 - [21] Hadders G, Arshadi M, Nilsson C & Burvall J; "Bränsleegenskaper hos spannmålskärna, betydelsen av jordart, sädesslag och sort", JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 289 2001
 - [22] Bridgeman T G et al; "Influence of particle size on the analytical and chemical properties of two energy crops", Fuel 86 2007, 60-72
 - [23] Davidsson K, Eskilsson D, Gyllenhammar M, Herstad Svärd S, Kassman H, Steenari B-M, Åmand L-E; "Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem; Ramprogram", Värmeforskrapport 997 december 2006
 - [24] Zevenhoven-Ondwater M et al; "The ash chemistry in fluidised bed gasification of biomass fuels. Part I: predicting the chemistry of melting ashes and ash-bed material interaction", Fuel 80 2001, 1489-1502
 - [25] Paulrud S, Nilsson C, Öhman M; "Reed canary-grass ash composition and its melting behaviour during combustion", Fuel 80 2001, 1391-1398
 - [26] Rudling L; "Spannmålsförbränning I en cirkulerande fluidiserad bädd", Värmeforskrapport 415 december 1991
 - [27] Burvall J; "Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass", Biomass and Bioenergy Vol 12 No 3 1997, 149-154
 - [28] Erhardsson T, Öhman M, de Geyter S, Öhrström A; "Bäddagglomereringsrisk vid förbränning av odlade bränslen (hampa, rörflen, halm) i kommersiella bäddmaterial", Värmeforskrapport 998 december 2006
 - [29] Hadders G & Nilsson D; "Storskalig hantering av stråbränslen från jordbruket", JTI-rapport Jordbrukstekniska institutet Nr 160 1993

-
- [30] Vetter A; "Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergeträger hinsichtlich der energetischen Verwertung", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 36-49
 - [31] Hering T; "Stroh- und Ganzpflanzenverbrennung am Beispiel der Strohheizwerke Schkölen und Jena", Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 114-126
 - [32] Williams R; "Project 1.1 – Technology Assessment for Biomass Power Generation – UC Davis", TASK 1.1.1 Draft Final Report October 2004 http://biomass.ucdavis.edu/pages/reports/UCD_SMUD_DRAFT_FINAL.pdf
 - [33] Öhman M, Boman C, Erhardsson T, Gilbe R, Pommer L, Boström D, Nordin A, Samuelsson R, Burvall J; "Minskade askrelaterade driftsproblem (beläggning, slagning, högttemperaturkorrosion, bäddagglomerering) genom inblandning av torv i biobränslen", Värmeforskrapport 999 januari 2006 http://rapporter.varmeforsk.se/publish/show_report.phtml?id=4622
 - [34] Nilsson K; "Sammanställning av bränsledata för Salix och skogsbränslen", Vattenfall Utveckling AB, U-V 96:Ö1 juni 1996
 - [35] Eriksson M, Wikman K, Berg M, Öhman M; "Effekten av fluidiseringshastighet och kornstorlek på agglomereringsrisk vid biobränsleeldning i FB-pannor", Värmeforskrapport 890 november 2004
 - [36] Clausen J C & Sørensen M; "Plant and Operating Experience in Straw-Fired Boilers in CHP Plants", VGB Krafwerkstechnik 77 1997, s 724-728
 - [37] Mahmoudkhani M & Theliander H; "Långsamupplösande askpellets", Värmeforskrapport 880 oktober 2004
 - [38] Hadders G & Flodén S; "Spridning av aska från stråbränslen på åkermark, Förutsättningar och rekommendationer", JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 234 1997
 - [39] Höglund C, Lundborg R, Myringer Å; "Tillförsel av skogsindustriellt slam till eldstäder - etapp 1", Värmeforskrapport 757 december 2001
 - [40] van der Drift A & Olsen A; "Conversion of Biomass, Prediction and Solution Methods for Ash Agglomeration and Related Problems", ECN report ECN-C-99-090 november 1999

10.6.1 Personliga meddelanden

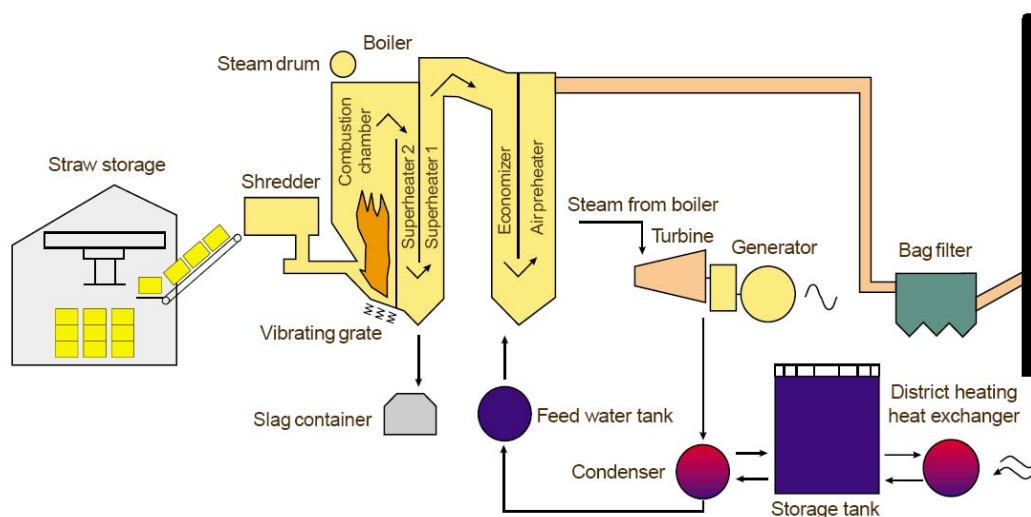
- [41] Baldefors, Jan, Vattenfall
- [42] Jönsson, Bengt, Öresundskraft
- [43] Björklund, Ulf, Eskilstuna Energi & Miljö
- [44] Leire, Rolf, SEFAB
- [45] Green, Sven-Göran, Lantmännen Agrovärme AB
- [46] Resmark, Martin, E.ON
- [47] Berglund Tommy, Öresundskraft
- [48] Kassman, Håkan, Vattenfall Power Consultant

11 Produktion av el med energigrödor

Ett sätt att producera el är att hetta upp ånga och köra den genom en turbin. Ångan måste ha hög temperatur. Det finns även andra möjligheter att producera el, till exempel kombinat och förgasning. De olika metoderna för elproduktion presenteras i detta kapitel.

11.1 Elproduktion från ångturbin

Vid elproduktion överhettas ångan och enkelt kan sägas att ju högre överhettningstemperatur desto mer el. Överhettarna kan till exempel hänga i slingor vertikalt från taket eller sitta som vertikala rör i överhettarpassager efter pannan. Efter att ångan har passerat överhettarpassagerna når den ekonomiser och luftförvärmare. Här värms matarvattnet, kondensatvatten och förbränningsluften upp. Se Figur 20 för en beskrivning av processen. Den elektriska verkningsgraden för en halmeldad anläggning är oftast av storleksordningen 20-30 %. [2]



Figur 20. Schematisk beskrivning över elproduktion vid ett halmeldat kraftverk [2]

Figure 20. Schematic view of electricity production at a straw fired power plant

På grund av energigrödornas relativt låga asksmältpunkt är det svårare än för andra biobränslen att bibehålla en hög överhettningstemperatur. Därmed riskerar man att elverkningsgraden sjunker. Vid samtidig produktion av el och värme sjunker förhållandet mellan producerad elektricitet och producerad värme. Mest erfarenhet vad gäller kraftvärme från energigrödor har samlats kring eldning av halm, vilket till stor del har att göra med den danska energipolitikens krav på att anläggningarna ska använda en hög andel halm vid elproduktion. Se till exempel [1].

11.2 Höga ångtemperaturer

När energigrödor som halm används för elproduktion uppstår ofta problem med slagg och korrosion. På grund av den höga halten av alkalimetaller och klor i halmaska är rökgasen korrosiv, speciellt vid temperaturer över 450°C. Då askpartiklarna har låg temperatur kan de även lätt orsaka slaggproblem i pannan. [2] Olika metoder för att nå

upp till höga ångtemperaturer och samtidigt undvika korrosion eller avlagringar presenteras nedan

11.2.1 Design

För att undvika problem med korrosion och beläggningar har en del danska anläggningar försökt att begränsa överhettartemperaturen till 450°C. Detta har kombinerats med att placera överhettarsektionen längre bak i pannsystemet så att rökgasens temperatur är runt 650-700°C när den kommer i kontakt med den första överhettarsektionen. Detta leder dock till lägre elverkningsgrad. En annan metod har varit att hålla ångtemperaturen på 550°C men att göra det möjligt att lätt byta ut eventuella överhettartuber som korroderat. [2] [4]

Andra anläggningar har valt att satsa på att välja motståndskraftiga material eller större utrymme mellan överhettarna, vilket gör att man klarar påslag bättre. [2]

11.2.2 Separat förbränning

Ett annat sätt att använda energigrödor som halm vid elproduktionen är att låta energigrödan förbrännas separat. Högtemperaturskorrosion undviks eftersom temperaturen på ångan i biomassepannan hålls under den kritiska nivån. [2]

Enhet 2 på kraftvärmeverket Avedøre använder en rad olika bränslen som förbränns i olika pannor. Halm är ett utav dessa och förbränns i en separat panna på 100 MW ångkapacitet. Ångan som produceras i pannorna förs samman och driver en högeffektiv ångturbin. [5]

Om förbränningen av bibränsle och till exempel kol sker parallellt istället för som samförbränning i samma panna ökar det möjliga bränslespektrumet. En annan fördel är att en anläggning som använder sin kolaska till cement eller annan förädling fortfarande kommer att ha en aska ren från bibränsle.

11.3 Energikombinat

Energikombinat är en teknik som förenar produktion av transportbränsle och energiproduktion (till exempel elektricitet eller fjärrvärme). Utgångsmaterialet är bibränsle som omvandlas till flytande bibränsle som vanligen är avsedda för transportändamål, till exempel etanol, metanol, syntetisk diesel eller DME (dimethyleter). Produktionen av det flytande bibränslet är integrerad i kraftverket vilken utnyttjar den överskottsenergi som uppstår i produktionen. Energigrödor är ett intressant utgångsämne där spannmål och halm diskuteras tillsammans med grödor som sockerrör, majs och trädbränslen. [6] [7] [15]

11.4 Andra metoder

På grund av energigrödornas benägenhet att bilda slagg och ge upphov till korrosion är det intressant att använda dess energiinnehåll på andra sätt. Förgasning och ORC (Organic Rankine Cycle) erbjuder olika metoder för användning av energigrödor. Metoderna har gemensamt att bränslet inte direkt förbränns i en panna. Därmed minskar problem med sintring och korrosion.

De följande metoderna används inte i stor utsträckning i industriell skala. De är dock intressanta i ett framtida perspektiv när det gäller att nyttja energigrödor.

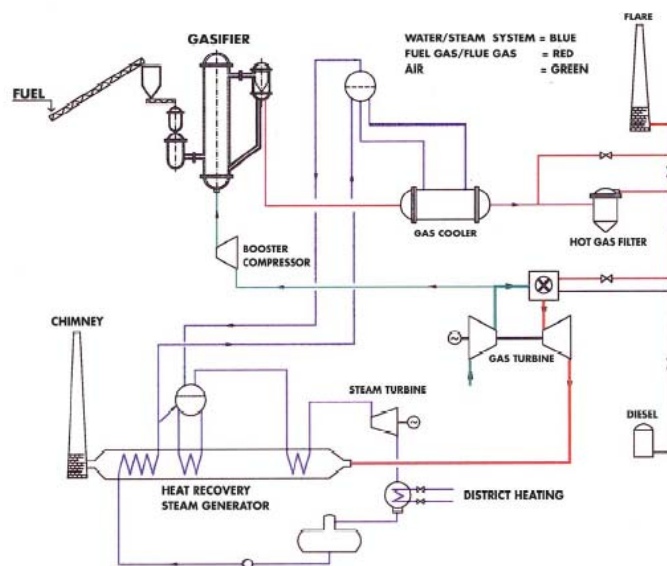
11.4.1 Förgasning

Förgasning kan antingen användas som en samförbränningsteknik som tar tillvara existerande förbrännings- och elgenereringsutrustning på anläggningen eller i mer avancerade cykler, till exempel IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). Införandet av ett nytt biobränsle behöver därför inte föra med sig höga produktionsomställningskostnader. Om man däremot väljer mer avancerade cykler ökar investeringskostnaderna men i gengäld ökar omvandlingseffektiviteten för biobränslen till el, till exempel är det möjligt att nå ca 40-50 % elverkningsgrad med IGCC. [1] [8]

Vid förgasning av fast biomassa vid höga temperaturer bildas gasformiga energibärare (bränslegas, syntetisk gas). Biomassan delar sig i fasta och gasformiga föreningar och det kol som är kvar förbränns delvis under bildande av höga halter CO. [1]

Bränslegasen som producerats kan, direkt eller efter olika hög grad av rening, användas i brännare för att producera värme. På detta vis kan alltså, efter en viss rening av gasen, ett biobränsle förbrännas i en existerande panna utan att alla ämnen som fanns i bränslet kommer i pannan. En annan metod är att använda bränslegasen i gasturbiner för att generera ström. Det sistnämnda är ett attraktivt sätt att använda biomassa eftersom det ger en högre verkningsgrad i jämförelse med direkt biomassaeeldning. [1] [9] Det rör sig då om IGCC-teknik. Processgasen som produceras innehåller dock en hel del oönskade föroreningar, till exempel alkali och tjära, som måste hållas på relativt låga nivåer. Tjära måste hållas på en så låg nivå att den inte kondenserar ut när gasen kyls och alkali på en nivå som inte blir skadlig för turbinen. Gasen måste därför renas innan den kan användas på ett effektivt sätt. Ett av problem vid förgasning har hittills bestått i att finna ett effektivt sätt att ta bort tjäran som bildas. [1] [10]

Förgasning av pelletiserad halm och salix har genomförts i Värnamos IGCC-anläggning med goda resultat. Den höga alkalihalten i salix orsakade inte några problem på anläggningen och mängden sintrat material i bottenaskan var mycket liten. Försök med upp till 100 % halm har genomförts utan några problem med sintring. Gasen som producerades hade ett något högre väteinnehåll än vid normal produktion, vilket är utmärkt för gasturbindriften. Figur 21 visar processdiagrammet för Värnamos IGCC [11]



Figur 21. Processdiagram för Värnamos IGCC [11]

Figure 21. Schematic of the Värnamo IGCC facility

11.4.2 ORC

Organic Rankine Cycle (ORC) är en sorts kraftvärmekoppling. Jämfört med ångturbinprocessen så används en organisk arbetsfluid istället för vatten. Det kan vara kolväten som iso-pentan, iso-oktan, toluol eller silikonolja. Detta möjliggör att stora energimängder kan överföras vid låga temperaturer och tryck. Det är ett avskilt kretslopp som ger högre tillgänglighet till systemet och den lägre arbetstemperaturen ger mindre nedsmutsning av värmeväxlarytor. [9] [12]

ORC fungerar på så sätt att den rökgas som bildas vid förbränning av biomassa avger värme till den organiska arbetsfluiden, ungefär som vid en vanlig ångcykel. Temperaturen för förångning och kondensering är dock lägre jämfört med vanliga pannor där vatten är arbetsfluid. [9]

Verkningsgraden hos en ORC-anläggning kan nå över 12 %. Det finns få praktiska exempel på förbränning av biomassa med ORC-teknik. I Europa har endast vissa försök och demonstrationer gjorts och dessa är begränsade till förbränning av trä. [12] [13]

11.5 Pågående forskning

Ett internationellt projekt om halm vid etanolproduktion genomförs för närvarande under titeln IBUS (Integrated Biomass Utilisation System). Huvudsyftet är att undersöka hur kostnaderna kan reduceras vid produktion av el och etanol baserad på biomassa. Biprodukten som uppstår vid etanolproduktion är fibrer som pressas och torkas innan de förbränns tillsammans med kol eller naturgas i förbränningsanläggningar. För mer information se www.bioethanol.info [14].

Ett flertal andra projekt kring produktion av flytande drivmedel pågår också, både vad gäller produktion av etanol och produktion av metanol, syntetisk diesel eller DME via termisk förgasning. De senare projekten fokuserar dock främst mot att använda biobränslen från skogsbruket men precis som tidigare försök i Värnamoanläggningen visade kan även användningen av bränslen från åkermark vara aktuell.

Tillsammans med ENA Energi och Sala Heby Energi genomför Mälardalens högskola ett projekt där etanolproduktion och förgasning äger rum i existerande värmekraftverk och på så sätt även ger upphov till värme och el. Projektet går under beteckningen Polygeneration – Bioenergikombinat med salix och de bränslen som undersöks är trädbränslen, energigrödor och avfallsfraktioner.

Chrisgasprojektet (Clean Hydrogen-rich Synthesis Gas) pågår för närvarande och har som mål att demonstrera produktion av ren syntetisk väterik gas ur biobränslen. Gasen kommer sen att omvandlas till flytande bränsle, till exempel DME, metanol eller FT diesel. Projektet genomförs på Värnamos IGCC anläggning och produktionen förväntas vara igång under 2008.

IVL genomför för närvarande ett projekt som tittar på energikombinat med avseende på tekniktrender, system och styrmedel. Projektet genomförs inom Värmeforsks Tvärteknikprogram.

Carl Bro undersöker ORC för elproduktion i Värmeverk inom Värmeforsks program för anläggnings- och förbränningsteknik.

11.6 Referenser

- [1] Williams R; "Project 1.1 – Technology Assessment for Biomass Power Generation – UC Davis", TASK 1.1.1 Draft Final Report October 2004 http://biomass.ucdavis.edu/pages/reports/UCD_SMUD_DRAFT_FINAL.pdf
- [2] Nikolaisen L (ed); "Straw for Energy Production – Technology - Environment - Economy", andra upplagan The Centre for Biomass Technology Köpenhamn 1998
- [3] Kavalov B & Peteves S D; "Bioheat applications in the European Union: an analysis and perspective for 2010", European Commission DG JRC Institute for Energy Petten 2004
- [4] Clausen J C & Sørensen M; "Plant and Operating Experience in Straw-Fired Boilers in CHP Plants", VGB Krafwerkstechnik 77 1997, s 724-728
- [5] Ottosen P, Gullev L; "Avedøre unit 2 – the world's largest biomass-fuelled CHP plant", News from DBDH 3/2005
- [6] Värmeforskrapport 904
- [7] Global insight http://www.globalinsight.com/gcpath/BioFuels_WEB_11-2006.pdf
- [8] Sims R, Hastings A, Schlamadinger B, Taylors G & Smith P; "Energy crops: current status and future prospects", Global Change Biology, Nr 12 2006 s. 2054-2076

-
- [9] "Energie aus Biomasse", Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe E.V. Gülzow april 2002
 - [10] Maniatis K; "R&D Needs for Bioenergy" IEA Bioenergy REWP seminar 3 mars 2005
 - [11] Ståhl K, Waldheim L, Morris M, Johnsson U, Gårdmark L; Biomass IGCC at Värnamo – past and future", GCEP Energy Workshop 27 april 2004
 - [12] Wenig B; "Bioenergie – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte", Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.Gülzow 2005
 - [13] "Biomass fired CHP plant based on an ORC cycle – Project: ORC-STIA-Admont", Thermie-A-project BM/120/98/AT/IT mars 2001
 - [14] IBUS, www.bioethanol.info
 - [15] "Värnamoverket – En demonstrationsanläggning för el- och värmeproduktion ur biobränsle, baserad på trycksatt förgasning", Demonstrationsprogrammet 1996-2000 Sydkraft 2000

12 Rökgasrening och emissioner

Snabbväxande energigrödor karaktäriseras av högre kväve- och askhalter än stamved. Även halter av svavel, klor och av alkalimetallerna natrium och kalium är generellt högre än i stamved, men här är variationerna stora mellan olika grödor och inom grödan. För bränsleparametrar se Tabell 11 och Tabell 12.

Tabell 11. Klor, svavel, kväve, aska, värmevärde och fukthalt i ett antal bränslen [1].

Table 11. Chlorine, nitrogen, ash, heating value and moisture content in a number of fuels [1].

	Klor, Cl (vikt-% i ts)	Svavel, S (vikt-% i ts)	Kväve, N (vikt-% i ts)	Aska (vikt-% i ts)	Värmevärde (MJ/kg torrt askfritt)	Fukthalt (vikt-%)
Trä	0-0,05	0-0,3	0,04	0,4-0,8	16-21	8-60
Salix	0,01-0,1	0,005-0,03	0,4	1-5	18-20	25-50
Halm	0,05-1,5	0,05-0,2	0,7	4-10	18-20	10-20
Spannmål	0,02-2,3	0-0,5	1,7	2-4	17-22	14
Rörflen	0,1-0,2	0,05-0,2	1,0	3-7	17-20	10-15
Hampa	0,04 -0,1	0,03-0,07	1,4	2-4	19	15-75

Tabell 12. Innehåll av kalium och natrium i ett antal bränslen [1].

Table 12. Content of potassium and sodium in a number of fuels [1].

	(mg/kg aska)	
	Kalium, K	Natrium, Na
	min - max	min - max
Trä	67 491 - 89 656	2 533 - 7 307
Salix	38 104 - 158 558	1 484 - 7 752
Halm	9 132 - 152 747	5 564 - 7 419
Spannmål	116 596 - 219 989	334 - 78 125
Rörflen	57 447 - 189 274	2 077 - 8 902
Hampa	14 500 - 263 222	3 463 - 4 222

12.1 Emissioner som härrör från fullständig förbränning av bränslet

Emissioner vid förbränning kan delas in i sådana som härrör från ofullständig förbränning och sådana som härrör från fullständig förbränning. Emissioner från ofullständig förbränning beror av förbränningsteknik och av förbränningsstrategi, och är i princip inte bränsleberoende. Till dessa räknas: kolmonoxid (CO), metan (CH₄) och flyktiga kolväten förutom metan (NMVOC), polycykliska aromatiska kolväten (PAH), partiklar i form av sot, koks och tjära, dioxiner (PCDD), furaner (PCDF), ammoniak (NH₃) och ozon (O₃).

Vid förbränning av åkerbränslen är det främst de emissioner som bildas från bränslets innehåll vid fullständig förbränning som skiljer sig från emissioner från trädbränslen, och därför berörs i denna förstudie. Undantag utgörs av dioxiner och furaner som även de behandlas här. Även medryckning av oförbränt kan påverkas av bränslets storleksfördelning och berörs därför. Till emissioner från fullständig förbränning räknas kväveoxider (NO_x), lustgas eller dikväveoxid (N_2O), svaveldioxid (SO_2), väteklorid eller saltsyra (HCl), tungmetaller och stoftpartiklar i form av aerosoler som formats av ämnen med låg smältpunkt, företrädesvis salter som kaliumklorid (KCl) och natriumklorid (NaCl). Även koldioxid (CO_2) och vattenånga (H_2O) härrör från fullständig förbränning men behandlas inte här. Exempel på utsläppsvärden från olika bränslen visas i Tabell 13 och Tabell 14.

Tabell 13. Emissioner som huvudsakligen orsakas av bränslets egenskaper. Jämförelse mellan olika bränslen (exempel på värden). Altholz = från avfall utsorterad ved och rivningsvirke. Chip board = spånskiva [2].

Table 13. Emissions that are mainly influenced by fuel properties. Comparison between various fuel types (examples of values). Altholz = urban waste wood and demolition wood [2].

Emissions at 11 % O_2	Fuel type	Typical data
NO_x (mg/m^3_0)	Native wood (soft wood) Native wood (hard wood) Straw, grass, miscanthus, chip boards Altholz	100 – 200 150 – 250 300 – 800 400 – 600
HCl (mg/m^3_0)	Native wood Altholz, straw, grass, miscanthus, chip boards (NH_4Cl)	< 5 raw gas: 100 - 1000 with HCl absorption: < 20
Particles (mg/m^3_0)	Native wood Straw, grass, miscanthus, chip boards Altholz	after cyclone: 50 - 150 after cyclone: 150 - 1000 after bag- or electrostatic filter: < 10
$\Sigma \text{Pb, Zn, Cd, Cu}$ (mg/m^3_0)	Native wood Altholz	< 1 raw gas: 20 - 100 after bag- or electrostatic filter: < 5
PCDD/F ($\text{ng TE}/\text{m}^3_0$)	Native wood Altholz	typical: < 0.1 range: 0.01-0.5 typical: 2 range: 0.1 – 20

Tabell 14. Emissionsdata från 13 olika halmeldade fjärrvärmeverk från mätningar utförda 1987-1993. Värden inom parantes visar spridningen [4].

Table 14. Emissions from 13 different straw fired central heating plants measured between 1987 and 1993 [4].

Halmfyrede fjernvarmeværker		
Parameter	mg/Nm ³ ved 10 % O ₂	mg/MJ el. mg/kWh
Partikler (anlaeg med posefilter)	80 (5-200)	40 (3-100) el. 144 (11-360)
CO	1200 (240-2300)	600 (120-1150) el. 2160 (432-4140)
NO _x	180 (80-300)	90 (40-150) el. 324 (144-540)
SO ₂	150 (140-170)	75 (60-100) el. 270 (216-360)
HCl	80 (30-150)	40 (15-80) el. 144 (54-288)
PAH	0,35 (0,20-0,60)	0,18 (0,10-0,30) el. 0,65 (0,36-1,08)
Dioxin (Nordisk tox.eqv.)	(0,01·10 ⁻⁶ – 0,4·10 ⁻⁶)	(0,005·10 ⁻⁶ – 0,2·10 ⁻⁶) el. (0,018·10 ⁻⁶ – 0,72·10 ⁻⁶)
Dioxin (PFDD+PCDF)	(0,8·10 ⁻⁶ – 8·10 ⁻⁶)	(0,4·10 ⁻⁶ – 4·10 ⁻⁶) el. (1,44·10 ⁻⁶ – 14,4·10 ⁻⁶)

12.1.1 Kväveoxider (NO_x)

Kväveoxider medför övergödning och försurning. Via sekundära reaktioner i atmosfären bildas också fina partiklar. Emissioner av kväveoxider vid förbränning av biobränslen härrör huvudsakligen från oxidering av bränslekväve. Temperaturerna vid förbränning av biobränslen ligger vanligtvis under 1300°C, varför termiskt bildat NO_x anses försumbart. Även bildning av NO_x genom reaktion med CH (prompt NO_x) anses försumbart vid förbränning av biomassa.

Kväveoxid (NO) bildas både vid gasfas-förbränning och vid koks-förbränning. NO omvandlas sedan till NO₂, men huvuddelen av omvandlingen sker i atmosfären. Halten av bildad kväveoxid ökar med ökat innehåll av kväve i bränslet, med ökat luftöverskott och ökad förbränningstemperatur. Dock minskar fraktionen av från bränslekväve bildat NO_x med halten kväve i bränslet. Typiska värden för emission av kvävedioxid för olika bränslen visas i Tabell 13.

Emissioner av kväveoxider kan minskas genom både primära metoder, dvs förbränningstekniska, och sekundära reningsmetoder, dvs rening av rökgaserna.

12.1.2 Lustgas (N₂O)

Lustgas har hög GWP-faktor¹ och bryter även ned det skyddande ozonet i stratosfären. Lustgas bildas i högre grad från förbränning av fossila bränslen och uppmätta halter av lustgas vid förbränning av biomassa är vanligen mycket låga. Under åttiotalet

¹ Med GWP-faktor (GWP = Global Warming Potential) menas hur effektivt ämnet är som klimatpåverkare i förhållande till koldioxid. Om koldioxid har faktorn 1, har metan faktorn 21 och lustgas faktorn 310.

uppmärksammades lustgasbildning vid FB-förbränning av kol, då den låga temperaturen i bädden ledde till att bildad lustgas inte ”brann upp”. Problemen kan t ex åtgärdas genom stödelning i utloppet. Lustgas kan även bildas vid användning av urea för NO_x-reduktion, men förbättrad teknik vid ureatillsättning har gjort att problemet reducerats.

12.1.3 Svaveldioxid (SO₂)

Svaveldioxid medför förurning av miljön och ger upphov till fina partiklar via sekundära gasfasreaktioner i atmosfären. En andel av svaveldioxiden bildar svaveltrioxid, SO₃, som kan kondensera och bilda svavelsyra och orsaka lågtemperaturkorrosion, om rökgasernas temperatur blir lägre än syradaggpunkten, och materialet inte är korrosionsbeständigt. Det svavel som finns i bränslet omvandlas vid förbränning till gasformig SO₂, stannar i bottenaskan eller bildar aerosoler i form av salter, t.ex. kaliumsulfat (K₂SO₄). Hur stor andel av svavlet som bildar svaveldioxid beror av vilka andra ämnen som finns i askan. Vid förbränning av halm rapporterade [4] att ca 40 % stannade i bottenaskan och [5], där halm, träflis och pellets jämfördes, liknande resultat. Vid förbränning av spannmål visar [36] att större delen av svavlet omvandlas till SO₂. Genom tillsats av 2 % kalkstensmjöl till bränslet minskade utsläppen av svaveldioxid med upp till 40 % [35].

Utsläpp av svaveldioxid kan minskas genom tillsats av kalk till bränslet, eller genom rökgasrening såsom skrubber eller tillsats av släckt kalk (Ca(OH)₂) i rökgaserna. Dessa tekniker är väl kända och standard inom exempelvis avfallsförbränning [34].

12.1.4 Väteklorid (HCl)

Väteklorid medför förurning, men kan även orsaka kloridkorrosion om rökgasernas temperatur sjunker under vattendaggpunkten, och materialet inte är korrosionsbeständigt. Det klor som finns i bränslet omvandlas vid förbränning till gasformig HCl eller till aerosoler i form av salter, t.ex. kaliumklorid (KCl) eller natriumklorid (NaCl). Hur stor andel av kloreten som bildar väteklorid beror av vilka andra ämnen som finns i askan. Klor är även en förutsättning för bildning av dioxiner och furaner, se nedan.

Utsläpp av väteklorid kan minskas genom att bränslet tvättas, vilket tillämpas vid halmeldning, eller genom att bränslet skördas på våren, se dessa avsnitt. Vårskördad hampa har minskad halt av klor, vilket både beror av att hampans blad faller av under vintern och av att stammen tvättas ur av regn under vintern. Väteklorid kan även reduceras ur rökgasen p.s.s. som svaveldioxid genom rökgasrening med skrubber eller tillsats av släckt kalk.

12.1.5 Stoft

Stoftpartiklar från förbränning leder till ohälsa. Av intresse vid förbränning av åkerbränslen är främst de ämnen i askan med låg smältpunkt som bildar flygaska, exempelvis KCl och NaCl. På senaste år har speciellt de ultrafina partiklarna i stoftet (mindre än 1 µm) uppmärksammas som en orsak till ökad dödlighet hos människor [24], och vetenskapliga studier pågår som behandlar karaktärisering av stoft från olika

källor och stoftets hälsopåverkan. Dessa ämnen kan även orsaka problem i form av påslag och högtemperaturkorrosion på värmeöverförande ytor och rökgasvägar.

Utsläpp av stoft från trädbränslen efter cyklonrening ligger ofta runt 100 mg/Nm³. Cykloner avskiljer stoftpartiklar större än ca 1 µm. För god avskiljning krävs rökgasrening i form av elektrostatiske filter eller textfilter. Även rökgaskondensering ger stoftavskiljning men inte lika god, och ofta används rökgaskondensorn i huvudsak för energiåtervinning och föregås då av en stoftavskiljare.

12.1.6 Tungmetaller

Åtskilliga metaller skadliga för växter, djur och människor om de uppträder i alltför höga halter. Detta gäller framför allt vissa, såsom kvicksilver, kadmium och bly. Flera av dessa ämnen kan lagras i levande vävnader och bli kvar där under mycket lång tid. Vid förbränning stannar vissa tungmetaller i bottenaskan, medan andra bildar aerosoler och dessa avskiljs med stoftet. Kvicksilver avges i gasform och kan avskiljas i en våt skrubber eller med aktivt kol i torr rening, men i biobränslen är halterna vanligtvis mycket låga. I första hand flygaska kan innehålla förhöjda halter av tungmetaller. Askhantering behandlas i annat kapitel i denna rapport.

12.1.7 Dioxiner och furaner (PCDD och PCDF)

Dioxinbildningen (för enkelhetens skull betecknas både dioxiner och furaner här med dioxiner) påverkas av förbränningsförhållanden (närvaro av kolväten), klorinnehållet, katalytisk aktivitet (Cu, Fe, Al), svavelinnehållet och uppehållstiden i konvektionsstråket (450 - 250 °C). Exempelvis har en kort uppehållstid för rökgasen i detta temperaturområde stor betydelse.

Utsläpp av PCDD/F reduceras genom goda förbränningsförhållanden, och genom rening av rökgaserna genom att aktivt kol tillsätts före stofffiltret. Särskilda insatser för att begränsa dioxinutsläpp har hittills varit aktuellt vid avfallsförbränning och inte vid förbränning av biobränslen.

12.2 Utsläppskrav, rekommendationer och praxis med hänsyn taget till anläggningsstorlek och läge

12.2.1 Utsläppskrav i Sverige

Vanligtvis sätts utsläppsgränserna av tillsynsmyndigheten. Detta gäller exempelvis kolmonoxid, där inga generella krav finns.

Anläggningar mellan 300 kW och 50 MW

Det finns inga generella utsläppskrav för **kväveoxider** för anläggningar mindre än 50 MW. Utsläppen begränsas i praktiken av utvecklad praxis vid tillståndsbedömning och av systemet för kväveoxidavgift. Exempel på gränsvärden ges i [28] till 80 mg/MJ (ca 170 mg/Nm³), men kan för nya anläggningar ligga på 50 – 60 mg/MJ (ca 105-130 mg/Nm³). I kväveoxidavgiftssystemet ingår anläggningar som producerar mer än 25 GWh per år (motsvarar ca 5 MW och uppåt). Genomsnittligt utsläpp år 2006 var preliminärt 51 mg NO_x/MJ_{br} (ca 108 mg/Nm³).

För anläggningar mellan 0,5 till 10 MW finns idag Naturvårdsverkets allmänna råd (AR 87:2) för **stoffutsläpp** i tätort på 100 mg/m³ vid 13 % CO₂, och 350 mg/m³ utanför tätort. I praktiken är gränsvärden idag betydligt lägre än 100 mg/m³ även utanför tätort [6], med undantag av de minsta anläggningarna.

Utsläpp av **svavel** till luft är begränsat till 100 mg/MJ enligt förordningen om svavelrika bränslen (1998:946). Om de årliga utsläppen från anläggningen överstiger 400 ton svavel får högst 50 mg/MJ släppas ut, allt räknat som årsmedelvärde. Endast riktigt stora anläggningar, > 200 MW, kommer upp i utsläpp över 400 ton/år. Individuella krav kan ställas på enskilda anläggningar. I praktiken begränsas utsläpp av svavel av den svavelskatt som belastas bränslen med ett högre svavelinnehåll än 0,05 vikt-%.

Anläggningar större än 50 MW

För anläggningar större än 50 MW begränsas emissioner av SO₂, NO_x och stoft i Naturvårdsverkets föreskrifter (NSF 2002:26). Praxis vid tillståndsbedömning är idag lägre än i föreskrifterna.

För fasta biobränslen i *befintliga* anläggningar större än 50 MW är gränsen för SO₂:

Högsta tillåtna utsläpp av svaveldioxid (SO ₂) [mg SO ₂ per m ³ vid 6 % O ₂]		
50–350 MW	>350–500 MW	>500 MW
Förbränning är endast tillåtet om utsläpp till luft är lägre än 0,19 g svavel per MJ bränsle	1000–400 (linjär minskning)	400

För fasta biobränslen i *nya* anläggningar större än 50 MW (exklusive gasturbiner) är gränsen för SO₂ 200 mg SO₂ per m³ vid 6 % O₂.

För fasta biobränslen i *befintliga* anläggningar större än 50 MW är gränsen för NO_x:

Högsta tillåtna utsläpp av kväveoxider (NO _x) [mg NO _x per m ³ vid 6 % O ₂]	
50–500 MW	>500 MW
600	500

För fasta biobränslen i *nya* anläggningar större än 50 MW (exklusive gasturbiner) är gränsen för NO_x:

Högsta tillåtna utsläpp av kväveoxider (NO _x) [mg NO _x per m ³ vid 6 % O ₂]		
50–100 MW	>100–300 MW	>300 MW
400	300	200

För fasta biobränslen i *befintliga* anläggningar större än 50 MW är gränsen för **stoft**:

Högsta tillåtna utsläpp av stoft [mg per m _n ³ vid 6 % O ₂]	
<500 MW	>500 MW
100	50

För fasta biobränslen i *nya* anläggningar större än 50 MW är gränsen för **stoft**:

Högsta tillåtna utsläpp av stoft [mg per m _n ³ vid 6 % O ₂]	
50-100 MW	>100 MW
50	30

Utsläppskrav vid avfallsanläggningar

Eftersom flera åkergrödor innehåller mer klor och svavel än rena trädbränslen, kan det vara intressant att se vilka utsläppsgränser som gäller vid avfallsförbränning (NSF 2002:28).

Högsta tillåtna utsläpp vid avfallsförbränning [vid 11 % O ₂]	
Stoft	10 mg/Nm ³
SO ₂	50 mg/Nm ³
HCl	10 mg/Nm ³
Dioxiner och furaner	0,1 ng/m ³
NO _x	200 mg/Nm ³ 400 mg/Nm ³ , vid befintlig anläggning med kapacitet < 6 ton/timme

12.2.2 Exempel på utsläppskrav i andra länder

Här följer några exempel på utsläppskrav i andra länder. En fullständigare bild ges exempelvis i [2]. Sammanfattningsvis är kraven likartade i Sverige och kringliggande länder. Avgiftssystemet för NO_x har dock lett till att NO_x-utsläppen är lägre i Sverige.

Danmark

Rekommendationer för utsläppsgränser ges i den nationella guiden men slutliga gränser ges i anläggningens miljötillstånd som utfärdas av lokal myndighet [2].

Fuel input [MW]	CO [ppm]	Particles [mg/m ³ ₀]	NO _x [mg/m ³ ₀]
Wood fuels, like wood pellets, sawdust, wood chips, grain (ref. 10 % O₂)			
> 1,0	Vanligen 500	40 eller 100*	-
> 5,0	Vanligen 500	40 eller 100*	300
Straw (ref, 10 % O₂)			
> 1,0	500	40	-
> 5,0	500	40	300

* Depending on the applied flue gas cleaning method.

Finland

Generella utsläppsgränser för inhemska bränslen (ved, torv, halm) visas i tabellen - lokala myndigheter kan utfärda strängare gränser [2].

Heat output [MW]	NO _x [mg/MJ]	SO ₂ [mg/MJ]	Particles [mg/MJ]
1 – 5	-	-	200
5 – 50	-	-	85 – 4/3 (P-5) *
	NO ₂ [mg/m _n ³ at 6 % O ₂]	SO ₂ [mg/m _n ³ at 6 % O ₂]	Particles [mg/m _n ³ at 6 % O ₂]
50 – 300	400	Biomass: 200 Peat: 400	50
100 - 300	300	Biomass: 200 Peat: 200	30
> 300	150	Biomass: 200 Peat: 200	30

* P is the capacity in MW. For grate combustion the limit is 200 mg/MJ in power range 1 - 10 MW.

Tyskland

Tabellen summeras nuvarande tysk lagstiftning.

Fuel input [MW]	CO [mg/m ³ ₀]	NO _x [mg/m ³ ₀]	SO ₂ [mg/m ³ ₀]	Particles [mg/m ³ ₀]
Peat (ref. 11 % O₂) (TA-Luft 5.4.1.2.1)				
1 – 5	150	fluidized bed: 300 others: 500		50
5 – 50	150	fluidized bed: 300 others <10 MW: 500 others >10 MW: 400		20
Straw and similar (ref. 13 % O₂) (1.BImSchV)				
1 – 50	250	400	350*	20
Clean wood (ref. 11 % O₂) (TA-Luft 5.4.1.2.1)				
1 – 2.5	150	250	350*	100
2.5 – 5	150	250	350*	50
5 – 50	150	250	350*	20

* applies above a total mass flow of 1.8 kg SO₂/h

12.3 Förväntade konsekvenser för rökgasrening vid förbränning av åkergrödor

12.3.1 Kväveoxider

Utsläpp av kväveoxider från åkerbränslen kommer att begränsas vid tillståndsbedömning och av systemet för kväveavgift. Då kväverika bränslen kan ge kväveoxidhalter på upp till flera hundra mg/MJ, kommer det att finnas ett behov för både förbränningstekniska åtgärder och rökgasrening för att sänka utsläppen.

Introduktion av restprodukter från drivmedelsframställning är exempel på potentiellt bränslen med höga kvävehalter. Förbränningstekniska åtgärder är väl kända och etablerade (rökgasåterföring, ombyggnation av pannan, luftstyrning, låg-NO_x-brännare etc). Risk finns även att halten av kolmonoxid stiger som en följd av trimning för att minska halten kväveoxid. Även sekundär reduktion av bildad NO_x med SCR (selected catalytic reduction) och SNCR (selected non-catalytic reduction), är väl kända och etablerade tekniker för kol och biobränslen, men problem och kunskapsluckor finns speciellt för SCR, vid dessa teknikernas användning vid förbränning av kväverika trädbränslen som även innehåller alkali och sura ämnen. På längre sikt kan en ökad forskning kring hur kvävoxider ur bränslekväve bildas vid biobränsleeldning också ge bidrag till att hålla ned utsläppen. Kunskapen kring hur bränslekväve bildas ur fossila kol är god, medan motsvarande kunskap kring biobränslen är mindre väl dokumenterad [38].

Det av regeringen uppsatta målet för minskning av kväveoxidutsläpp fram till år 2010 ser inte ut att kunna hållas, varvid varje ton utsläpp som kan förhindras blir viktig [13]. För mindre anläggningar som hamnar utanför systemet för kväveavgift (< 25 GWh), finns idag inga gränsvärden, och det finns inga indikationer på att det kommer att komma några under programtiden. SNV har gett ett förslag till regeringen om en ökning av NO_x-avgiften från 40 till 50 kr/kg. Syftet med ökningen är att fler anläggningar ska investera i rökgasrening. Regeringen har ännu inte svarat på förslaget. De anläggningar som hamnar över medelvärdet får idag betala några från 10 000 kr till flera Mkr. Den som får tillbaka mest i systemet får 11 Mkr tillbaka. Flertalet biobränsleeldade pannor har idag ingen sekundär kvävereduktion, se Tabell 15. Av de 20 pannor som har lägst utsläpp har 15 SNCR eller SNCR+SCR, men sekundär rening förekommer över hela registret. Flertalet pannor som får tillbaka i systemet har endast förbränningsteknisk åtgärd. Observera dock att nästan hälften av pannorna inte har gett uppgift om åtgärd.

Tabell 15. Sammanställning ur Naturvårdsverket NO_x-registret av 134 pannor inom gruppen kraft- och värmeverk med > 80 % biobränsle [7].

Table 15. Data from Swedish Environmental Protection Agency from 134 boilers for heat- and power generation with > 80 % biofuel [7].

	SNCR	SC R	SNCR +SCR	Förbränningsteknisk åtgärd	Ingen uppgift	Totalt antal anläggningar
Betalar till NO _x - systemet	17	1		22 rökgasåterföring 5 låg-NO _x -brännare 2 rotating over-fire air (ROFA) 2 over-fire air (OFA) 2 Ecotube 1 kombination	39	83
Får tillbaka från NO _x - systemet	11		3	10 rökgasåterföring 1 rotating over-fire air (ROFA) 2 kombination	21	51

12.3.2 Erfarenheter från halmeldning i Danmark.

Gränsen för NO_x-utsläpp i Danmark är 300 mg/Nm³, varför sekundär utrustning för reduktion inte finns installerad vid halmeldning.

12.3.3 SNCR

SNCR (Selective Non Catalytic Reduction) innebär ammoniakinsprutning direkt i pannan vid 900-1050°C. Reduktionen är vanligen 40 – 60 %. Även urea används, men i allt mindre grad pga risk för korrosion och lustgasbildning. Investeringskostnad för SNCR är ca 2 – 3 Mkr [8]. Driftkostnaden är låg. Om ett kg 25-% ammoniumlösning kostar ca 1 kr kostar reduktion av 1 kg NO 4-5 kr. Som tumregel är stökiometriskt förhållande vid dosering av reduktionsmedel 2, dvs man doserar 2 ggr mer ammoniak än vad som utnyttjas för kväveoxidreduktionen.

SNCR är en enkel teknik, men förutsätter att pannan är utlagd så att insprutning kan ske i lämpligt temperaturområde, och att uppehållstiden är tillräcklig och omblandningen god. Icke reagerad ammoniak (slip) avskiljs i fasta restprodukter (flygaskan) och eller släpps ut med rökgasen. Om pannan är försedd med rökgaskondensor kan en stor del av ammoniakerna tvättas ur och återanvändas i processen. Ju mer sura komponenter som svavelsyra och väteklorid som rökgasen innehåller, ju mer ammoniak binds som salter och fångas upp av stoftavskiljningen. Ammoniak-slip i rökgasen begränsas av aktuella miljövillkor som ligger i storleksordningen 2-20 mg/MJ [31].

Vid eldning av kväverika bränslen måste mer reduktionsmedel användas. En ökning av reduktionsmedlet möter vanligen inga hinder i en befintlig SNCR-anläggning. När NO_x-halten i rågasen ökar, ökar visserligen även reduktionsgraden (tätare mellan molekyler) men det finns liten erfarenhet av hur mycket. Ökad mängd reduktionsmedel kan leda till problem med beläggningar av ammoniumsalter och ökat ammoniak-slip.

12.3.4 Korrosion vid ammoniakinjicering

Vid användning av SNCR och även SCR finns det risk för korrosion efter SNCR- eller SCR-materialet. Detta uppkommer då oreagerad ammoniak (eller urea) bildar ammoniumsalter med ämnen som frigörs ur bränslet vid förbränningen. Eftersom slipen är större vid SNCR är risken större där. Gemensamt för alla salter är att de ökar dagpunkten för rökgasen, och ganska låga halter av ammoniumsalter i en beläggning kan göra beläggningen fuktig och korrosiv [17].

12.3.5 SCR

Vid katalytisk rening sätts en katalysator efter pannan - SCR (Selective Catalytic Reduction). Katalysatorns temperatur är vanligen 300 - 400°C, men SCR kan användas även vid lägre temperatur. Placeringen styrs till stor del av bränslet eftersom föroreningar från bränslet kräver olika grad av rening före katalysatorn. Reduktion är 90 – 95 % för en ny katalysator. Investeringskostnad för SCR är ca 10 ggr högre än för SNCR. Kostnaden vid installation i en befintlig panna beror i hög grad på hur stor ombyggnad som måste göras. Driftkostnaden är låg, och som tumregel är stökiometriskt förhållande vid dosering 1, dvs man får i princip ingen ammoniak-slip.

SCR är i några fall installerade efter SNCR, en installation som ger mycket låga NO_x -utsläpp och obefintlig ammoniak-slip. Katalysatorn dimensioneras efter rökgasflöde, varför en ökning av NO_x -halten inte i sig ställer krav på ändrad dimensionering. Däremot ger förbränning av ett fuktigare bränsle i bränslemixen ökat rökgasflöde.

SCR används sällan vid biobränsleeldning, eftersom alkalialter i rökgasen deaktiverar (förgiftar) katalysatorn 2-4 gånger snabbare än vid koleldning. Det finns ett antal Värmeforsk-rapporter som behandlar SCR vid biobränsleeldning, de senaste är: [22][10][32][9][12]. Det finns även resultat från ett avslutat EU-projekt [42]. Det finns fortfarande många frågetecken kring hur framförallt partiklar påverkar katalysatorn. Exempelvis kan fosforinnehållet i många åkerbränslen ha betydelse [44].

SCR är mer vanligt vid avfallsförbränning, och då sätts katalysatorn efter stoftreduktionen (low-dust installation). För att komma upp i temperatur kan man använda ett varmt el-filter, vilket är ovanligt, eller återvärma rökgasen efter stoftreningen. Finns ånga att tillgå är det ett prisvärt alternativ. Återvärmning med gasol blir dyrt.

Kol innehåller lika mycket kalium som biobränslen, men där stannar kaliumet i bottenaskan. En möjlig lösning vore att hitta ett additiv som fångade in kalium och hålla det kvar i bottenaskan. I andra europeiska länder är man mer inriktad på att samelda biobränslen med kol, varvid alkali binds bättre i bottenaskan har man inte så mycket problem med förgiftning.

Forskning kring katalysatorer och biobränsleeldning har utförts i flera forskargrupper under senare tid. Se exempelvis [22] som undersökte deaktivering i en 100 MW panna där katen var placerad före stoftreningen (high-dust). Bränslet var skogsflis och torv. Man fann ett linjärt samband mellan deaktivering och alkalikoncentrationen (främst kalium) i rökgasen. Tillsats av svavel hade ingen effekt, då additivet inte påverkade mängden aerosoler med kalium.

Deaktivering vid halmeldning undersöktes av [41], som fann att deaktiveringen orsakad av kaliumsalter var snabb, och reaktivering med H_2SO_4 visserligen var möjlig, men måste ske så ofta att det inte ansågs praktiskt genomförbart.

Ann-Charlott Larsson vid Alstom Power har nyligen doktorerat på en metod att tillverka emissioner i lab-miljö [44]. Syftet var att simulera vad som händer i katalysatorn och få snabba resultat, då mätningar i verklig miljö är både dyra och tidskrävande. Hon rekommenderar att katalysatorn placeras efter stoftrening (tail-end eller low-dust) vid förbränning av åkerbränseln. Denna lösning har valts i det verk som byggs i Amager i Danmark, där man planerar för en bred bränslemix.

12.3.6 Exemplet Örtofta

Inför Lunds Energis planer att bygga en 45 MW_{th} halmpanna i Örtofta har NO_x -reduktion studerats av en examensarbetare [14]. SNCR och SCR jämfördes tekniskt och ekonomiskt. Även avskiljning av för katalysatorn potentiellt farliga föreningar i slangfilter studerades. Som grund för beräkningarna antogs 300 mg/Nm³ NO_x i

rökgaserna, samma värde som uppgivits från den halmeldade 90 MW pannan i Avdöre. Som NO_x-avgift användes 50 kr/kg NO_x. Den ekonomiska analysen gav att båda teknikerna är lönsamma, SNCR mest lönsamma vid lägre NO_x-halter (250 mg/Nm³, besparing 1 Mkr/år), och SCR vid högre NO_x-halter (350 mg/Nm³, besparing 3,6 Mkr/år).

SCR-installationen är dock mycket känslig för föroreningar i rökgasen, framförallt natrium- och kaliumföreningar. Ett slangfilter med mycket goda avskiljningsegenskaper bedöms nödvändig före katalysatorn. Installations- och underhållskostnader för värmeväxling av rökgaserna mellan stoftfiltret och katalysatorn är inte medräknade i kostnadskalkylen. En samförbränning med svavelhaltiga bränslen rekommenderades, eftersom halm innehåller låg halt av svavel som är aktiverande för katalysatorn. Vid installation av SNCR måste ammoniak-slipen hållas så låg som möjligt för att undvika korrosion av ammoniumsalter. Även rökgastemperaturen måste hållas uppe till 140 °C för att undvika lågtemperaturkorrosion.

12.3.7 Kväveoxider - kunskapsluckor och forskningsbehov

Det finns tre åtgärder för att begränsa NO_x-utsläpp:

- begränsa andelen kväverikt bränsle i bränslemixen,
- genom ytterligare förbränningstekniska åtgärder minska utsläppen,
- införa/förbättra reduktion av NO_x i rökgasen.

Tabell 16. Sammanställning av kunskapsluckor, kväveoxider.

Table 16. Compilation of knowledge gap, nitrogen oxides.

Kunskapslucka	Åtgärdens karaktär	Tidsåtgång	Prioritering inom programmet
Halter av bränsle-NO _x vid eldning av olika grödor och bränslemixar	Mätningar i lab och/eller fullskala. Erfarenhets-insamling och utbyte För ökad grundläggande kunskap krävs långsiktiga forskningsprojekt	< 3 år > 3 år	Hög Låg
Möjlighet att begränsa NO _x -bildning genom förbränningstekniska åtgärder, utan att öka CO	Erfarenhets -insamling och utbyte	< 3 år	Hög
SNCR-teknik			
Möjlig avskiljning med ammoniak-injicering Om anläggningen har utsläppsvillkor för ammoniak-slip, kan detta innehållas? Hur påverkas ekonomin? Finns risk för saltpåslag och lågtemperaturkorrosion?	Försök och mätningar i fullskala Erfarenhets -insamling och utbyte	< 3 år	Hög
SCR-teknik			
Karaktärisering av emissionerna i rökgasen från olika bränslen och bränsleblandningar, både gasfas och partikelfas.	Försök i lab och/eller i fullskala	< 3 år	Hög
High-dust-applikation: Ökad kunskap om deaktivering: inverkan av emissioner i gas och partikelfas, hur snabbt deaktivering sker, möjlig regenerering etc.	Försök i lab och/eller i fullskala	> 3 år	Låg
Low-dust (tail-end)-applikation: Ökad kunskap om deaktivering: inverkan av emissioner i gas och partikelfas, hur snabbt deaktivering sker, möjlig regenerering etc.	Försök i lab och/eller i fullskala Utvärdering av befintliga anläggningar	< 3 år	Hög
Vad krävs av stoftreningen för att SCR ska kunna användas? (Hur väl avskiljs alkali-föreningar och andra katalysatorgifter?)	Utvärdering av befintliga anläggningar	< 3 år	Hög
Ekonomi – installation och drift, kan NO _x -avgiften räknas hem?	Kan göras vid planering av projekt	< 3 år	Hög
Finns det möjligheter att med additiv reducera koncentrationen av alkaliföreningar i rökgasen? Hur kan sameldning utnyttjas?	Försök i lab och/eller i fullskala Utvärdering av befintliga anläggningar För ökad grundläggande kunskap krävs långsiktiga forskningsprojekt	< 3 år > 3 år	Låg

12.3.8 Svaveldioxid

Om svavlet omvandlas till svaveldioxid vid förbränning, kan vissa åkerbränslen komma över de 100 mg/MJ som är gräns i förordningen om svavelrika bränslen. Kontakt med Naturvårdsverket [13] ger att inget pekar på att man inom de närmaste åren kommer med några åtgärder avseende svavelutsläpp från biobränslen.

12.3.9 Väteklorid

Det finns idag inga gränser för utsläpp av väteklorid från biobränsleeldade anläggningar, och heller inga indikationer på några sådana åtgärder inom de närmaste åren [13]. Problematiken med klor gäller istället de problem som uppstår med påslag och högtemperaturkorrosion. Även risk för lågttemperaturkorrosion bör uppmärksammas.

12.3.10 Svaveldioxid och väteklorid - kunskapsluckor

Risken för lågttemperaturkorrosion bör uppmärksammas. Problematik kring påslag och högttemperaturkorrosion behandlas på annan plats i denna rapport.

12.3.11 Dioxiner/furaner (PCDD/F)

Genom att skriva på Stockholmskonventionen har Sverige förbundit sig att kartlägga källor till utsläpp och att sedan prioritera åtgärder för reduktion och ta fram handlingsplaner. En kartläggning har tidigare gjorts, [29], som visade dels dagens kunskap om källor till dioxinutsläpp är bristfällig, dels att biobränsleeldning, i första hand småskalig, kan vara en betydande källa. Det noteras även att drygt 10 % av den svenska befolkningen överskrider TDI (tolerabla dagliga intag) för dioxiner.

I senaste rapporten till Stockholmskonventionen [30] sägs att ”det finns ett behov av att berörda verksamhetsutövare ytterligare klargör hur stora utsläpp deras verksamheter ger upphov till. Data som visar hur utsläppen varierar under hela processens olika faser och vid driftsstörningar skulle ge ett bättre underlag för att säkrare fastställa de totala utsläppen. Sådana data bidrar även till kunskap om hur bildningen av framförallt dioxiner kan minskas.. .. I takt med att utsläppen från industrin har minskat har sekundära källor såsom förorenade områden och sediment samt diffusa källor som småskalig eldning, olaglig eldning och nedfall från utsläpp i andra länder ökat i betydelse.”

Enligt [33] är det nödvändigt med bättre kunskaper om i vilka driftssituationer som leder till bildning av dioxiner för olika bränslen. Naturvårdsverkets förhoppning är att branschen driver på teknikutvecklingen, ger information och rekommendationer om korrekt handhavande, rätt val av bränsle etc så att det inte blir nödvändigt att gå in och reglera från myndighetens håll.

Vid förbränning av avfall är utsläppen av dioxin till luft begränsade och mycket låga. Den dioxin som bildas i processen återfinns istället i flygaskan, som deponeras som farligt avfall.

12.3.12 *Dioxiner vid förbränning av biobränslen*

En omfattande sammanställning över mätresultat från förbränning av trädbränslen (rent och behandlat) återfinns i [23]. Några exempel på halm och gräs finns med i sammanställningen. Följande slutsatser dras:

- Dioxiner och furaner kan bildas i alla förbränningsprocesser där organsikt kol, syre och klor är närvarande.
- Bildning sker både i fast fas och i gasfas, och det finns flera bildningsvägar.
- Bildning kan förhindras genom tillförsel av additiv såsom svavel- och kväveföreningar.
- Goda förbränningsförhållanden i kombination med sekundär rening erbjuder god kontroll över dioxinhalter i rökgasen.
- Ej förorenat trä ger låga utsläpp.
- Även om exempelvis gräs och halm innehåller klor, så är uppmätta halter av bildat dioxiner vanligen låga. Detta tros bero på att närvaro av alkali leder till att kloreten binds till salter, varvid klor i gasform minimeras.
- Hög förbränningseffektivitet, dvs god utbränning i gasfasen är mycket viktig för emissionsnivån.
- Förbränningen kan optimeras för låga utsläpp. Viktiga parametrar är förbränningstemperatur, omblandning, uppehållstid och syreöverskott.
- Andra viktiga förbränningsparametrar är att undvika sotbildning och medryckning av kokspartiklar i gasfasen.

Redovisade projekt inom Värmeforsk:

- Två metoder att minska kostnaden för dioxinreduktion vid samförbränning mellan biobränsle och avfall undersöktes av [12]. Den ena metoden gick ut på att reducera dioxin ”på köpet” vid NO_x-reduktion. En kommersiell SCR-katalysator för biobränsleeldning testades i pilotskala. Samtidigt som NO_x reduceras i katalysatorn reducerades även 70 % av bildat dioxin. Den andra metoden gick ut på att reducera dioxin ”på köpet” vid tillsats av additiv. Genomgång av litteratur visade att additiv, främst urea och svavelföreningar kan hämma dioxinbildning upp till 80 %. Svavel tillsätts för att minska korrosion på värmeöverförande ytor. Författarna menar att studien visar på en potential för dioxinresultat över en deNox katalysator. För att tekniken ska vara användbar i fullskala bör den ytterligare utvärderas och verifieras. Användning av additiv som reduktionsmedel för dioxin är ett intressant spår som föreslås utredas vidare.
- Mätningar i två pannor för samförbränning visade upp till 70 % reduktion av dioxiner vid SCR [22].
- Additiven ammoniumsulfat, svaveldioxid och ammoniak tillsattes i en studie för att hämma bildningen av dioxin och klorbensener [11]. Störst effekt gav tillsats av SO₂ med primärluften som minskade bildning med 58 % av dioxin och 73 % av klorbensenen. Tillsats av ammoniumsulfat minskade bildningen med 41 % av dioxin och 77 % av klorbensener. Tillsats av kväveinnehållande additiv gav ingen inhiberande effekt. På grund av den begränsade mängden experiment och de osäkerheter som förekom runt experimenten kan inga slutsatser dras om

rekommenderade mängder additiv eller högsta möjliga inhibering. Istället blir slutsatsen att studien bör kompletteras med ytterligare försök.

Dioxinutsläpp vid spannmålseldning har mätts i en 20 kW-brännare [16]. Resultaten visade en låg dioxinhalt vid nominell drift, men en relativt hög halt vid underhållsdrift med glödbädd.

Vid sameldning mellan rörflen och utsorterat torrt brännbart hushållsavfall låg emissionerna under den gräns som sätts vid avfallsförbränning [18]. Försök med småskalig förbränning av träpellet och ved visade låga utsläpp från moderna brännare och högre från en omodern [19].

12.3.13 Dioxiner - kunskapsluckor och forskningsbehov

Kunskapen om bildning och emissioner av dioxiner vid förbränning av åkerbränslen har idag stora brister, vilket är naturligt då förbränning av dessa bränslen ännu inte kommit igång i någon omfattning. Indikationer finns dock från erfarenheter från trädbänslen och halm, om att bildning av dioxiner kan hållas på låg nivå genom rätt förbränningsteknik. Kostsam sekundär reduktion undviks bäst genom ökad kunskap om vilka förhållanden som ger lägst bildning av dioxiner.

Tabell 17. Sammanställning av kunskapsluckor.

Table 17. Compilation of knowledge gap.

Kunskapslucka	Åtgärdens karaktär	Tidsåtgång	Prioritering inom programmet
Bildning och nivåer av PCDD/F vid eldning av olika grödor och bränslemixar	Litteraturstudier Mätningar i lab och/eller fullskala Kan ske både genom praktiska försök och i långsiktiga forskningsprojekt	< 3 år och > 3 år	Medel och Låg
Betydelsen av förbränningsteknik och drift för utsläpp av dioxiner	Litteraturstudier Mätningar i lab och/eller fullskala Kan ske både genom praktiska försök och i långsiktiga forskningsprojekt	< 3 år och > 3 år	Medel och Låg
Betydelsen av sameldning och additiv för bildning av dioxiner	Litteraturstudier Mätningar i lab och/eller fullskala Kan ske både genom praktiska försök och i långsiktiga forskningsprojekt	< 3 år och > 3 år	Medel och Låg

12.3.14 Stoft

Vid förbränning av askrika åkerbränslen kommer mer flygaska att genereras. Hur mycket, och hur partikelstorleksfördelningen blir, beror främst på vad askorna innehåller, och vad som stannar i bottenaskan och vad som förgasas och följer med rökgasflödet. Här har sameldning med andra bränslen och eventuella additiv betydelse. Det finns ingen samlad bild av hur mycket stofthalten ökar för olika åkerbränslen. Om bränslet innehåller mycket fin fraktion som lätt rycks med rökgasen, som exempelvis skal och kli, kan uppehållstiden för utbränning av koksen vara av betydelse. För kort uppehållstid genererar då högre halt av oförbränt i stoftet.

De dominerande teknikerna för avskiljning av stoft är cykloner, elektrostatiske filter, textilfilter (kallas även stoft- eller slangfilter) och rökgaskondensering. Fysiken bakom olika avskiljningsmekanismer beskrivs t.ex. i [37]. För trädbränslen är en utsläppsnivå på ca 100 mg/Nm³ vanlig efter cyklonen.

Det finns ingen diskussion från myndigheternas sida att ställa krav på mätningar eller reduktion av partiklar storleksuppdelat.

12.3.15 Cykloner

Cykloner (eller multicykloner) sitter som på mindre biobränsleeldade anläggningar som enda avskiljare, och på större anläggningar som förskiljare före el- eller stoftfilter. Eftersom cykloner utnyttjar rörelsemängden hos stoftpartiklarna, kan de avskilja partiklar större än ca 1 µm (aerodynamisk diameter) väl, men partiklar mindre än ca 1 µm går rakt igenom cyklonen. Ett exempel är småskalig spannmålseldning, där stofthalterna ligger mellan 150 och 350 mg/Nm³, och större delen av stoftet är submikront, dvs det avskiljs inte av en cyklon [36]. Det kan med andra ord bli problem för en anläggning med enbart cyklon att innehålla ett givet stoftkrav, om mängden åkerbränslen ökar i bränsmixen.

12.3.16 Elektrostatiske filter

I ett elektrostatiske filter laddas först stoftpartiklarna elektriskt, och fångas sedan in m.h.a. ett elektriskt fält. Partiklarnas elektriska resistivitet har stor betydelse för el-filtrets effektivitet. Vid låg resistivitet, typiskt för fossila kol, vill partiklarna inte "fastna" utan återförs lätt till gasflödet. Vid hög resistivitet, typiskt för halm, krävs hög potential i det elektriska fältet för att ladda partiklarna, vilket kan leda till överslag. Ett el-filter dimensioneras för en viss avskiljningsgrad, och om stofthalten i rågasen ökar, kommer också stoftutsläppet att öka. En vanlig gräns för el-filter är 20 - 40 mg/Nm³, men 10 mg/Nm³ kan nås. En viss marginal brukar dock finnas för ökad stofthalt.

Sameldning mellan biobränsle och fossila kol har flera positiva effekter [25]. Partiklar från biobränslet har vanligen högre resistivitet, vilket är fördelaktigt då partiklar från kol ofta har för låg resistivitet för att fungera väl. Biobränslet har ofta fuktigare än kol, vilket gör att gasflödet ökar, men eftersom ökad fukthalt i rökgasen är gynnsamt för avskiljningen, och biobränslet oftast samtidigt har lägre askhalt än kolet, blir effekten av sameldning vanligen positiv för stoftavskiljningen.

Rena trädbränslen, som huvudsakligen eldas idag, är lätta bränslen för elektrofilter, och monteras på anläggningar ned till 1 MW. Marknaden för elektrostatiske filter anpassade för mindre anläggningar ökar idag [40]. Svavel i bränslet leder inte heller till problem, då svavlet bildar sulfater. Salix är ganska likt trädbränslen, och leder i princip inte till problem för elektrofiltret. Erfarenhet från halmeldning har visat att klorinnehållet ger problem med hög resistivitet, och därför är elektrofilter inte lämpliga för halmeldning. I Danmark används huvudsakligen slangfilter vid halmeldning.

Det finns många frågetecken vad gäller stoftets sammansättning vid olika bränslen, och hur olika bränslen påverkar ett elektrofilter. Exempelvis är kiselhalten ett frågetecken. Rörflen innehåller ju hög halt kisel. Även ris-agnar innehåller kisel, och där fungerar elektrofilter väl [25]. I fossila kol återfinns kisel som mineraliska inneslutningar, men i biobränslen förekommer kiselsyra, och detta kan ha betydelse.

12.3.17 Textilfilter

Textilfilter ger den bästa avskiljningen av stoft i en panna eldad med trädbränslen, ned till 1 mg/Nm³. Slangfilter är vanligare vid mindre anläggningar eftersom installationskostnaden är lägre än för elfilter. Driftserfarenheter från svenska biobränsleeldade anläggningar ned till 2 MW finns samlade i en Värmeforskrappport [26], där totalkostnaden för slangfilter jämförs med totalkostnaden för elfilter, och skillnaden för anläggningar under 10 MW är till slangfiltrets fördel. Det finns en diskussion om brandrisk i slangfilter. Vissa hävdar att vart och vartannat slangfilter är drabbat av brand, medan andra hävdar att bränder tidigare orsakades av stoftutmatningens utformning (det fanns uppsamlingsfickor där kokspartiklar låg och glödde), och att risk för brand i princip är bortbyggd idag.

För slangfilter är avskiljningsgraden inte proportionell mot ingående stofthalt p.s.s som för elfilter, utan andra faktorer som tryckfall, renssekvenser och partikelstorleksfördelning på stoftet är mer styrande. Ett befintligt slangfilter kan därför i princip användas även när stofthalten ökar, även om dess livslängd kan förkortas p.g.a. ökat slitage.

Det finns begränsad erfarenhet av slangfilter vid förbränning av åkerbränslen förutom av halm. Vid halmeldning används uteslutande slangfilter, eftersom resistiviteten hos stoftet är högt varvid elektrostatiske filter fungerar dåligt. Vid halmeldning består flygaskan huvudsakligen av submikrona partiklar, vilket för med sig att man dimensionerar filtren med relativt låg filterbelastning (filterbelastning = gasflöde/slangfilterarea.). Slangfilter för halmeldning läggs ut med ca 10 % lägre belastning än om bränslet är träflis, och nära 50 % lägre än om bränslet är fossilt kol.

Vid halmeldning används vanligen filtermaterial av polyakrylnitril (PAN) eller aramid. Filter av polyakrylnitril byts varje år, medan aramid byts vart annat eller vart tredje år [43]. Dessa filter utnyttjar den uppbyggda filterkakan för avskiljning av stoftet.

Ett alternativ till filter som utnyttjar filterkaka är membranfilter, dvs en typ av gortexmaterial där ett bärmaterial är belagt med teflon. Ett membranmaterial är mycket tätt så att tryckfallet (och avskiljningen) sker över själva filtret. Membranfiltren har

längre livslängd i en halmpanna än vad ett konventionellt filter har [39]. Filter av gortexmaterial kräver dock god kontroll på förbränningsförhållanden för att inte klibba igen av kolväten i rökgasen. Exempelvis mindre anläggningar som saknar ackumulatortank, och går ner till underhållslast, har en tendens att orsakas igenklibbning av filtren. Svaveldioxid som omvandlas till svavelsyra kan ha negativ inverkan på filtermaterialet. I ett konventionellt slangfilter når svavelsyran vanligtvis inte filtret, utan fångas av filterkakan. I ett membranfilter når svavelsyran filtermaterialet och kan då påverka bärmaterialet (teflonet är inte känsligt).

12.3.18 Andra tekniker för stoftreduktion

Bland andra tekniker för stoftreduktion kan nämnas rökgaskondensering, grusbäddar och våta el-filter. Det finns ett antal tekniker som idag inte används till stoftavskilning vid förbränning av biobränsle, men som rent tekniskt har stor potential [46]. Ett exempel på en teknik som expanderat på marknaden under senare år är en kombination av rökgaskondensering och vått elfilter från 1,5 MW och uppåt [45].

12.3.19 Exempel spannmålseldning, 2 MW

Sala-Heby Energi har en 2 MW panna där de eldar spannmålskärna. Målet är att få ned stofthalten till 100 mg/Nm³, vilket inte lyckas med en multicyklon. Man vill nu testa en ny produkt anpassat för mindre anläggningar; ett vertikalt elektrofilter med ultraljudsrensning [15]. Om allt går i lås kommer elektrofiltret att installeras i höst. Man har även haft problem med kladdiga beläggningar i pannan. Beläggningarna innehöll hög halt kalium. Problemen har minskats genom att krossad dolomit tillsätts bränslet. Dolomittillsatsen verkar även ha en positiv inverkan på stoftet på så vis att andelen bottenaska ökar, men effekten återstår att utvärdera.

12.4 Pågående forskning

Ingen forskning pågår för närvarande på området reduktion av kväveoxider från åkerbränslen.

Ingen forskning pågår för närvarande på området reduktion av dioxiner från åkerbränslen, men förslag till projekt finns inom det kommande STEM-programmet Småskalig värmeförsörjning (< 10 MW).

Ett projekt för mätning, karaktärisering och reduktion av stoft vid eldning av spannmål har beviljats av SLF under 2007.

För reduktion av stoft kan forskning från området småskalig förbränning vara av intresse, om tillstånd för stoftutsläpp inte kan innehållas. Till STEMs kommande program Småskalig värmeförsörjning (< 10 MW) finns flera projektansökningar som behandlar produktutveckling för stoftreduktion.

12.4.1 Stoft - kunskapsluckor och forskningsbehov

Tabell 18. Sammanställning av kunskapsluckor.

Table 18. Compilation of knowledge gap.

Kunskapslucka	Åtgärdens karaktär	Tidsåtgång	Prioritering inom programmet
A) Bildning och karaktärisering av partiklar i rökgasen från olika bränslen och bränsle-blandningar: kemiskt (vad innehåller dom) fysikaliskt (partikelstorleksfördening)	Grundläggande forskning i ask-kemi, bildning av aerosoler, modellering etc	> 3 år	Lägre
B) Bildning och karaktärisering av partiklar i rökgasen från olika bränslen och bränsle-blandningar: kemiskt (vad innehåller dom) fysikaliskt (partikelstorleksfördening)	Mätningar i lab och/eller fullskala. Erfarenhets -insamling och utbyte	< 3 år	Hög
Konsekvenser för hantering av stoftmängder vid ökad avskiljning av stoft: kapacitet för stoftutmatning, lagring, transporter och kostnader för deponering	Utvärdering i fullskala Erfarenhets -insamling och utbyte	< 3 år	Låg
Risk för medtryckning av oförbrända partiklar, (bränslepartiklarnas storlek och uppehållstid i pannans delar)	Utvärdering i fullskala Erfarenhets -insamling och utbyte	< 3 år	Låg
Elektrostatiska filter			
Resistivitet hos partiklar vid olika bränslen	Litteratur-studier Mätningar i lab och/eller utvärdering av fullskala	< 3 år	Medel
Rökgasflöden och fukthalt i rökgasen vid eldning/sameldning med åkerbränslen	Litteratur-studier Mätningar i lab och/eller utvärdering av fullskala	< 3 år	Medel
Textilfilter			
Lämplig filterbelastning vid olika åkerbränslen, stoftets densitet, tryckfall över filterkakan, temperatur i filtren för att undvika syradaggpunkten, hygroskopiska effekter	Mätningar i lab och/eller fullskala Erfarenhetsutbyte	< 3 år	Hög
Slangmaterial: Utvärdera belastade material (hållbar vid olika belastning, påverkan av svavel etc) Nya material	Utvärdering (labanalys) i samband med eldning av olika bränslen Erfarenhetsutbyte	< 3 år	Hög

12.5 Referenser

- [1] Strömberg, B., *Bränslehandboken*, Värmeforsk rapport nr 911, 2005
- [2] IEA, *Biomass Combustion and Co-firing*, 2007
- [3] Videncenter for Halm- og Flisfyring, Videnblad nr 61, 1988
- [4] Centre for biomass Technology, *Straw for Energy production, Technology – Environment – Economy*, Second Edition 1998 www.videncenter.dk
- [5] Houmøller, S., Evald, A., *Sulphur Balances for Biofuel Combustion Systems*, 4th Biomass Conference of the Americas, 1999
- [6] Naturvårdsverket, *Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rök-gaskondensering*, Branschfakta, utgåva 2, mars 2005
- [7] Muntlig kommunikation, Anders Melin Naturvårdsverket
- [8] Muntlig kommunikation, Reidar Värner Petrokraft Miljö
- [9] Andersson, Christer, Bodin, Henrik, Khodayari, Raziye, Odenbrand, Ingemar, Sahlqvist, Åsa (2000). "SCR vid biobränsleeldning - etapp 2; Åtgärder för att förlänga katalysatorns livslängd." Värmeforsk rapport nr 705.
- [10] Andersson, Christer, Kling, Åsa, Odenbrand, Ingemar, Khodayari, Raziye (2002). "SCR vid biobränsleeldning - etapp 3 Regenerering i full skala." Värmeforsk rapport 787.
- [11] Aurell, Johanna, Marklund, Stellan, Kling, Åsa, Myringer, Åse (2005). "Minskad dioxinbildning med hjälp av additiv vid sameldning av skogsbränsle och returbränsle." Värmeforsk rapport nr 928.
- [12] Aurell, Johanna, Kling, Åsa, Liljelund, Per, Andersson, Christer, Marklund, Stellan (2003). "SCR som metod för kombinerad dioxin- och kvävereduktion vid samförbränning av biobränsle och avfall." Värmeforsk rapport nr 823.
- [13] Ejner, Björn (2007). Naturvårdsverket, Muntlig kommunikation.
- [14] Elwin, Erland (2007). "Reducering av kväveoxider från en halmeldad biobränslepanna". Institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- [15] Eriksson, Benny (2007). Sala-Heby Energi.
- [16] Eskilsson, David (2006). "Dioxiner/furaner och hexaklorbensen från småskalig spannmålsförbränning (havre)." Stiftelsen Lantbruksforskning.
- [17] Goldschmidt, Barbara (2004). "Lågtemperaturkorrosion i pannor med SNCR." Värmeforsk rapport nr 847.
- [18] Hedman, B, Burvall, J, Nilsson, C, Marklund, S (2005). "Emissions from small-scale energy production using co-combustion of biofuel and the dry fraction of household waste." *Waste Management* 25 (3): 311-321
- [19] Hedman, B, M, Näslund, Marklund, S (2006). "Emission of PCDD/F, PCB and HCB from combustion of firewood and pellets in residential stoves and boilers." *Environmental Science & Technology* 40(16): 4968-4975.
- [20] Karlsson, Hanna L, Ljungman, Anders G, Lindbom, John, Möller, Lennart (2006). "Comparison of genotoxic and inflammatory effects of particles generated by wood combustion, a road simulator and collected from street and subway."

-
- [21] Kling, Åsa, Andersson, Christer, Myringer, Åse, Eskilsson, David, Järås, Sven G (2007). *"Alkali deactivation on high-dust SCR catalysts used for NO_x reduction exposed to flue gas from 100 MW-scale biofuel and peat fired boilers: Influence on flue gas composition."* Applied Cataysis B: Environment 69: 240-251.
- [22] Kling, Åsa, Myringer, Åse, Eskilsson, David, Aurell, Johanna, Marklund, Stellan (2005). *"SCR vid sameldning av biobränslen och returbränslen."* Värmeforsk rapport nr 932.
- [23] Lavric, Elena Daniela, Alexander , A, Konnov, jacques De Ruyck (2004). *"Dioxin levels in wood combustion - a review."* Biomass and Bioenergy 26: 115-145.
- [24] Lighty, J., Veranth, J.M., Sarofim, A.F. (2000). *"Combustion Aerosols: Factors Governing Their Size and Composition and Implications to Human Health."* Journal of the Air and Waste Management Association 50: 1565-1618.
- [25] Liljedal, Lena (2007). Alstom Power.
- [26] Lindau, Leif (2002). *"Slangfilter vid biobränsleeldade anläggningar. Tillförlitlighet och driftsekonomi."* Värmeforsk rapport 771.
- [27] Marklund, Stellan (2007). Umeå Universitet, Kemiska institutionen, Miljökemi
- [28] Naturvårdsverket (1987). *"Fastbränsleeldade anläggningar 500 kW - 10 MW, Naturvårdsverkets Allmänna Råd 87:2."*
- [29] Naturvårdsverket (2005). *"Kartläggning av oavsiktligt bildade ämnen, Rapport till regeringen 2005-03-31."*
- [30] Naturvårdsverket (2006). *"National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants for Sweden."* www.pops.int/documents/implementation/nips/.
- [31] Naturvårdsverket (2002). *"Utsläpp av ammoniak och lustgas från förbränningsanläggningar som använder SNCR/SCR "*. Fakta Oktober 2002.
- [32] Niemann, Therese, Henningsson, Claes, Andersson, Christer (2000). *"Systemstudie avseende kombinerad NO_x-reducering med SNCR/SCR."* Värmeforsk rapport nr 699.
- [33] Nyholm, Maria (2007). Naturvårdsverket, Muntlig kommunikation.
- [34] RVF (2004). *"Reduktion av svaveldioxidemissioner vid avfallsförbränning med torra rökgassystem."* RVF - Svenska Renhållningsföreningen, Rapport nr 2 2004.
- [35] Rönnbäck, Mariekk, Arkelöv, Olof , Johansson, Mathias (2006). *"Additiv i syfte att förhindra korrosion och sura utsläpp vid spannmålseldning."* SP-rapport 2006:55.
- [36] Rönnbäck, Marie, Arkelöv, Olof (2005). *"Tekniska och miljömässiga problem vid eldning av spannmål - en förstudie."* SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut och Äfab.
- [37] Rönnbäck, Marie, Gustavsson, Lennart, Martinsson, Lars, Tullin, Claes, Johansson, Linda (2002). *"Stoftreningsteknik för biobränsleanläggningar mindre än 10 MW - teknikläge och utvecklingspotential."* Värmeforsk 786.

- [38] Samuelsson, Jessica (2006). *"Conversion of nitrogen in a fixed burning biofuel bed"*. Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- [39] Wieslander, Peter (2007). Alstom Power.
- [40] Wollblad, Hans, Bravida.
- [41] Zheng, Yuanjing, Jensen, Anker Degn, Johnsson, Jan Erik (2005). *"Deactivation of V₂O₅-WO₃-TiO₂ SCR catalyst at a biomass-fired combined heat and power plant."* Applied Catalysis B: Environmental 60: 253-264.
- [42] Catdeact, www.eu-projects.de
- [43] Feldt, Klas-Göran (2007). Simatec.
- [44] Larsson, Ann-Charlotte (2007). *"Study of Catalyst Deactivation in Three Different Industrial Processes"*. Växjö University.
- [45] Svensk Rökgasenergi, www.sre.se
- [46] Rönnbäck, M, Gustavsson, L, *"Avskiljning av submikrona partiklar vid biobränsleförbränning med rökgaskondensering eller kondenserande våta elfilter - Analys av möjligheterna"* Värmeforsk rapport 2006

13 Askhantering och återföring av aska till åkern

Monika Bubholz, Johanna Olson, Pär Aronsson

På grund av de stora askmängder som energigrödor ger är det intressant att undersöka hur askan kan återföras till åkern, speciellt då deponering av askan är kostnadskrävande. Aska från eldning av biobränslen odlad på åkermark kan vara en viktig växtnärsresurs om kvaliteten är tillräckligt god. Återföring av aska till åkermarken är ett led i att knyta kretsloppet närmare.

Även andra restprodukter från samhället återförs redan idag som gödselmedel till jordbruket och ytterligare produkter kan vara intressanta. T.ex. återförs all biogödsel från biogasanläggningar som behandlar källsorterat organiskt avfall från livsmedelsindustrin, handeln, storkök och hushåll. En viss del av det kommunala avloppsslammet återförs också, även om detta starkt ifrågasätts av livsmedelsindustrin. Nyckelfrågor vid återföring av restprodukter från samhället till jordbruket, som t.ex. biobränsleaska, är renhet, kvalitetssäkring, ursprung från åkermark och kvalitetssäkring. Jordbruket betonar starkt att någon ökning av markens metallinnehåll inte får ske vid gödsling med restprodukter.

13.1 Kemisk sammansättning

Aska är ingen enhetlig produkt, utan den kemiska sammansättningen varierar med växtslag, gödsling och årsmån [22]. Sammansättningen påverkas även av vilken teknik som används vid förbränningen och rening av rökgaser samt av aktuella driftsförhållanden i pannan [16]. En aska innehåller nästan alla mineraler och näringsämnen, dock ej kväve, som funnits i det bränsle som använts [20]. Mängden oförbränt material i askan har en stor inverkan på näringsinnehållet i askan [27]. Askan har en hel del goda egenskaper som gör att den näringsmässigt är ett bra gödslingsmedel [27].

13.1.1 Halm

Jämfört med trä har halm en högre askhalt. Askhalten varierar också mellan olika halmarter. I extremfall kan rapshalm ha en askhalt på upp till 15 % men normalvärdet för halm ligger kring 5-8 %. [2]

I halmaska är fosforhalten naturligt lägre än i spannmålsaska, och ligger kring 1 % av ts [15][16]. Enligt resultaten från en studie som genomfördes år 2004 i Danmark var kaliuminnehållet ca 10 % av ts i bottenaska. Innehållet av kalium i halmaska varierar mycket och beror bl.a. på om halmen utsätts för regn eller ej innan den tas in samt av markens kaliumlevererande förmåga [17]. Flygaska innehåller ofta högre halter av lättflyktiga tungmetaller, till exempel kadmium, jämfört med bottenaska. Tabell 19 visar ett exempel på hur sammansättningen i botten-, flyg- och blandaska vid förbränning av halm kan se ut. [1] [3] Nivån på polycykliska aromatiska kolväten (PAH) är åtta gånger lägre hos halmaska jämfört med trä. PAH bildas vid ofullständig förbränning och kan orsaka cancer. Dioxiner är dock särskilt höga i de klorrika bränslena vete-halm och hö [14].

Tabell 19. Sammansättning i botten-, flyg- och blandaska från förbränning av halm. Medelvärden för vete (V), korn (K), råg (R) och raps (Ra) har angetts. Procentandelar av torrs substans (vikt-%) och g/ton ts (ppm) avses.

Table 19. Composition in bottom, fly and mixed ash from combustion of straw. The mean values for wheat (V), barley (K) rye (R) and rape (Ra) are given. Dry substance is measured in (%) and grammes per ton (ppm).

	Bottenaska	Flygaska	Blandaska
P, %	1,4	1,9	1,8
K, %	13,1	22,4	12,6
CaO*, %	21,1	19,2	20,5
Cr, ppm	42,5	28,6	33,6
Ni, ppm	17,7	16,5	16,4
Cu, ppm	41,4	97,1	62,3
Zn, ppm	52,7	872,3	139,8
Pb, ppm	3,4	139,2	20,9
Cd, ppm	0,10	9,0	1,5
Cd/P, mg/kg	29	593	79
Oförbränt, %	9,7	12,0	12,9
Antal prov. V/K/R/Ra	21/11/6/8	10/3/3/3	6/1/4/3
Antal anläggningar	7	3	3

*Askans kalkverkan anges som motsvarande mängd kalciumoxid

13.1.2 Spannmål

Spannmål utmärker sig av en hög mineral- och askhalt. [5] Askhalten hos olika spannmålskärnor varierar, förmodligen beroende på varierande kiselupptag. Havre och korn har en askhalt runt 2,5-3 % av ts och vete och rågvete ligger på en askhalt strax under 2 % av ts. [6]

Vid en analys av främst havreaska år 2006 utgjordes askan i % av ts-halten av ca 10 % fosfor, 10 % kalium och 4 % magnesium. Innehållet av tungmetaller var mycket lågt, t.ex. endast ca 5 mg kadmium per kg fosfor, vilket är lika bra som det bästa mineralgödselmedlet. Andelen citratlösligt fosfor var ca 70 % av totala halten fosfor, vilket medför att fosforgödslingseffekten av havreaska bör vara god. Havreaskans kalkeffekt var mycket låg [15].

13.1.3 Rörflen

Rörflenets askhalt varierar främst beroende på odlingsplatsen. Om rörflenet odlats på mulljord har det ungefär samma askhalt som trädbränsle, ca 2 %, medan rörflen från odlingar på styv lera har haft upp till 16 % askhalt. Detta beror förmodligen på att rörflen tar upp mer kisel på en lerjord. Den låga askhalten hos rörflen från mullrik jord gör att det inte krävs någon större askutmaningsanordning som andra energigrödor

oftast kräver. Jämfört med halmaskan innehåller rörflen mer kisel och mindre kalium. Klorhalten är också betydligt högre i halm jämfört med vårskördad rörflen. [8] [9]

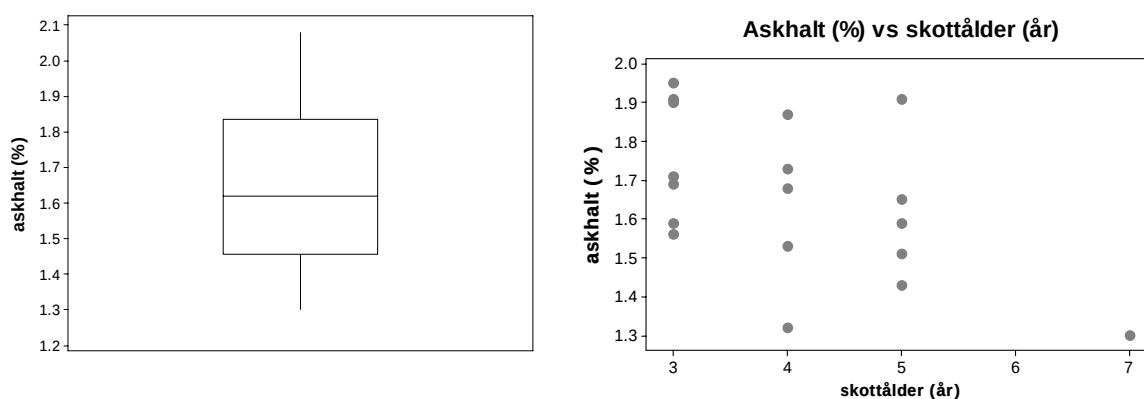
Partiklarna i rörflensaskan är större och mer oregelbundna än trädbränsleaska. Det gör att askpartiklarna lätt hakar i varandra och bildar stora bitar. Detta fenomen beror förmodligen på den höga halten kisel i rörflen.

13.1.4 *Salix*

Pär Aronsson, SLU

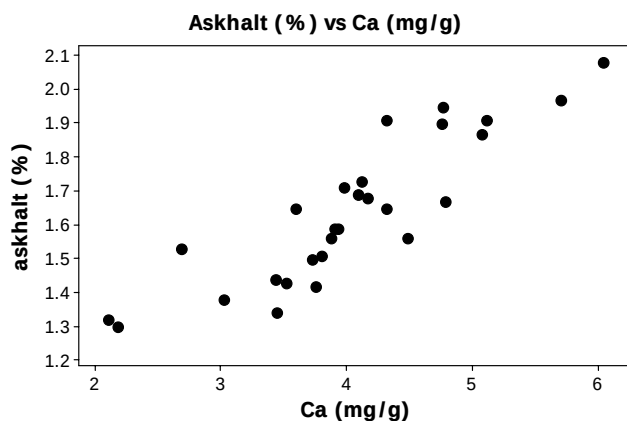
13.1.4.1 *Askhalt*

I en opublicerad studie av Ledin och Vigré (1993) provtogs skott av salix i 28 kommersiella salixodlingar runtom i Sverige. Askhalten i dessa prov varierade något, men var i genomsnitt 1,6 % med en spridning mellan 1,3 och 2,1 % (Figur 22, Ledin & Vigré, opubl. data.). En svag tendens till sjunkande askhalt med ökande skottålder finns i datamaterialet (Figur 22). Askhalten var mycket väl korrelerad med kalciumhalten i veden (Figur 23). Askhalten i studien var i stort i linje med data som presenteras av Strömberg [25] från analys av några få flisprover.



Figur 22. Askhalt i 28 prov av salix presenterat som medianvärde med 25 % kvartiler (vänster) och askhalten i samma prover plottade mot skottålder (höger) (från Ledin & Vigré, opublicerade data).

Figure 22. Ash content in 28 test samples of willow presented as median value with 25-% quartiles (left) and ash content in the same samples plotted against age of sprouts (left) (from Ledin & Vigré, unpublished data).



Figur 23. Korrelationen mellan kalciumhalt i veden och askhalt i 28 prov av salix (från Ledin & Vigré, opublicerade data).

Figure 23. Correlation between calcium content in the wood and ash content in 28 test samples of willow (from Ledin & Vigré, unpublished data).

13.1.4.2 Askans sammansättning

Det finns få studier av kemisk sammansättning av aska från enbart salix. Strömberg [24] presenterar data från några få analyser av salix. Av denna sammanställning framgår att de dominerande ämnena i askan är kalcium och kalium följt av kisel och fosfor (Tabell 20). I askan återfinns också en del tungmetaller, främst zink och mangan, men även koppar och kadmium. Om askan skulle saluföras som gödselmedel skulle kadmiumhalten orsaka problem eftersom gränsvärdet för kadmium är 100 mg Cd/kg P, vilket överskrids med en faktor 22 i Tabell 20 nedan.

Tabell 20. Kemisk sammansättning av aska från salix och fosforkvoten för respektive ämne (omarbetade data från [24])

Table 20. Chemical composition of ash from willow and the phosphorous ratio for each substance respectively

Ämne	P/X kvot	Halt (mg/kg)
Al	17	2170
Ca	0.15	243000
Cd	450	82
Cr	1850	20
Cu	315	120
K	0.30	123000
Mg	1.6	23300
Mn	18	2030
Na	15	2500
Ni	684	54
P	1	37000
Pb	3520	10
Si	0.40	93200
Zn	12	3140

I några studier har återföring av bibränsleaska och/eller rötslam till salixodlingar studerats. Det är dock inte känt om det finns någon studie, där återföring av just salix-aska till salix eller någon annan gröda utförts. I en studie tillfördes bibränsleaska från värmeverket i Enköping, rötslam och blandningar av dessa restprodukter till nyskördad salix i Mellansverige [25]. Syftet var att studera både gödslingseffekten och metallbalansen i systemet. Tillförsel av stora mängder slam-aska-blandning resulterade i tydligt ökat pH i de övre marklagren, sannolikt orsakad av askans basiska egenskaper, men tillförseln påverkade inte upptaget av olika metaller i salix. pH-höjningen kvarstod efter 3 år. Askåterföring till salix bedömdes således inte påverka vedens och därmed askans innehåll av olika ämnen. Däremot bedömdes en viss ökning av markförrådet ske av alla metaller utom kadmium, vilka förhållandevis effektivt tas upp av salix.

Det föreligger ett antal internationella studier av slamgödsling av salix. Dessa har begränsat värde för svenska förhållanden eftersom mängden tillfört slam, och därmed tillförda mängder metaller, i flertalet studier vida överstiger de gränsvärden som tillämpas sedan många år i Sverige. När salix används för att aktivt rena mark från tungmetaller kan höga metallhalter påvisas i veden [27], vilket sedan påverkar askans sammansättning. Detta är emellertid en mycket begränsad företeelse och kan knappast antas utgöra ett problem i praktiken.

13.1.5 Hampa

Förutom den information som bränslehandboken ([25]) ger så finns det inga publicerade resultat kring hampaskans innehåll.

13.2 Hantering av askan

13.2.1 Askutmatning

Askrika bränslen som energigrödor kräver en askutmatningsutrustning som kan hantera dessa volymer. Stora pannor har alltid en automatisk askutmatning men små pannorna måste askas ur oftare. Detta gör att förbränning av biobränslen från åkerbränslen i små pannor lämpar sig bäst för pannor med automatisk utaskning eller rörlig rost. [10]

När bottenaskan faller ut ur en rosterpanna hamnar den normalt i ett vattenbad. Våt transport av askan från pannan förhindrar att luft läcker in till förbränningen samt släcker eventuell kvarvarande glöd i askan. Risken för att askan ska damma vid hanteringen minskar också med vattenbad. Från askbadet transporteras askan vanligen med skraptransportör till en skruv som för den vidare till en container. [1] [3] [11]

Hantering av torr bottenaska sker med en askskruv. Skruven avaskar pannan via en cellmatare till en askbehållare. Därifrån för en transportskruv askan till en container. [12]

Vid den efterföljande lagringen torkar askan en del när vatten avdunstar och rinner av. Lakvattnet bör tillvaratas då det innehåller en mycket hög koncentration av salter och andra föroreningar från askan. Askan bör även skyddas mot nederbörd under sin förvaring. [1] [12]

Både torra och våta system fungerar tekniskt sätt tillfredsställande. Våt utmaning har som ovan nämnts sina fördelar men skapar också miljöproblem på grund av den höga halten föroreningar i vattnet. Torr utmatning kan i större utsträckning råka ut för driftstörningar i samband med stopp i utaskningsskruven eller cellmataren. Risken är störst när man eldar halm vilket lett till att våt utmatning är den dominerande typen vid halmförbränning. [12]

Flygaskan avskiljs med cyklon eller filter och transporteras via transportskruv till en kedjeskrapa. För den typ av anläggningar där det idag finns erfarenhet från förbränning av halm så blandas flygaskan med bottenaskan. Analyser från 23 värmeanläggningar med framförallt spannmål men också halm och havreskal visade att flygaskorna inte har uppvisat sådan förhöjning av tungmetaller att det motiverar särbehandling utan de kan blandas med bottenaska utan kvalitetsförändringar. Om flygaskan innehåller för höga halter av tungmetaller bör den istället deponeras. Metoder för rening av askan från tungmetaller har undersökts i tidigare studier. [3] [11] [13] [28]

13.2.2 Härdning av askan

När aska förvaras sker flera kemiska reaktioner i askan. Om det finns tillgång till vatten omvandlas snabbreaktiva oxider till hydroxider. Dessa omvandlas vid kontakt med luft till karbonater och askan härdar. Askans kalkverkning blir mer utsträckt i tiden och risken för en pH-chock i samband med spridningen på åker minskar. [1]

Härdning som äger rum i våt aska direkt efter utmatningen ur pannan har noterats vara relativt omfattande. Alltför kraftig härdning kan ge problem vid spridningen eftersom härdad aska består av hårda klumpar. Askan bör därför krossas före användningen för att den ska kunna spridas jämnt. [1]

Det kan vara svårt att härda aska som innehåller stor andel oförbränt material. Sådan aska är vattenavstötande. Att sprida torr aska är olämpligt eftersom det är svårt att fördela den jämt över åker och den innehåller även reaktiva oxider som utgör en hälsorisk vid inandning. Askan bör därför fuktas upp och här kan liknande teknik användas som vid våtutmatning ur pannor. [1]

13.2.3 Pelletering och granulering

I Sverige förekommer idag ingen granulering eller pelletering av aska från jordbruksgrödor. Inom skogsområdet har det däremot gjorts försök både med granulering och pelletering av aska. Stora Enso och AssiDomän drev ett fullskaligt projekt med valspelletering av aska 1999-2003 [19][21]. Studien visade att valspelleteringstekniken fungerade bra i stor skala utan behov av ytterligare utveckling av valspelleteringsprincipen. Forskare vid LTH har tillsammans med Kemira gjort försök med granulering av aska. Ett mål med att granulera aska kan vara att askhanteringen underlättas samt att produkten blir mer enhetlig [29]. I skogsmarker ger aska i pulverform snabb effekt, medan stabiliserad, härdad och granulerad aska oftast är mer svårslös och skonsam [20].

Vid ett ramförsök i Danmark år 1994 studerades gödselverkan hos halmaska och slam [17]. Halmaskan och slammet spreds både som råmaterial, som torkad och delvis pulveriserad och som granulerad. Försöket visade att fosforverkan var lägre i det behandlade materialet än i det obehandlade.

För att lantbrukaren ska kunna gödsla med givor som passar för en grödas årsbehov är pelletering eller granulering en förutsättning.

Det är svårt att undvika förrådsgödsling vid spridning av obehandlad aska. Pelletering eller granulering är därför en förutsättning vid spridning av givor som är anpassade efter en grödas årsbehov.

13.3 Spridningsteknik

Största andelen spannmålsaska kommer idag från mindre gårdsanläggningar där askan sprids i samband med övrig gödselhantering [15]. Spridning av aska från åkergrödor är inte reglerat i miljölagstiftningen. I avsaknad av särskilda rekommendationer för aska från åkergrödor kan de gränsvärden som finns för gödsel och avloppsslam användas som utgångspunkt. Vid odling enligt Svenskt Sigill finns ej aska från biobränslen med bland de tillåtna gödselmedlen [23].

Spridningstester med aska från åkerbränslen har främst genomförts med traditionella maskiner som tagit fram för spridning av stallgödsel och kalk. Exempel på maskiner som använts både i spridningstesterna och ute på gårdarna i den vanliga driften är olika typer av stallgödselspridare och kalkspridare. För att askan ska kunna spridas i spridare för handelsgödsel måste den vara i granulerad form.

Spridningstesterna har visat att spridningsbilden påverkas i stor utsträckning av askans egenskaper [14]. Exempelvis de askor som innehåller sintrade klumpar kan orsaka en ojämn spridningsbild. Ojämnheten förstärks även av att näringsämnena i de sintrade klumparna frigörs långsammare än från finfördelad aska. Även lagringen av askan påverkar askans spridningsegenskaper. Exempelvis en torr aska dammar och kan vara svår att sprida brett [15]. Askhanteringen kan underlättas genom att askan blandas med exempelvis flytgödsel [16].

Kravet på spridningsjämnhet bör ställas i relation till askans användning. Om askan tillförs i syfte att förrådsgödsla eller kalka är effekten av ojämn spridning mindre än om askan tillförs i syfte att täcka årets behov.

13.4 Lämpliga grödor att odla efter spridning av aska

I en studie år 1989 gjordes odlingsförsök med vårsäd, potatis, örter, oljeväxter och sallad i kärl med vetehalmaska som gödselmedel [13]. Aska tillsattes i kärlet motsvarande 0, 2, 4 och 10 ton/ha. Resultaten från försöket visade att med ökande askgiva steg pH i kärlet. Inga av grödorna påverkades negativt av askan som gödselmedel.

Det vore intressant att göra fler odlingsförsök med åkergrödor och undersöka hur de reagerar på gödsling med olika askor från bioenergigrödor från åkermark.

13.5 Emissioner/miljöpåverkan från hantering och användning

Eftersom askor generellt har ett högt pH måste de spridas i samband med plöjning, på obeväxt mark eller, i fråga om fleråriga grödor, omedelbart efter skörd [16]. På det viset undviks skadliga effekter på plantor och skott. För att undvika för höga växtnäringskoncentrationer och utnyttja växtnäringsämnena maximalt bör inte mer än 1-2 ton ts aska spridas per gödsling, enligt en rapport från Energigården (2007) [15]. Askgivan beräknas då räcka i ca 4-8 år.

En höjning av pH i marken medför ökad nitrifikation, som i sin tur kan leda till en ökad kväveutlakning. Då kalk tillförs till marken med syfte att höja pH görs detta på obeväxt mark på hösten, vilket anses acceptabelt vad gäller risk för utlakning av kväve. Detsamma borde gälla för aska från stråbränslen [16].

Enligt Hadders & Flodén (1997) är spridning av torr aska olämpligt pga. att den innehåller reaktiva oxider som vid inandning utgör en hälsorisk [16].

13.6 Ekonomi

Aska från åkergrödor behandlas som en avfallsprodukt och säljs inte som gödselmedel i Sverige idag. Det skulle vara intressant att undersöka vilka möjligheter som finns för producenter av aska från åkergrödor att kunna sälja askan som gödselmedel. En eventuell förädling av askan skulle kunna göra den mer konkurrenskraftig som gödselmedel.

13.7 Pågående forskning

Institutionen för biometri och teknik (BT) vid SLU och JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik har ett projekt med titeln ”Askinblandning i biogasrötrest”. Arbetets syfte är att studera teknik och system för inblandning av aska i biogasrötrest. I arbetet ingår både laboratoriemätningar och spridningsförsök i fält. Laboratoriemätningarna har genomförts och visade bl.a. att en inblandning av aska i rötresten ej ökade avgången av ammoniak, att askorna innehåller mycket slipande material som kan ge problem med ökat slitage i spridningsutrustningen, att risken är stor för att besvärliga bottenatser bildas i spridartanken samt att endast en mindre del av havre- och halmaskorna är lösliga i vatten. Projektet kommer att avslutas i mars 2008.

13.8 Referenser

- [1] Hadders G & Flodén S; ”Spridning av aska från stråbränslen på åkermark, Förutsättningar och rekommendationer”, JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 234 1997
- [2] Vetter A; ”Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung”, Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 36-49
- [3] Bernesson S & Nilsson D; ”Halm som energikälla”, Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:07 Uppsala 2005
- [4] Hartmann H; ”Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen“, Gülzower Fachgespräche Band 17 Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse Tautenhain maj 2001, 62-84
- [5] Brökeland R, Bühl R & Hiendlmeier S; ”Heizen mit Energiekorn” C.A.R.M.E.N. augusti 2006
- [6] Hadders G, Arshadi M, Nilsson C & Burvall J; ”Bränsleegenskaper hos spannmålskärna, betydelsen av jordart, sädesslag och sort”, JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 289 2001
- [7] Rönnbäck M & Arkelöv O; ”Tekniska och miljömässiga problem vid eldning av spannmål – en förstudie”, SLF januari 2006
- [8] Johansson H; ”Resultat av forskningsprogrammet Stråbränsle” Stockholm maj 1997
- [9] Paulrud S, Nilsson C; ”Briquetting and combustion of spring-harvested reed canary-grass: effect of fuel composition”, Biomass and Bioenergy 20 2001, 25-35
- [10] Burvall J; ”Rörflen som bränsleråvara”, Fakta Teknik, Nr 1 1997
- [11] Nikolaisen L (ed); ”Straw for Energy Production – Technology - Environment - Economy”, andra upplagan The Centre for Biomass Technology Köpenhamn 1998
- [12] Hansen M T; ”Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselanlæg” Miljøministeriet Miljøprojekt Nr. 962 2004

- [13] Marmolin C, Gruvaeus I, Ugander J, Lundin G; ”Återföring av aska från bioenergigrödor odlade på åkermark”, Energigården 2006
- [14] Carlfelt, M.; *Halmaska som gödselmedel: Effekt på tungmetallupptag vid odling av jordbruksgrödor*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och miljövärd, rapport 36, Uppsala, 1989
- [15] Flodén, S.; Spridning av aska från stråbränsle med spridare från stallgödsel, JTI-rapport 211, Uppsala, 1995
- [16] Gruvaeus, I., Lundin, G., Marmolin, C. & Ugander J.; *Återföring av aska från bioenergigrödor odlade på åkermark*, Energigården Slutrapport, Hushållningssällskapet och JTI, 2006
- [17] Hadders, G. & Flodén, S.; Spridning av aska från stråbränslen på åkermark – Förutsättningar och rekommendationer, JTI-rapport 234, Uppsala, 1997
- [18] Hansen, J.F. & Kjellerup, V.; Gødningsevirkning af fosfor og kalium i slam og i halmáske. Rammeforsøg. SP-rapport nr 14, Landbrugsministeriet Statens Planteavlsforsøg, 1994
- [19] Hansen, M.; *Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselanlæg*, Miljøministeriet, Miljøprojekt nr 962, 2004
- [20] Högbom, L., Lövgren, L. & Nordlund, S.; *Rapport Etapp 2 – Miljöeffekter i skogen vid spridning av valspelleterade askprodukter*, Statens energimyndighet, projekt P11647-1, Stora Enso Environment och SkogForsk, Uppsala, 2003
- [21] Lundborg, A.; Retur av aska från skogsbränslen. Bioenergi 6/1997, s.35-37
- [22] Lövgren, L., Lundmark, J-E. & Jansson, C.; *Rapport Etapp 1 - Kretsloppsanpassning av bioaskor. Utvärdering av ny teknik för pelletering av bioaska med avseende på dels driftsegenskaper, dels miljöeffekter i skogen av askåterföring*, Statens energimyndighet, projekt P11647-1, Stora Enso Environment och AssiDomän AB, Falun, 2000
- [23] Sander, M.L. & Andrén, O.; Ash from cereal and rape straw used for heat production: Liming effect and contents of plant nutrients and heavy metals. Water, Air and Soil Pollution, vol 93, issue 1-4, s. 93-108, Dordrecht, 1997
- [24] Svenskt Sigill; Handbok för IP SIGILL Gård 2007, s. 19-20, Stockholm, 2007
- [25] Strömberg, B. Bränslehandboken. Värmeforsk. F-324. ISSN 0282-3772. Stockholm, 2004.
- [26] Dimitriou, I., J. Eriksson, A. Adler, P. Aronsson T. Verwijst, 2006. Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. Environmental pollution 142 (1) 160-169.
- [27] Aronsson, P. & Perttu, K. 1994. Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges - a biological purification system. Swed. Univ. Agric. Sci., Department of Ecology and Environmental Research, Report 50. ISBN 91-576-4916-2. Uppsala, Sweden.
- [28] Wikman, K., Berg M., Bjurström H., Nordin A; ”Termisk rening av askor”

13.8.1 Personliga meddelanden

- [29] Marmolin, C.; Miljörådgivare vid HS Skaraborg, 2006

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35