



Förutsättningar för användning av rörflensbriketter och hackad rörflen i mindre värmecentraler

Susanne Paulrud, Kent Davidsson, Magnus A Holmgren
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Henry Hedman, Rikard Öhman, Joel Leffler
Energitekniskt Centrum ETC i Piteå

Förutsättningar för användning av rörflensbriketter och hackad rörflen i mindre värmecentraler

Susanne Paulrud, Kent Davidsson, Magnus A
Holmgren
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Henry Hedman, Rikard Öhman, Joel Leffler
Energitekniskt Centrum ETC i Piteå

Abstract

The conditions for use of reed canary grass briquettes and chopped reed canary grass in small heating plants

The aim of this study was to test fuel blends of briquettes and chopped reed canary grass in three existing heating plants (50 kW – 500 kW) and elucidate the requirements for good performance and low emissions. In addition, the study investigated production of reed canary grass briquettes using a Polish screw press developed for straw. Some tests with a bale shredder were also undertaken. The screw press technique is of interest for reed canary grass because it is a simple technique, easy to handle, developed for small scale production, and for straw. The test with reed canary grass in this study showed that the technique worked well but that further adjustments and a longer test period are needed in order to achieve higher bulk density and mechanical strength. The test with chopped reed canary grass shows that a system with a forage harvester is slightly more effective than baling and cutting in a bale shredder.

The study concluded that few existing heating plants of size 50 kW-1 MW that currently use wood fuels will be able to use reed canary grass without adjustment, conversion or replacement of the combustion equipment. Reed canary grass has 15-20 times higher ash content than wood briquettes and 2-3 times higher ash content than forest residue; the combustion equipment must be able to handle these properties. The boiler must be equipped with a continuously operating ashing system and it must be possible to move the ash bed mechanically. There is a risk of high content of unburned matter if the residence time in the boiler is too short, due to the structure and low bulk density of the reed canary grass ash. Using a blend of wood briquettes and reed canary briquettes results in lower ash content, but also affects the ash chemistry and tends to lower the initial ash fusion temperature compared to using 100 % reed canary grass. Blending chopped reed canary grass and wood chips in an existing small scale heating plant also requires measures to achieve an even fuel blend and uniform feed to the boiler.

To facilitate the development of reed canary grass as an energy crop, it is important that potential users have access to an overview and assessment of appropriate combustion techniques on the European market today. More demonstration projects are also needed, as well as practical development of fuel handling systems, combustion systems, flue gas cleaning and combustion control systems.

Key words: reed canary grass briquettes heating plant

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2010:60
ISBN 978-91-86622-01-5
ISSN 0284-5172
Borås 2010

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	6
Sammanfattning	7
1 Inledning	9
1.1 Mål	10
2 Rörflen som bränsleråvara	10
2.1 Kemisk sammansättning och bränsleegenskaper	11
3 Beskrivning av försöken och metoder	12
3.1 Brikettering av rörflen i en polsk skruvpress	12
3.1.1 Råmaterial	12
3.1.2 Briketteringsanläggningen	12
3.1.3 Kapacitet och volymvikt	15
3.2 Odling och skörd av hackad rörflen	15
3.2.1 Sönderdelning av bränsle	16
3.3 Förbränning av rörflensbriketter i befintliga värmeanläggningar	17
3.3.1 Förbränningsanläggningen vid Öknaskolan	17
3.3.2 Förbränningsanläggningen vid Gullberga Lantbruk i Kungälv	18
3.3.3 Förbränningsanläggningen i Hemmingsmark	19
3.3.4 Bränsle och analyser	20
3.3.4.1 Briketter	20
3.3.4.2 Kemiska analyser på bränsle och aska	21
3.3.5 Försöksplan	22
3.3.6 Rökgasanalyser	23
3.3.7 Temperatur och påslag	23
4 Resultat	24
4.1 Brikettering av rörflen i en skruvpress	24
4.2 Skörd och balrivning i Hemmingsmark	24
4.3 Förbränning av rörflensbriketter vid Öknaskolan	26
4.3.1 Bränsleanalyser	26
4.3.2 Inledande förbränningstester vid Öknaskolan	27
4.3.3 Förbränningsförsök med rökgasanalyser	28
4.3.4 Påslag av beläggningar	30
4.3.5 Askanalyser	31
4.4 Förbränning av rörflensbriketter vid Gullberga Lantbruk	34
4.4.1 Bränsleanalyser	34
4.4.2 Förbränningsförsök med rökgasanalyser	35
4.4.3 Askanalyser	36
4.5 Förbränning av hackad rörflen och briketter i Hemmingsmark	37
5 Rörflensbriketter i små och mellanstora förbränningsanläggningar	40
5.1 Användning av rörflensbriketter från Låttträ Gård-potentiella anläggningar och ekonomiska förutsättningar	42
6 Diskussion och slutsatser	42

7 Referenser**46**

Förord

Rapporten redovisar resultaten från två projekt; "Förutsättningar för rörlensbriketter i befintliga närvärmeanläggningar" (I) och "Bränsleberedning och förbränning av exakthackad rörlen" (II) inom Energimyndighetens program "Småskalig värmeförsörjning med biobränsle". Utöver Energimyndigheten har projekten finansierats av Länsstyrelsen i Norrbotten. Därtill har medverkande aktörer Teem Combustion Group AB (TCG), Låtra Gård Bioenergiprodukter samt SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) bidragit med egen medfinansiering. Projekten har genomförts i samarbete mellan SP och Energitekniskt Centrum ETC i Piteå och där diskussioner av analyser, försök, logistik och rapportskrivande varit aktuellt.

Från SP har Susanne Paulrud, Kent Davidsson och Magnus A Holmgren medverkat och från ETC har Henry Hedman, Rikard Öhman och Joel Leffler medverkat. I projekt (I) har Göran Winkler på Låtra Gård samt Niklas Hansson TCG, medverkat. Därtill har Klas Krusell och Per-Uno Karlsson medverkat vid förbränningsförsöken. I projekt (II) har anläggningsägare Per Westerlund, Energifrakt i Piteå AB medverkat vid förbränningsförsöken. För bränsleframtagning har rörlensodlare, Torvald Grahns ansvarat för skörd och leverans av exakthackad rörlen.

Vi vill tacka deltagare och finansiärer som har bidragit till att projekten har gått att genomföra.

Susanne Paulrud

Henry Hedman

SP Borås, september 2010.

ETC Piteå, september 2010

Sammanfattning

Rörflen är en energigröda som bedöms ha bra förutsättningar att odlas i både norra och södra Sverige. Vid introduktion av ett nytt bränsle som rörflen på värmemarknaden är det viktigt att klargöra bränslets förutsättningar att utnyttjas i befintliga mindre och mellanstora värmeanläggningar (50 kW-5 MW) som idag använder trädbränsle. I detta storlekssegment finns det anledning att tro att biobränslen med lägre kvalitet såsom rörflen kan komma att användas i större omfattning i framtiden än idag. Anledningen är att dessa pannor ofta är installerade i lantbruk eller i mindre värmeanläggningar på landsbygden där åkergrödor finns lokalt tillgängligt. Åkergrödor som rörflen kommer åtminstone inledningsvis att finnas i små spridda volymer, samtidigt som de är skrymmande att transportera och bör därför förädlas eller användas i närheten av resursen. I den här studien har ingått att testa briketter samt bränslemixar av briketter och hackad rörflen i tre befintliga värmecentraler samt klargöra kraven för en tillfredsställande funktion och miljöprestanda. Därtill har ingått att göra briketteringstester med rörflen i en polsk skruvpress utvecklad för halm samt har tester med en balrivare utförts.

Skruvpresstekniken är intressant för rörflen då den är enkel, lättskött och speciellt utvecklad för en småskalig produktion med stråbränsle som råvara.

Briketteringsförsöket med rörflen i den här studien visar att tekniken fungerar bra med rörflen men att justering och längre tester krävs för att få en något högre volymvikt och en bättre hållfasthet på briketterna. Försöken med hackad rörflen visar att ett system med exakthackad rörflen är ett något kostnadseffektivare än rundbalning och sönderdelning i en balriv.

Mixar av röflensbriketter och träbriketter med upp till 20 % rörflen fungerade tillfredsställande i en 500 kW rosterpanna av trapprostmodell för trädbränslen. Dock krävdes viss ombyggnad av askutmatningssystemet. Att mixa trä och rörflen håller nere askhalten men påverkar askkemin och tenderar att sänka initiala asksmälttemperaturen jämfört med att använda 100 % rörflen. Vid en blandning av 20 % rörflen och 80 % trä sänktes den initiala asksmälttemperaturen från 1420 °C till 1190 °C. Rörflen har 15-20 gånger högre askhalt än träbriketter och 2-3 gånger högre askhalt än skogsbränsle (grotflis) vilket resulterar i tätare sotningsintervall, tömning av askcontainers, större slitage mm. För den närvärmeanläggning på 500 kW där testerna utfördes skulle en ökad drift och underhållskostnad med 20 % motsvara en extrakostnad på ca 100 kr/ton bränsle vilket idag skulle innebära en betalningsvilja för röflensbriketterna på ca 1240 kr/ton (300 kr/MWh). Försöken med 100 % röflensbriketter i en Catfirepanna för askrika bränslen visade låga och stabila värden på CO och stoft under mätperioden men höga oförbränthalter i askan på över 20 %, vilket tyder på att uppehållstiden för bränslet i pannan var för kort. Att blanda in hackad rörflen i befintliga mindre pannanläggningar för flis kräver även åtgärder för att få en jämn bränsleblandning och inmatning till pannan. Enligt resultaten i den här studien uppstod problem vid en inblandningsgrad på 20 % i en fliseldad anläggning på 400 kW p.g.a. stor askuppbyggnad i brännaren.

Huruvida rörflen i framtiden kommer att användas som inblandning i befintliga anläggningar som använder trädbränsle idag eller i speciellt anpassade pannor för

askrika bränslen varierar från fall till fall men bedömningen är att anläggningar i den mindre effektklassen 50 kW-1 MW har bäst förutsättningar att använda rörflen i pannor speciellt anpassade för askrika bränslen. I effektklassen 1-5 MW bedöms även inblandningar motsvarande 10-20 % rörflen vara ett alternativ. Dessa anläggningar har bättre möjligheter att styra och kompensera för olika bränslekvaliteter och ojämnheter i bränslet. Detta förutsätter dock att rörflen kan hanteras på ett kostnadseffektivt sätt med fungerande transportörer och inmatning. Briketterna har här en fördel jämfört med att använda hackat rörflen. För att få ekonomi i produktionskedjan vid brikettering av rörflen krävs dock att värmeverken är villiga att betala priset för en förädlad produkt.

För att underlätta utvecklingen av rörflen som energigröda finns behov att potentiella användare bl.a. får tillgång till en samlad tekniköversikt och värdering av lämplig förbränningsteknik för askrika bränslen som finns på den Europeiska marknaden idag. Fler utvecklingsprojekt behövs där teknikföretagen kan hitta lösningar för att anpassa tekniken i anläggningar som är i drift idag till nya råvaror både vad gäller bränslehanteringssystem och förbränningstekniken. För att kompensera för olika bränslekvaliteter krävs också en god styrning av luft- och bränsletillförsel. Här kommer utveckling av sensortekniken att bli allt viktigare i form av både CO-sensorer och NO_x-sensorer. Förbränningstekniken måste utvecklas till att klara större askvolymen och mekaniskt kunna bearbeta och mata ut askan. Viktigt är att inte bara fokusera på askhalten utan även strukturen på askan då exempelvis rörflensaskan skiljer sig avsevärt från träaskan.

1 Inledning

En generell bedömning är att behovet av bibränslen kommer att öka i framtiden (SOU, 2007; Ericsson och Börjesson, 2008; SVEBIO, 2008). Detta i sin tur kan öka potentialen för nya bibränsleråvaror i små och medelstora förbränningsanläggningar (50 kW-5 MW).

Rörflen (*Phalaris arundinacea*) är en energigröda som bedöms ha bra förutsättningar att odlas i både norra och södra Sverige för användning i närvärmeanläggningar och mindre fjärrvärmeanläggningar (50 kW-5 MW) (Paulrud m.fl., 2009). I detta storlekssegment finns det anledning att tro att bibränslen med lägre kvalitet kan komma att användas i större omfattning i framtiden än idag. Anledningen är att dessa pannor ofta är installerade i lantbruk eller i mindre värmeanläggningar på landsbygden där åkergrödor eller rester från jordbruk finns lokalt tillgängligt. Åkergrödor som rörflen kommer åtminstone inledningsvis att finnas i små spridda volymer, samtidigt som de är skrymmande att transportera och bör därför förädlas eller användas i närheten av resursen. (Paulrud m.fl., 2009, Jonsson m.fl., 2010).

Tidigare studier har också visat att brikettering av rörflen är en intressant framtida produktionskedja och ett exempel på en produktionskedja som har potential att bli lönsam för framförallt småskaliga producenter (<10 000 årston producerat bränsle) (Paulrud m.fl., 2009). Kalkyler visar att produktionskostnaden för rörflensbriketter är ca 294 kr/MWh för en anläggning med en årsproduktion på 2500 ton förutsatt att briketteringskedjan fungerar med samma automatik som för träbriketter (Paulrud m.fl., 2009). Det är en kostnad som ligger under priset på träbriketter i regionen 2010 (ca 317 kr/MWh). Alternativet till att göra briketter av rörflen är att elda rörflen i hackad form. Produktionskostnaden för balat och lastat rörflen från fältkant är enligt kalkyler ca 200 kr/MWh, till detta kommer kostnaden för transport och sönderdelning vid anläggningen (Paulrud m.fl., 2009); en kostnad som fortfarande är något hög för att konkurrera med dagens flispriser (200 kr/MWh). Jämfört med de traditionella jordbruksgrödorna är rörflen fortfarande en ny gröda med potential att sänka kostnader i flera delar av kedjan. Fortsatt teknikutveckling krävs bl.a. vad gäller skörde-, hantering och lagringssystem.

En viktig förutsättning för att kunna öka produktionen av nya råvaror som rörflen är att det finns potentiella användare som har förbränningsteknik som gör det möjligt att använda dessa bränslen med få driftstörningar och acceptabla emissioner (NO_x och partiklar mm). Tidigare förbränningsförsök med rörflen har visat att förbränningstekniskt har rörflen sämre egenskaper än ren träråvara. På miljösidan ökar utsläppen av bl. a. kväveoxider (Erhardsson m.fl. 2006, Paulrud & Nilsson, 2001). Högre askhalt kan leda till driftproblem och ökade driftkostnader om inte anläggningen är anpassad för askrika bränslen. Hårdare miljökrav kan i framtiden leda till större krav på partikelutsläpp.

Tidigare studier kring förbränning av rörflensbriketter har varit av mer grundläggande karaktär där pannor speciellt designade för svårare askrika bränslen har använts (Larsson m.fl. 2004, Paulrud & Nilsson, 2001). Därtill har

förbränningsförsök med inblandning av hackad rörflen utförts i stora fluidbäddspannor (Örberg m.fl., 2010).

Kunskapen är i dag relativt god vad gäller rörflens bränsle- och askegenskaper men för att rörflen ska nå en kommersiell marknad är det viktigt att dels utvärdera vilken förbränningsteknik som fungerar bra med rörflen och dels utföra tester i befintliga värmeanläggningar som är i drift och klargöra kraven för att rörflen ska kunna nyttjas i dessa anläggningar. Praktiska tester ute i anläggningarna ger dessutom en bra helhetsbild då byte eller inblandning av nya bränslen ofta påverkar hela bränslekedjan från lagring, inmatning, förbränning till utsläpp av emissioner. Det bör dock påpekas att varje förbränningsanläggning är unik och olika problem kan uppstå i varje anläggning vilket gör det svårt att dra generella slutsatser vid den här typen av försök.

1.1 Mål

Det övergripande målet med projekten är att öka kunskapen hur briketter av rörflen och hackad rörflen kan öka i användning i mindre värmecentraler.

I projekten ingår att testa bränslemixar av briketter och hackad rörflen i tre befintlig värmecentraler samt klargöra kraven för en tillfredsställande funktion och miljöprestanda. Därtill ingår att göra briketteringstester med rörflen i en polsk skruvpress utvecklad för halm samt utföra tester med en balrivare.

2 Rörflen som bränsleråvara

Rörflen är ett flerårigt gräs som kan odlas i hela landet. Kvaliteten och skördemängden beror på vilken mark som valts, vilken sorts rörflen som såtts och hur gödslingen har skett. Första skörden tas på våren två år efter sådd och är ca 20 % lägre än följande års skördar. Skördenivån från andra året ligger på ca 4-6 ton ts/ha vid normala förhållanden för vårskörd. Om rörflen bärgas tidigt på våren är torrsubstansen normalt mellan 80-90 %. Vårskördad rörflen kan pressas med både rundbals- och storbalsteknik, s.k. HD-press.

Försök har tidigare utförts i olika förbränningsanläggningar med oförädlat och förädlat bränsle (briketter, pellets). Förbränningstekniskt har rörflen sämre egenskaper än trädbränslen men något bättre egenskaper än halm, och med en anpassad förbränningsutrustning så har rörflen potential att användas i mindre värmecentraler (Erhardsson m.fl., 2006, Paulrud & Nilsson, 2001).

Produktionskostnaden är idag något för hög för att bränslet ska vara konkurrenskraftigt för storskalig användning i anläggningar för oförädlat biobränsle. Det finns dock potential att utveckla en effektivare produktionskedja och få ner kostnaderna.

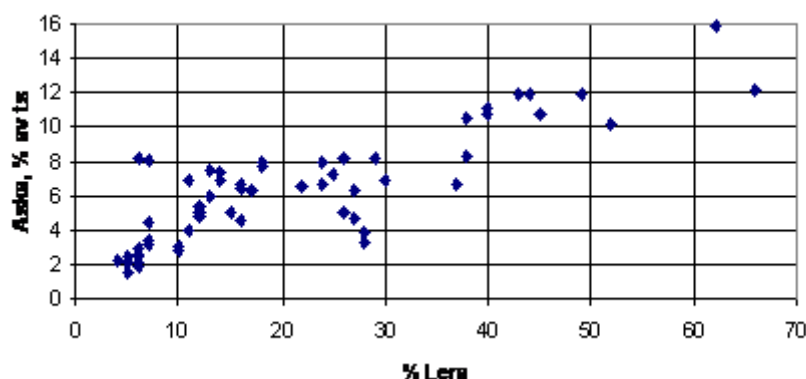
Liksom för halmen är problemet för många värmeanläggningar att kunna ta emot och hantera rörflen i form av balar. Utveckling pågår nu i Finland (Pahkala m.fl., 2008) för att hitta effektiv teknik för att vid anläggningen sönderdela balarna och mixa materialet innan förbränningen i pannan. Ett alternativ till att ta emot materialet i form av balar är att leverera bränslet i hackad form, men för att få en

effektiv transportekonomi krävs korta transportavstånd, enligt tidigare studier kortare än 20 km (Lindh m.fl., 2008, 2005).

Försök har visat att rörflen har goda förutsättningar att användas som råvara i lokala småskaliga förädlingsanläggningar (Paulrud m.fl., 2009). Brikettering bedöms i dagsläget vara den förädlingsform som är att föredra då pelletering är dyrare och ofta kräver en småskalig privat marknad för att löna sig. Ur förbränningsynpunkt bör rörflen inte användas i villapannor (se stycke 2.1). Genom att förädla rörflen till briketter ökar användningsområdet genom att briketter är mindre transportkänsliga och förutsättningarna blir bättre för att kunna använda råvaran i mindre och mellanstora förbränningsanläggningar (< 5 MW).

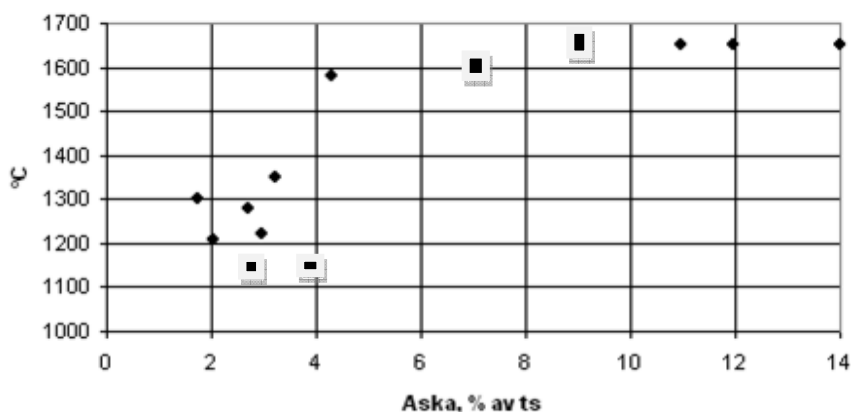
2.1 Kemisk sammansättning och bränsleegenskaper

Vid jämförelse av kemisk sammansättning och bränsleegenskaper hos rörflen med skogsbränsle och stamvedsbriketter har rörflen ca 15-20 gånger högre askhalt än träbriketter och 2-3 gånger högre askhalt än skogsbränsle. Askhalten varierar dock beroende på vilka jordar rörflen odlas på. Tidigare studier har visat på askhalter mellan 2 till 12 % (Burvall m.fl., 1997, Paulrud m.fl., 2001). Generellt har rörflen som odlas på ler- och sandjordar högre askhalt jämfört med rörflen som odlas på myr- och mulljordar. Figur 1 visar inverkan av jordens lerhalt på askhalten i rörflen (Burvall m.fl., 1997). Den höga askhalten i rörflen ställer krav på att förbränningsutrustningen kan hantera detta. Rörflensaskan är också mer voluminös och strukturen hos askan skiljer sig från stamvedaska som är mer kompakt och liknar ett fint damm. Denna egenskap medför också en ökad risk för högre halter av oförbränt i askan. Uppehållstiden för bränslet i pannan måste vara tillräckligt lång för att ge en fullständig förbränning av rörflensbränslet.



Figur 1. Askhalt (% av ts) i rörflen avsatt mot inverkan av jordens lerhalt. Källa Burvall m.fl., 1997.

En hög asksmältpunkt är viktig för att undvika sintring i pannan. Rörflenens initiala asksmälttemperatur varierar beroende på den kemiska sammansättningen men är generellt lägre för ett rörflen med låg askhalt (Paulrud m.fl., 2001, Burvall m.fl., 1997). Enligt försök med ASTM standardmetod ligger initiala asksmälttemperaturen på 1500-1600 °C för ett rörflen med en askhalt på över 6 % och för ett rörflen med en askhalt på runt 3 % ligger initiala asksmälttemperaturen på 1150-1300 °C.



Figur 2. Askans begynnande smältning som funktion av askhalt. Källa Burvall m.fl., 1997 och Paulrud m.fl., 2001

Rörflenens innehåll av svavel, kväve och klor är högre än för träbriketter och skogsbränsle. Detta medför att emissionerna av bränslerelaterat NO_x och SO_x är högre vid förbränning av rörflen jämfört med skogsbränsle och stamvedsbriketter. Ett högre klorinnehåll kan öka risken för korrosion i pannan.

Rörflen innehåller betydligt högre halter av kisel, kalium och kalcium jämfört med stamvedsbriketter. Askan utgörs till ca 80-90 % av dessa ämnen och där kisel utgör merparten av askinnehållet i rörflen. Det är också förhållandet mellan dessa ämnen som bl.a. påverkar den initiala asksmälttemperaturen (Paulrud, m.fl. 2001, Burvall, 1997).

3 Beskrivning av försöken och metoder

I projektet har en briketteringsteknik med skruvpressteknik testats med rörflen som råvara. Därtill har förbränningstester med rörflen i form av briketter och i hackad form testats i tre befintliga värmeanläggningar med olika förbränningsteknik. Nedan ges en beskrivning av försöken som har utförts och de metoder som har använts.

3.1 Brikettering av rörflen i en polsk skruvpres

3.1.1 Råmaterial

Det Rörflen som användes vid briketteringsförsöken i Polen kom från Låtttra Gård Bioprodukter, ett lantbruksföretag som bl.a. producerar träbriketter i mindre skala samt odlar rörflen utanför Vingåker. Rörflenet som användes vid försöken var ett andra års vall, dvs. såddes 2007 och skördades 2009.

3.1.2 Briketteringsanläggningen

Två ton rörflen i fyrkantbal (8 st) transporterades från Låtttra gård till en försöksanläggning utanför Poznan i Polen. Anläggningen drivs av ett företag Asket som utvecklar och säljer en briketteringsteknik som bygger på en

skruvpress, en princip med två parallellt arbetande skruvar som pressar materialet mot en matris och med en yttre uppvärmning av matrisen. Tekniken är speciellt anpassad för stråråvara och råvaran bör ha en fukthalt på 15-30 % och med en snittlängd på 2-5 cm. Hårdheten på briketten kan manuellt justeras med hjälp av trycket på briketten. Briketten har en diameter på 70 mm med ett hål i mitten.

Företaget har kontor och verkstad lokaliserat i Poznan medan bränsleproduktion och utveckling av produktionskedjan görs på en gård i Gniewkowo, ca 40 km utanför Poznan. Till gården hör ca 250 hektar där man bl.a. odlar spannmål för att sedan ta hand om halmen och producera briketter för försäljning.

Briketteringsanläggningen som används för tillverkning av briketter till försäljning har en kapacitet på ca 400 kg/h med råghalm och består av 4 DUO typ BS207 dubbelpressar (figur 3). Varje dubbelpress har i snitt en kapacitet på ca 95-103 kg/h. Innan brikettering sönderdelas balarna i en Tomasser balrivare (figur 4). Balriven är en ombyggd traktorburen Tomahawkriv. Asket har ett samarbete med Teagle som levererar en ombyggd snittrotor till Tomahawkriven. I övrigt är delarna samma som Tomahawken. Istället för en hammarkvarn med såll så har Tomassern en snittrotor med knivar. Fördelen med knivar är att snittlängden blir jämnare på materialet. Riven har en kapacitet upp till 2500 kg/h för halm. Totala energibehovet för att riva och brikettera 1 ton halmbriketter är ca 82 kWh.

Vid anläggningen är riven placerad under tak utanför byggnaden. Balnät eller snören måste avlägsnas manuellt innan placering på balbanan. Fuktskadade balar plockas bort för att inte störa produktionen. Det hackade materialet förs pneumatiskt till en bränslesilo innan brikettering och luften förs tillbaka via dammfilter. Tömning av dammfilter krävs varje dag och där en viss andel av dammet sedan återanvänds i briketteringsprocessen.

Från bränslesilon förs materialet till en doserare som finns för varje dubbelpress (figur 5). Doseraren består av en roterande arm och vid en hög torrhalt på råvaran finns möjlighet att manuellt tillsätta vatten.

Vid briketteringstesterna med rörflen användes 3 st. dubbelpressar Duo typ BS207 och en prototyp av en ny modell, Duo typ BS210 som bl.a. har en högre kapacitet (en uppgraderad version av BS207).



Figur 3. Skruvpress för ståbränsle, Askets försöksanläggning i Poznan Polen.



Figur 4. Tomasser balrivare, Askets försöksanläggning i Poznan Polen.



Figur 5. Doserare innan skruvpressen, Askets försöksanläggning i Poznan Polen.

3.1.3 Kapacitet och volymvikt

Under briketteringstestet uppmättes kapaciteten på den nya prototypen Duo typ BS 210 genom tidsmätning och vägning av säckarna. Volymviktsmätning gjordes genom att fylla och väga en 10 liters hink med briketter.

3.2 Odling och skörd av hackad rörflen

Det Rörflen som eldats i hackad form inom projekt (II) såddes in sommaren 2007 på 1,6 ha och skördades hösten 2008. Bränslet har legat under snö vinterhalvåret 2008/2009. Bränsleskörden bärgades i maj 2009 (figur 6). ETC hade efterfrågat rörflen i hackad form och odlaren föreslog att använda en exakthack. Halva arealen slogs med en exakthack och den andra halvan rundbalades.



Figur 6. Slaget rörflen hösten 2009.

3.2.1 Sönderdelning av bränsle

I projektet gjordes en jämförelse mellan två system för skörd. I ett system exakthackas rörflen direkt på fält och i det andra pressas rörflen till rundbalar för att sedan rivas sönder till en strålängd på 3- 5 cm. Balarna sönderdelades med två typer av balrivare och resultatet dokumenterades med avseende på tidsåtgång och kvalitet. Den första riven som provades var en, Jeantil PR2000 som fanns i Hemmingsmark hos en lantbrukare och den andra var en Tomahawk 8080DC som levererades via generalagenten, Trejon. Rundbalarna hade en diameter på 120-150 cm och vägde 215- 310 kg. Principen för Tomahawkriven är att balarna kan lyftas upp med hjälp av en inbyggd lyft (figur 7). Balen roteras med hjälp av drivkedjor i balrivarens bottendel. Balen möter en snabbt roterande trumma som har ett antal vassa skär varpå det rivna bränslet slungas och sugas ut via fläkten. Balrivaren har ett antal justeringsmöjligheter som kan påverka rivningsresultatet t.ex. finns ett spjäll som reglerar om bränslet ska rivas om igen till dess att det kan passera sållet eller om bränslet direkt ska blåsa via blåsfläkten. Blåsfläkten har två olika hastigheter beroende på hur långt man vill blåsa bränslet. Vid försöken dokumenterades bl.a. maskinens kapacitet och sönderdelningsförmåga. I tabell 1 visas maskinkostnader enligt Maskinringens taxor.

Tabell 1. Redskapstyp, maskin och arbetskostnad förare enligt Maskinringens taxor.

Redskapstyp	Maskinkostnad kr/h	Maskin+ redskap + förare kr/h
Slåtterkross (Vixon2,4m)	376	857
Exakthack, (mindre)	256	721
Rundbalare, (flex)	394	890
Balriv (Tomahawk 8080DC)	276	813
Traktor (108 Hkr)	241	481
Traktor (134 Hkr)	297	537



Figur 7. Tomahawk 8080DC, balrivare med lyft.

3.3 Förbränning av rörflensbriketter i befintliga värmeanläggningar

Förbränningsförsök med rörflensbriketter utfördes i tre olika förbränningsanläggningar och tester med hackad rörflen utfördes i en förbränningsanläggning. I en 500 kW rosterpanna vid Öknaskolan utanför Nyköping utfördes tester med blandningar av rörflensbriketter och träbriketter. Det andra testet utfördes i en 60 kW undermatad rosterpanna för spannmål vid Gullbringa lantbruk utanför Kungälv, Göteborg. Vid detta försök användes 100 % rörflensbriketter från den polska skruvpressen. Det tredje försöket gjordes inom projekt II i en 400 kW brännare i Hemmingsmark utanför Piteå. Vid detta försök användes 100 % rörflensbriketter. I denna anläggning utfördes även försök med hackad rörflen blandat med flis.

3.3.1 Förbränningsanläggningen vid Öknaskolan

Förbränningsförsök med briketter utfördes vid tre olika tillfällen i en 500 kW närvärmeanläggning vid Öknaskolan utanför Nyköping. Anläggningen eldas idag med träbriketter tillverkade och levererade av Låtra Gård. Pannan är en äldre Osby Parca från 1980 av typen trapprost för torra bränslen och ägs och drivs av TCG som säljer färdig värme till skolan. Årligen produceras ca 2500 MWh värme.

Pannan har ingen O_2 -styrning utan primär- och sekundärluft ställs in utifrån önskat effektbehov. Principen för trapprosten är att rostern förflyttar bränslebädden i slag om 10 cm. Pannan körs idag bara på full last eftersom pannan inte har en aktiv styrning. Minskar effektbehovet slås pannan av. Bränslet matas till pannan från 4 lastväxlarcontainrar med hydraulskrapor i botten på containern (figur 8).



Figur 8. Bränslelager för briketter i panncentralen vid Öknaskolan.

3.3.2 Förbränningsanläggningen vid Gullbringa Lantbruk i Kungälv

Förbränningsförsök med rörflensbriketter utfördes i en 60 kW gårdsanläggning i Kungälv utanför Göteborg. Pannan är en undermatad rosterpanna av modell Catfire. Bränslet matas in underifrån i en stor brännartallrik (figur 9) som utgör botten för bränslet och askan. Kring denna brännartallrik arbetar en cirkulär brännarskrapa som bearbetar askan så att den faller ner i botten på pannan där två askskruvar för askan vidare ut till asklådan. Primärluften tillsätts i brännartallriken och sekundärluften tillsätts i en krans som är monterad ovanför brännartallriken. Pannan har en PLC-styrning för bränslematning, primär-, sekundärluft och askutmatning.

Rening av rökgaserna sker via en rökgasbrunn. En rökgasbrunn innebär att rökgaserna leds genom en rökgasledning i marken till en brunn. Genom att temperaturen på rökgasen sänks i det markförlagda röret kommer fukten i rökgasen att kondensera och en del av de sura ämnena och stoftet följer då med och samlas upp i brunnen.



Figur 9. Brännartallrik på en Catfirepanna (60 kW).

3.3.3 Förbränningsanläggningen i Hemmingsmark

Inom projekt (II) har ETC utfört tre förbränningsförsök i en befintlig värmeanläggning i Hemmingsmark. Anläggningen har en Arimax Biojet T brännare på 400 kW som skulle eldas vid en effekt på ca 200 kW. Brännaren har en rostfri vattenkyld rost. Brännaren har en rörlig askskrapa vars funktion är att knuffa fram askan. Askskrapans frekvens kan ställas in men går normalt några gånger var 10:e minut. Pannan har automatisk askutmatning med skruv. Värmecentralen försörjer en låg- och mellanstadieskola samt ca 15 villor med värme. Anläggningen består av en bränslesilo, 100 m³ med tre hydrauliska bottenskrapor. Skraporna trycker bränslet ner till en skruv som är vinkelrät mot bottenskraporna. Bränslet skruvas till ett litet mellanlager i pannrummet. Mellanlagret har nivåvakter som automatiskt ser till att fylla på bränsle när nivån är för låg. Från mellanlagret skruvas bränslet direkt in i brännaren med önskad effekt, se figur 10 till vänster. Skruven har en vinkel på ca 7 grader och bränslet faller ner i brännaren på en plan yta (0,4*0,3 m) (figur 11). Bränslet faller ca 0,15 m ned på ytan som kan ses som en torkzon. Därefter börjar bränslet brinna och askan som bildas ska tryckas fram med hjälp av en rörlig askskrapa i trappstegsrostet. Askan faller ner på pannbotten där den skruvas ut med hjälp av askskruv till en sluten container på utsidan av byggnaden.



Figur 10. Arimax Brännare och panna i närvärmecentral i Hemmingsmark.



Figur 11. Princip foto på Arimax Biojet T 400 kW.

3.3.4 Bränsle och analyser

3.3.4.1 Briketter

Briketterna som användes vid förbränningsförsöken i Öknaskolan och Hemmingsmark var tillverkade av Låtra Gård Bioprodukter i 3 st Bogma V40 svängkolvpressar som ger en brikett med en diameter på 40 mm. Briketterna lastades på Låtra Gård och transporterades i lastväxlarcontainrar som anslöts till matarskruben vid värmeanläggningen i Öknaskolan. Till Hemmingsmark transporterades briketterna i storsäckar.

Vid blandning av rörfbensbriketter och träbriketter gjordes först en sträng av 8 ton träbriketter på golvet i bränslelagret. Två ton rörfbensbriketter las sedan ovanpå

strängen av träbriketter. En lastare tog sedan från änden på strängen och tippade i containern (figur 12).



Figur 12. Blandning av rörlensbriketter och träbriketter vid Låtra Gård.

Briketterna som användes vid försöket i Kungälv var tillverkade i den polska skruvpress som beskrivs i avsnitt 3.1. Vid förbränningstesten användes briketterna från den nya brikettpressen BS210.

3.3.4.2 Kemiska analyser på bränsle och aska

Prover på träbriketter och rörlensbriketter har tagits från bränslelagret vid Låtra Gård samt från de säckar där de polska briketterna har förvarats, för analyser enligt tabell 1. Bränsleproverna har även i samband med förbränningstesterna tagits ifrån inmatningsskruven till pannan. Tre stycken bränsleprover har tagits under varje försök och last. Bränsleproverna har slagits ihop till ett generalprov för analyserna askhalt och fukthalt för varje bränsle och last.

Vid varje försök och last har tre prover från bottenaskan tagits och tre prover från flygaskan (enbart försöken vid Öknaskolan). För de två sista askproverna har halt oförbränt analyserats samt har sista provet (bottenaska, flygaska) använts för att analysera Cl, S och huvudelement samt asksmälttemperaturen.

Bränsleanalyser och askanalyser gjordes vid SP:s bränslelaboratorium enligt de metoder som visas i tabell 2 och tabell 3.

Tabell 2. Metoder för bränsleanalyserna.

Bränsleanalys	Metod
Total fukt:	CEN/TS 14774-2
Aska:	CEN/TS 14775
Svavel:	CEN/TS 15289 (svavelanalysator)
Klor:	CEN/TS 15289 A (jonkromatografi)
Kol, väte, kväve:	CEN/TS 15104
Syre:	Beräknat som differens
Värmevärde:	CEN/TS 14918 (likvärdig med ISO 1928)
Huvudelement: - Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Ba, Na, - K, P	mod. ASTM D 3682

Tabell 3. Metoder för askanalyser.

Bränsleanalys	Metod
Klorid:	Kvantifierat med jonkromatograf.*
Svavel:	SP 0658 (SS 18 71 86)
Huvudelement: - Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Ba, Na, - K, P	mod. ASTM D 3682
Spårelement:-As, Pb, Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Zn, V, Mo:	mod. ASTM D 3683
Asksmältningsförlopp:	ISO 540
Oförbränt som glödförlust:	SP 0515 (Glödförlust vid 550 °C)

*Ej ackrediterad metod

Askans smältningsförlopp innebär att provet formas till en pyramid som insätts i en ugn. Olika deformationsstadier bestäms sedan som funktion av temperaturen. Fyra stadier av asksmältning noteras.

1. Begynnande smälttemperatur IT (initial deformation), första tecken på rundning av toppen.
2. Mjukningstemperatur ST (softening temperature), höjden=bredden.
3. Hemisfärisk temperatur HT (hemispherical temperature), höjden=halva bredden.
4. Flyttemperatur (FT) (fluid temperature), höjden $\leq 1,6$ mm.

Analyserna från försöken i Hemmingsmark gjordes enligt metoderna i tabell 4.

Tabell 4. Analysmetoder på tillfört bränsle i Hemmingsmark.

Bränsleanalys	Metod
Fukthalt	SS 02 81 13-1 (våtkemi)
Askhalt	EPA 200.7 ICP-AES och ICP-SMS 200.8 (våtkemi)
Klor:	CEN/TS 15289:2006/15408:2007
Kväve	CEN/TS 15104:2006/15407:2007
Huvudelement: - Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Ba, Na, - K, P	EPA 200.7 ICP-AES och ICP-SMS 200.8 (våtkemi)

3.3.5 Försöksplan

Mätningar i Öknaskolan utfördes under tre olika tillfällen. Först utfördes ett försök med referensbränslet d.v.s. med rena träbriketter och därefter ett försök med 20 vikts-% inblandning av rörfen och ett försök med 30 vikts-%

inblandning av rörfilen. Mätningarna gjordes vid två olika laster för varje bränsle. 10 ton bränsle (ca 4-5 dagars eldning) användes vid varje försöksomgång varav mätningarna gjordes under en dag.

I Kungälv utfördes mätningar vid ett tillfälle och för en last. Mätningar på referensbränslet (spannmål) för denna anläggning gjordes inom projektet ”Rökgasbrunn för minimering av stoft och sura gaser” (Yngvesson, 2010). Pannan eldades med rörfilensbriketter i 2-3 dagar innan emissionsmätningarna.

I Hemmingsmark har tre stycken förbränningsförsök genomförts;

1. Skogsbränsle, det bränsle som pannan normalt eldas med. Totalt 50200 kg under 4 veckor.
2. Skogsbränsle med inblandning av 20 % vikts % hackad rörfilen. Totalt 1900 kg under 41 timmar.
3. Rörfilensbriketter av 100 % rörfilen köpta av Låtra gård. Totalt 690 kg under 27 timmar.

Samtliga försök i Hemmingsmark genomfördes med en tillförd bränsleeffekt på ca 150 kW.

3.3.6 Rökgasanalyser

De rökgaser som har analyserats är NO_x , CO, CO_2 , O_2 , och stofthalten. Mätningarna gjordes kontinuerligt och där värdena avläses varje sekund. För instrumenten gäller följande principer och instrumenttyp ;

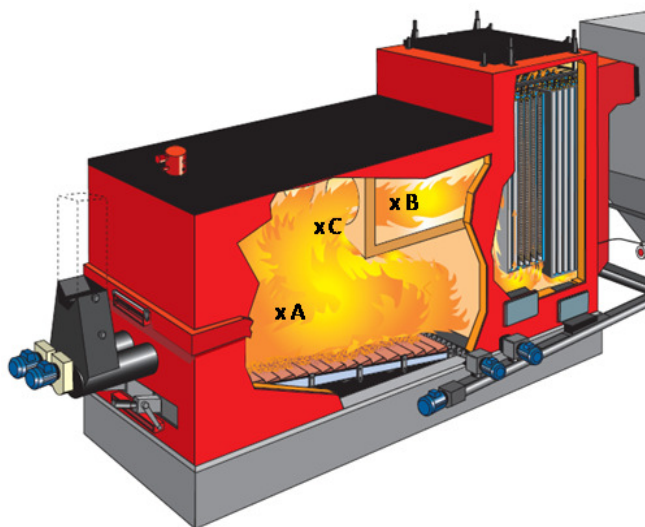
- NO_x - kemiluminiscens, typ Eco Physics CLD 700 E
- CO, CO_2 IR, typ Leybold-Heraeus BINOS
- O_2 -Paramagnetism, typ M&C PMA 10

Stoftemissionerna har bestämts genom uppsamlingsprov på filter, isokinetisk provtagning. Två prover av stoft har tagits ut i rågas före cyklon och efter cyklon för varje bränsle. Varje stoftprov har utförts under ca 45 minuter.

Vid förbränningsförsöken i Hemmingsmark utfördes emissionsmätningar med ett TESTO XL350 som loggades var 20:e sekund. Instrumentet mäter CO, O_2 , N_2 , temperatur och beräknar CO_2 och NO_x . Mätmetoden är kemiska celler. Vid förbränningsförsöken mättes totalstoft både före och efter cyklon. Brännare och panna har okulär besiktats efter varje försök. Pannans tillförda effekt har uppskattats utifrån kalibrering och producerad effekt.

3.3.7 Temperatur och påslag

Temperaturen har uppmätts i två mätpunkter i pannan (Figur 13) vid försöken i Öknaskolan. Termoelementen som har använts är av typ K varav ett var placerat ca 0,5 m ovan rostret och ett placerat något nedströms själva eldstadsutrymmet. Påslagsmätningar gjordes med en luftkyld sond i vars front två provbrickor på ca 1 cm^2 var fästa. Sonden placerades någon meter ovanför rostret (Figur 13) och exponerades i ca 4 h. Vägning av brickorna skedde före och efter exponering.



Figur 13. Skiss av pannan med mätpositioner utsatta. A och B = positioner för termoelement, och C = position för påslagssond. Bilden visar ej försökspannan utan en skiss på Osby PB2, källa; OsbyParca.

4 Resultat

4.1 Brikettering av rörflen i en skruvpress

1500 kg rörflen briketterades i försöksanläggningen utanför Poznan. Briketteringstesten utfördes under ca 5 timmar. Försöket visade att materialet rinner lätt igenom riven, utmatningen får justeras något då kapaciteten är högre än för halm och det blir stopp i inmatningsröret till silon. En fukthaltkontroll visar att fukthalten på rörflenet var ca 13 % vid tillverkningen. Efter pressning matades briketterna via en kylbana till småsäckar placerade efter varje dubbelpress. Under testet kan konstateras att det är den nya modellen av Duo BS 210 som är intressant för rörflen. Briketterna från Duo BS 207 har sämre hållfasthet och en låg volymvikt. Kapaciteten på den nya prototypen låg inledningsvis på ca 110 kg/h. Efter viss justering och 2 timmars körning var kapaciteten ca 148 kg/h, vilket motsvarar kapaciteten för halm. Briketteringen flöt på utan driftstörningar tills materialet var slut.

En volymviktskontroll av briketterna på SP visar att briketterna från Duo BS 210 hade en volymvikt på ca 430 kg/m³ vilket kan jämföras med briketterna från brikettpressen Duo BS 207 som låg på ca 300 kg/m³. Rörflensbriketterna som var tillverkade i kolvpressen vid Låtra Gård hade en volymvikt på ca 475 kg/m³ och träbriketterna en något högre volymvikt, på ca 530 kg/m³.

4.2 Skörd och balrivning i Hemmingsmark

Vid skörd av rörflen i Jävre hösten 2008 användes en slåtterkross av märket Krone, vars bredd var 3,2 m. Krossen drevs av en 96 hp traktor. Det tog 5 timmar att slå 1,6 ha. Arbetet gick i mycket låg hastighet med många stopp och tidsåtgången var lång. Vid 2009 års skörd användes en 2,4 meter bred, Vicon,

rotorbalk utan kross och kapell vilket visade sig vara en mycket snabbare metod för skörd. För samma yta (1,6 ha) behövdes två timmar. Jämför man rörflen mot att skörda vanligt gräs (hö) är tidåtgången ungefär halverad men då ger vanligt gräs, (hö) mindre skörd per ha, 3,3 ton/ha. Bränslet fick ligga under snö hela vinterhalvåret 2008/2009 varpå det strängades två gånger, tidsåtgång för detta var en timme. För att studera skillnader mellan två skördetekniker användes en exakthackvagn, (en hackvagn som direkt hackar rörflen till 3-5 cm långa bitar) för den ena halvan av fältet och en rundbalspress för andra halvan. Rundbalspressen använder nät för att binda samman rundbalen. Tidåtgången var mycket hög för att exakthacka 0,8 ha, ca 6 timmar vilket till stor del berodde på vagnens storlek och skick. För den andra halvan användes en rundbalspress vilket tog 1,2 timmar och gav 16 stycken rundbalar som vägde 215 kg per styck. I Skellefteå har samma teknik med exakthack använts två år i rad men med en modern vagn. Där skördar exakthacken 4,8 ha på 5 timmar och med en skörd på 6,5 ton/ha. I Jävre var skörden 6,8 ton/ha.

Att sönderdela rundbalat rörflen med en Tomahawk 8080DC fungerade utan några problem. Däremot krävdes en viss tid åt att skära av de nät som håller samman rundbalen. Balrivaren har en hydraulisk lyft i bakre delen som plockar upp balen och trycker den mot rivvalsens. Kapaciteten var 10 balar per timme vilket motsvarar 2150 kg per timme. Det rivna bränslet hade mycket låg densitet 55 kg/m^3 . Resultatet av rivningen visar även att det finns en variation på strållängd, dock är de flesta stråna mellan 3 och 10 cm (figur 14). Det kunde konstateras att det dammade väldigt mycket när balriven kördes vilket måste beaktas ur arbetsmiljösynpunkt men även ur dammexplosionssynpunkt. Sikten var maximalt 2 meter när det dammade som mest. Ett kompletterande försök gjordes för att jämföra kapacitet och kvalitet på balrivare. En strörrivare av märke, Jeantil PR2000 hade något högre kapacitet men gav långa strån som var mellan 10- 25 cm. Denna strållängd skulle medföra problem i inmatningsutrustningen (skruvar) till förbränningsanläggningar varpå det inte var intressant att gå vidare med denna teknik.

Bränslekostnad för det beskrivna fallet ovan för skördat, exakthackat rörflen levererat vid vägkant är 100 kr/MWh baserat på maskinringens prislista. Ungefär 50 % av kostnaden härstammar från exakthackningen. Kostnaden för skördat, rundbalat och rivet rörflen (Tomahawk 8080DC) levererat vid vägkant är 128 kr/MWh där kostnad för skörd är 27 %, kostnad för rundbalning är 33 % och kostnaden för balrivning är 30 %.

Det bör poängteras att dessa kostnader bygger på det specifika fall som presenteras ovan och på en liten arealstorlek. En fallstudie från Låtttra Gård i Mälardalen visar exempelvis lägre skördekostnader för rörflen när gården har egna maskiner för slåtter och pressning i fyrkantsbal (Paulrud m.fl. 2009). Enligt dessa kalkyler är kostnaden för slåtter, pressning och fälttransport av balar till vägkant ca 49 kr/MWh. Dessa kostnader bygger på en arealstorlek på 60 ha.

Transportkostnad tillkommer för bägge alternativen. Exakthackning ger ett något lägre tonnage på lastbil på grund av den låga densiteten. En fullstor lastbil med släp kan enligt uppgift lasta drygt 10 ton, lastat med kran, grip och hoptryckt. Vid transport av rundbalar lastas ca 60 stycken balar vilket motsvarar ca 13 ton.

Lastning tar ca en timmer för bågge alternativen medan lossning kan gå snabbare om flisbil med sidtipp används. En schablonkostnad för lastbil med släp är 145 kr/mil eller 750 kr/timme.



Figur 14. Resultat från balrivning, variationer på strållängd.

4.3 Förbränning av rörflensbriketter vid Öknaskolan

4.3.1 Bränsleanalyser

Resultaten från bränsleanalyserna för de olika råvarorna som användes vid förbränningsförsöken visas i tabell 5. Analysen visar att rörflen har en askhalt på ca 6 % och framförallt högre halter av de askbildande ämnena kisel, kalium och kalcium jämfört med träbriketterna. Även halten av svavel men framförallt kväve är högre. I tabell 6 visas bränsledata för de bränsleprover (rörflensbriketter/träbriketter) som togs ut under förbränningsförsöken. Bränslet uppvisar en relativt jämn kvalitet vad gäller fukthalt och askhalt.

Tabell 5. Bränsleanalyser för briketter av stamvedsträ och briketter av rörflen.

	Träbriketter	Rörflensbriketter
Kalorimetriskt värmevärde MJ/kg	20,4	18,7
Effektivt värmevärde MJ/kg	16,86	14,83
Askhalt (vikts-% ts)	0,3	5,9
Svavel, S (vikts-% ts)	<0,01	0,06
Klor, Cl (vikts-% ts)	0,03	0,04
Kol, C (vikts-% ts)	50,3	46,6
Väte, H (vikts-% ts)	6,2	5,8
Syre, O (diff) (vikts-% ts)	43,2	41,1
Kväve (vikts-% ts)	<0,05	0,48
Aluminium, Al (vikts-% ts)	<0,01	0,06
Kisel, Si (vikts-% ts)	0,02	2,28
Järn, Fe (vikts-% ts)	<0,01	0,04
Titan, Ti (vikts-% ts)	<0,01	<0,01
Mangan, Mn (vikts-% ts)	0,01	0,02
Magnesium, Mg (vikts-% ts)	0,01	0,06
Kalcium, Ca (vikts-% ts)	0,09	0,28
Barium, Ba (vikts-% ts)	<0,01	<0,01
Natrium, Na (vikts-% ts)	<0,01	0,02
Kalium, K (vikts-% ts)	0,03	0,23
Fosfor, P (vikts-% ts)	<0,01	0,08

Tabell 6. Fukthalt och askhalt på briketter under förbränningsförsöket.

	Träbriketter	Rörflen/träbriketter (20/80)	Rörflen/träbriketter (30/80)
Fukthalt (%)			
<i>Höglast</i>	12,0	10,8	11,2
<i>Låg last</i>	11,7	10,8	
Askhalt (vikts-% ts)			
<i>Hög last</i>	0,3	1,7	2,0
<i>Låg last</i>	0,3	1,9	

4.3.2 Inledande förbränningstester vid Öknaskolan

För att kontrollera anläggningens funktion med en blandning av 20 % rörflensbriketter och 80 % träbriketter gjordes först inledande tester vid Öknaskolan utan emissionsmätningar med en container på 10 ton bränsle. Problem uppstod tidigt med askutmatningssystemet som inte klarade av att hantera den ökade askvolymen. Trots försöka att ställa om utmatningen resulterade försöket i att askskruven utanför pannan havererade.

Asksystemet byggdes därefter om för att kunna hantera en större askmängd. Ytterligare 30 ton rörflensbriketter/träbriketter kördes sedan för att säkerställa att anläggningen fungerade vid denna blandning. Under denna inkörningsperiod inträffade inga större incidenter. Pannan stoppade vid något tillfälle p.g.a. att briketterna var av dålig kvalitet (mycket finfraktion). Den dåliga kvaliteten på briketterna berodde bl.a. på att briketterna behövde omlastas när de blandades samt att träbriketterna var ombriketterade från inköpta större 70 mm briketter p.g.a. brist på kutterspån under försöksperioden.

4.3.3 Förbränningsförsök med rökgasanalyser

I tabell 7 visas medelvärden för alla rökgasanalyser inklusive temperaturen i eldstaden för alla försök och laster. För stoft visas medelvärdet av ett dubbelprov före och efter cyklon. Resultaten visar ostabila förhållanden, framförallt för träbriketter under fullast. Trapprostrets slag resulterar i bl.a. höga CO-toppar, se figur 15. Effekten är mindre under dellast då bränslebädden är mindre och luftöverskottet högre (figur 16). Som framgår av tabellen minskar medelvärdet för CO och stoft vid dellast samt vid inblandning av rörflensbriketter. Även vid fullast är förbränningen något stabilare med rörflensbriketter (figur 17). Medelvärdet för NO_x ökar däremot då halten kväve i bränslet ökar. Temperaturen i mät punkt C låg något högre för träbriketterna medan temperaturen i mät punkt B var relativt lika för alla bränslen (figur 13). Som framgår av tabellen så är reduceringen av stoft i cyklonen i stort sett obefintlig vid alla försök. Anledningen till detta var att en ny typ av cyklon som ej var färdigutvecklad testades i samband med försöksperioden.

Tabell 7. Medelvärden för rökgasanalyser och stoft vid förbränningsförsök med briketter i Öknaskolan.

	RGT °C	CO ₂ %	O ₂ %	CO mg/MJ	NO _x mg (NO ₂ /MJ ^a)	Stoft ^b mg/MJ	Stoft ^c mg/MJ	T(C) ° C	T2 (B) ° C
Trä (100) Fullast	166	13,8	6,3	786	51	198	170	1094	855
Halvlast	147	6,2	14	406	53	112	125	733	622
Rörflen/trä (20/80) Fullast	190	12,2	7,7	168	96	189	106	954	795
Halvlast	161	7,6	12,4	111	118	68	69	799	629
Rörflen/trä (30/80) Fullast ^d		-	-	-	-	-	-	-	-
Halvlast	156	9,5	10,7	98	107	72	99	766	707

^aRäknat som NO₂

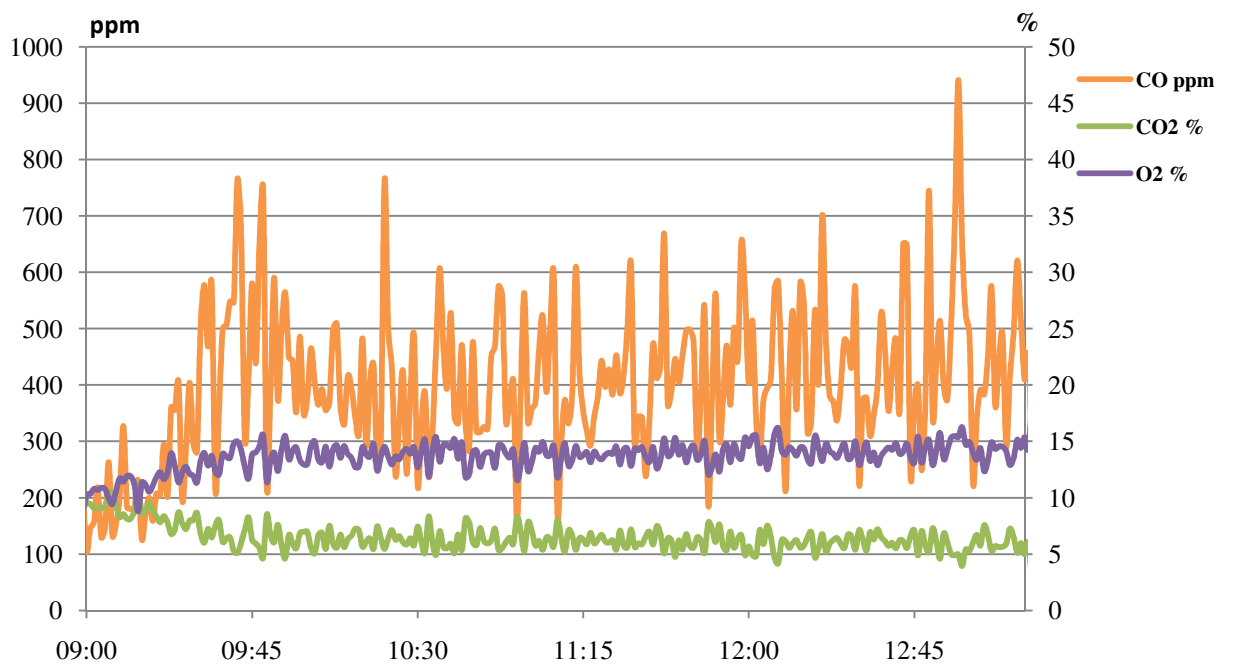
^bEfter pannan innan cyklon

^cEfter cyklon

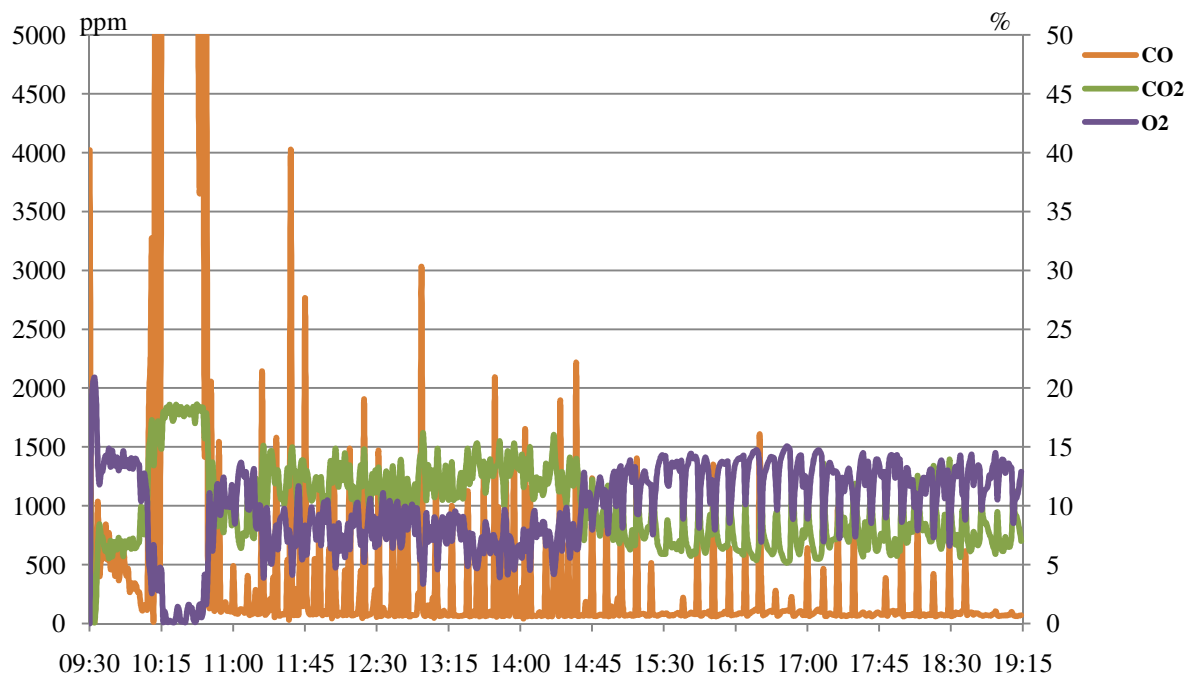
^dProblem med rökgasfläkt, data ej analyserad



Figur 15. Data för CO, CO₂ och O₂ från förbränningsperioden under fullast med träbriketter.



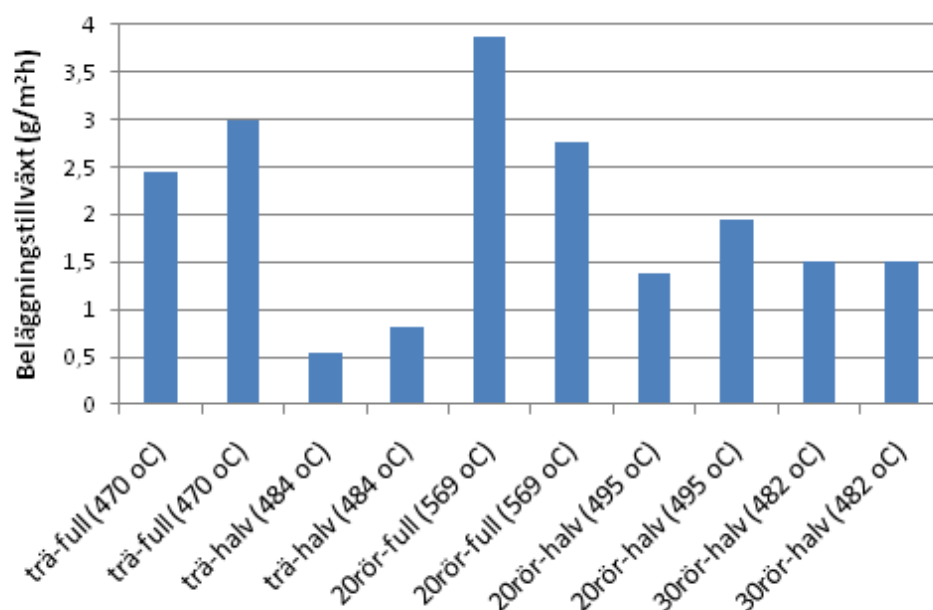
Figur 16. Data för CO, CO₂ och O₂ från förbränningsperioden under halvlast med träbriketter.



Figur 17. Data för CO, CO₂ och O₂ från förbränningsperioden under full- och halvlaster med 20 % rörlensbriketter och 80 % träbriketter. Omställning till halvlaster ca kl 14.30.

4.3.4 Påslag av beläggningar

Vägningen av påslagsringar visade skillnader i påslagsbildningen mellan försöken samt vid olika laster. Påslagstillväxtens hastighet (Figur 18) beräknades som mängd bildat påslag dividerat med försökstid och yta. Som framgår av figuren är påslagen högre vid fullast samt vid inblandning av rörlens. Temperaturen på sonden låg under 500 °C med undantag av ett försök då kylningen inte räckte. Den viktigaste faktorn för påslagstillväxten är pannans effekt som ger fyra till fem gånger högre påslagstillväxt vid fullast än vid halvlaster. Bränslet har också stor betydelse och ger två till tre gånger större påslagstillväxt vid eldning av rörlens än vid eldning av träbränsle. Detta är väntade resultat eftersom en högre last medför att mer material förbränns per tidsenhet och alltså är koncentrationen av stoft och gasformiga ämnen större än vid lägre last. Samma sak kan sägas om rörlens som innehåller mer oorganiska komponenter än trä, och därför bör orsaka större påslagsmängder. Den varierande sondtemperaturen verkar ha haft liten betydelse för utfallet.



Figur 18. Påslagsbildningen i g/m²h vid förbränningstester med rörlensbriketter och träbriketter vid Öknaskolan.

4.3.5 Askanalyser

Askan som bildades från alla försöken innehöll flera sintrade partier. Vid inblandning av rörlens ökade askvolymerna i förbränningsutrymmet och askan innehöll mer porösa stycken av aska samt en del sintrade bitar. Resultaten från askanalyserna visar att halten oförbränt i bottenaskan är låg, ca 0,5-0,6 % vid förbränning av träbriketter och ökar något vid inblandning av rörlens, ca 1,6-2 % (tabell 8).

Flygaskan uppvisar däremot extremt höga oförbränthalter från 66 till 88 %. En förklaring till detta är dels att cyklonen enbart avskiljde en liten andel och de grövsta partiklarna samt att briketterna som användes vid försöken var av dålig kvalitet, dvs. innehöll mycket finfraktion pga. extra lastning vid blandning av briketterna. Denna finfraktion följde med rökgaserna ut utan att förbrännas. Genom att ställa om rökgasfläkten kan detta problem minimeras men pannanläggning är också känslig för finfraktion i bränsleinmatning då denna täpper igen i skruven och lätt orsakar bakbrand.

I tabell 9 och 10 visas analyser för huvud- och spårelement. Skillnaden i data mellan bottenaska och flygaska beror på den höga oförbränthalten i flygaskan. Det kan också konstateras att askan från träbriketterna är uppblandad med rörlensaska. På grund av väldigt kallt väder under försöksperioden kunde anläggningen inte stannas av för rengöring av askskruvar mm innan försöken vilket resulterade att aska från de inledande försöken med rörlens fanns kvar i askskruvar mm. Analyserna visar inte några större skillnader mellan 20 % inblandning eller 30 % inblandning av rörlens. Analys av askans smältförlopp visar en relativt låg begynnande smältemperatur på 1190 °C samt ett relativt snabbt förlopp till flyttemperatur för alla askor. Detta resultat överensstämmer med tidigare försök med blandningar av trä och rörlens som pelletsråvara (Hedman m.fl., 2002). Tidigare försök samt redovisade försök (stycke 4.4) med

100 % rörflen med en askhalt på 6 % har visat högre smälttemperaturer, en initial asksmälttemperatur (deformationstemperatur) på ca 1400 °C, tabell 11 (Paulrud m.fl. 2001). Även stamvedsträ brukar ligga i denna nivå (Larsson m.fl. 2004). Vid blandning av trä och rörflen förändras dock förhållandena mellan de askbildande ämnena som exempelvis Si:K. Vid inblandning av trä ökar K i förhållande till Si vilket i tidigare försök visat sig sänka asksmälttemperaturen (Paulrud mfl, 2001, Burvall m.fl., 1997). Det bör dock poängteras att även andra askbildande ämnen kan påverka asksmältförloppet och att jämföra förhållande mellan Si och K halter bör endast göras i vägledande syfte.

Tabell 8. Askanalyser, halt oförbränt i bottenaska och flygaska vid olika driftförhållande.

	Träbriketter	Rörflen/träbriketter (20/80)	Rörflen/träbriketter (30/80)
Halt oförbränt (%)			
<i>Bottenaska</i>			
Fullast	0,6	1,6	- ¹
	0,6	1,6	- ¹
Halvlast	0,6	2,4	2,1
	0,5	1,8	2,0
<i>Flygaska</i>			
Fullast	80	74	
	78	70	
Halvlast	88	72	68
	84	66	74

¹ Problem med rökgasfläkt

Tabell 9. Askanalyser, huvudelement i bottenaska och flygaska vid halvlust.

Låg last	Träbriketter	Rörflen/träbriketter (20/80)	Rörflen/träbriketter (30/80)
Svavel, S, vikt-%			
Bottenaska	0,04	0,04	0,04
Flygaska	0,10	0,38	0,31
Klorid, Cl-, vikt-%			
Bottenaska	<0,01	<0,01	<0,01
Flygaska	0,02	0,18	0,19
Aluminium, Al, vikt-%			
Bottenaska	3,69	3,25	2,64
Flygaska	0,14	0,28	0,21
Kisel, Si, vikt-%			
Bottenaska	24,4	30,8	31,8
Flygaska	1,21	9,02	6,94
Järn, Fe, vikt-%			
Bottenaska	1,23	0,67	0,74
Flygaska	0,12	0,32	0,21
Titan, Ti, vikt-%			
Bottenaska	0,13	0,19	0,16
Flygaska	<0,05	0,06	0,05
Mangan, Mn, vikt-%			
Bottenaska	1,56	0,92	0,80
Flygaska	0,50	0,44	0,31
Magnesium, Mg, vikt-%			
Bottenaska	2,76	2,34	2,12
Flygaska	0,74	0,87	0,73
Kalcium, Ca, vikt-%			
Bottenaska	16,4	11,4	9,80
Flygaska	4,48	4,51	3,46
Barium, Ba, vikt-%			
Bottenaska	0,20	1,13	0,08
Flygaska	0,06	0,05	0,03
Natrium, Na, vikt-%			
Bottenaska	0,54	0,44	0,43
Flygaska	0,07	0,12	0,13
Kalium, K, vikt-%			
Bottenaska	5,98	4,38	4,64
Flygaska	1,11	1,76	1,29
Fosfor, P, vikt-%			
Bottenaska	1,06	1,13	1,17
Flygaska	0,20	0,45	0,36
Askans smältpörlopp °C			
Deformationstemperatur DT	1220	1190	1180
Svärtemperatur ST	1230	1200	1200
Halvsfärtemperatur HT	1240	1230	1230
Flyttemperatur FT	1260	1270	1270

Tabell 10. Askanalyser, spårelement i bottenaska och flygaska vid halvlust.

Låg last	Träbriketter	Rörflen/träbriketter (20/80)	Rörflen/träbriketter (30/80)
Arsenik, As, mg/kg			
Bottenaska	<20	<20	<20
Flygaska	<4	<7	<6
Kadmium, Cd, mg/kg			
Bottenaska	<1	<1	<1
Flygaska	1	3	1
Bly, Pb, mg/kg			
Bottenaska	10	<5	<5
Flygaska	2	6	5
Koppar, Cu, mg/kg			
Bottenaska	73	41	48
Flygaska	20	36	26
Krom, Cr, mg/kg			
Bottenaska	43	28	20
Flygaska	10	15	9
Nickel, Ni, mg/kg			
Bottenaska	24	12	11
Flygaska	3	5	4
Zink, Zn, mg/kg			
Bottenaska	120	40	38
Flygaska	190	380	220
Molybden, Mo, mg/kg			
Bottenaska	<10	<10	<10
Flygaska	<2	<4	<3
Vanadin, V, mg/kg			
Bottenaska	20	13	13
Flygaska	<1	2	2
Kobolt, Co, mg/kg			
Bottenaska	7	5	10
Flygaska	2	13	4

Tabell 11. Förhållande mellan Si och K i rörflensaska och påverkan på asksmälttemperaturen.

Rörflen	Askhalt 7 %	Askhalt 9 %	Askhalt 3 %	Askhalt 4 %	Askhalt 6 %	Träpellets	Rörflen/trä (20/80) 2 % askhalt
Si:K	14	22	6	6	10		7
DT °C	1600	>1650	1170	1150	1420	1400	1190
ST °C	1640	>1650	1240	1210	1450		1200
HT °C	1650	>1650	1240	1250	1500		1230
FT °C	>1650	>1650	1370	1400	1530		1270

4.4 Förbränning av rörflensbriketter vid Gullberga Lantbruk

Vid förbränningsförsöken vid Gullbringa Lantbruk användes rörflensbriketterna tillverkade i den polska skruvpresen. Till skillnad mot testerna i Öknaskolan gjordes tester med 100 % rörflen.

4.4.1 Bränsleanalyser

Bränsledata för rörflensråvaran visas i tabell 5 och bränsledata under drift visas i tabell 12.

Tabell 12. Fukthalt och askhalt på rörflensbriketter under förbränningsförsöket.

	Rörflensbriketter
Fukthalt (%)	12
Askhalt (vikts-% ts)	6

4.4.2 Förbränningsförsök med rökgasanalyser

I tabell 13 visas medelvärden för alla rökgasanalyser. Som referens visas uppmätta värden vid förbränning av spannmål som närmare diskuteras i Yngvesson, 2010. För stoft visas värden före och efter rökgasbrunn. Resultatet visar att förbränningen under mätperioden var relativt stabil med låga värden på CO. Även vid detta försök uppkom en del CO-spikar (figur 19). NO_x visar avsevärt högre värden jämfört med förbränning av trädbränsle. Av tabellen framgår även att rökgasbrunnen har en relativt bra reduceringsgrad av stoft vid förbränning av rörflen.

Inledande förbränningstester med rörflen visade dock en instabil förbränning p.g.a. att bränsleinmatningen blev ojämn då bränslet bestod av en blandning av hela och söndersmulade briketter. Vid användning av briketter i den här typen av panna används normalt en brikettrivande skruv som river isär briketten för att få en jämnare bränslekvalitet. För att få en stabil förbränning under mätningarna ställdes därför pannan in med korta paustider på inmatningsskruven samt fick askskrapan gå kontinuerligt. Detta resulterade dock i att uppehållstiden blev för kort i pannan och oförbränthalten i askan blev hög (se tabell 12 nedan).

Vid inledande tester och fortsatta tester efter mätningarna gjordes försök att öka paustiderna på både inmatningsskruven och askskrapan. Detta resulterade dock i ojämn förbränning (fluktuerande O₂-värden) och kalla avgaser. Efter genomförda tester och förbränning av ca 1 ton rörflenbriketter kunde även konstateras att stora mängder aska ansamlats i förbränningsutrymmet som fick rengöras manuellt.

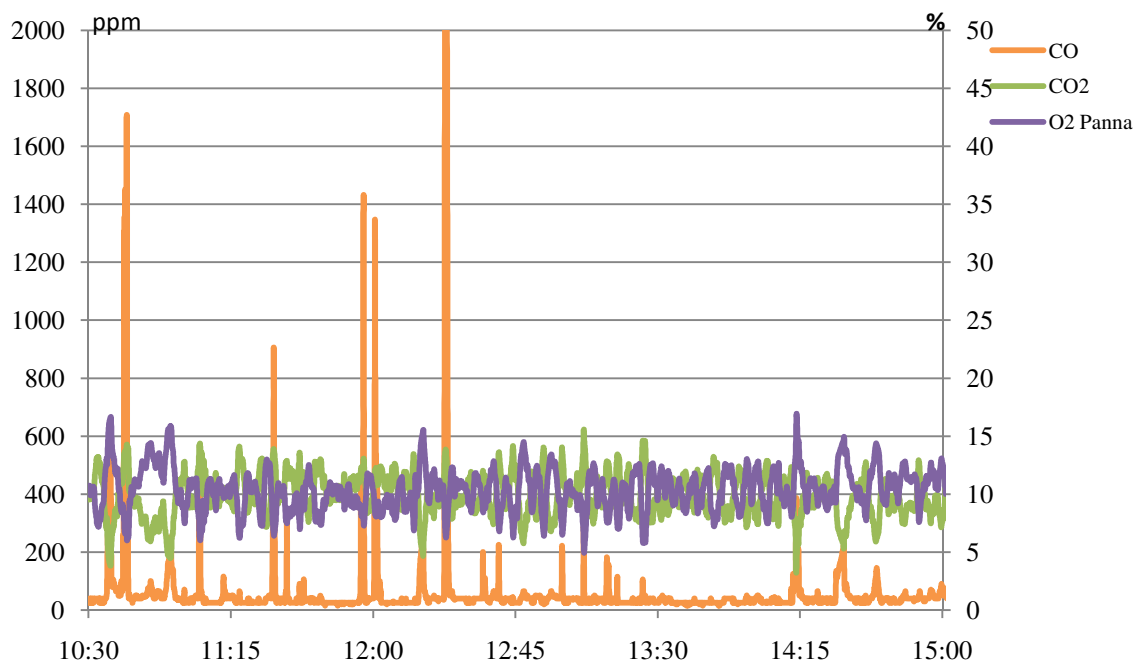
Tabell 13. Medelvärden för rökgasanalyser och stoft vid förbränningsförsök vid Gullbringa Lantbruk.

	RGT (°C)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (mg/MJ)	NO _x (mg NO ₂ /MJ) ^a	Stoft ^b (mg/MJ)	Stoft ^c (mg/MJ)
Spannmål (100) Fullast	165	9,8	10,9	14	Ej uppmätt	76	71
Rörflen (100 %) Fullast	144	10,0	10,3	27	267	87 81	22 13

^a Räknat som NO₂

^b Efter pannan innan rökgasbrunn vid 10 % O₂

^c Efter rökgasbrunn



Figur 19. Data för CO, CO₂ och O₂ från förbränningsperioden med 100 % rörlensbriketter i en Catfirepanna vid Gullbringa Lantbruk.

4.4.3 Askanalyser

Resultaten från askanalyserna visar att halten oförbränt i bottenaskan är relativt hög (19-27 %) vilket tyder på att uppehållstiden för bränslet i pannan måste vara längre för att ge en fullständig förbränning av rörlensbränslet (tabell 14).

Den cirkulära brännarskrapan kring brännartallriken som bearbetar askan så att den faller ner i botten på pannan arbetade kontinuerligt under försöken. Som nämns ovan är en möjlighet att få ner oförbränthalten att justera denna brännarskrapa. Samtidigt finns en risk att brännartallriken blir överfull av aska om inte skrapan går kontinuerligt. I tabell 15 och 16 visas analyser för huvud- och spårelement. Som framgår av tabell 15 så är asksmälttemperaturen högre för rent rörlens jämfört med de blandningar som användes vid försöken på Öknaskolan.

Tabell 14. Askanalyser, halt oförbränt i bottenaska

	Rörlensbriketter
Halt oförbränt (%)	27,1
	27,0
	18,6

Tabell 15. Askanalyser, huvudelement i bottenaska.

Bottenaska (fullast)	Rörflensbriketter
Svavel, S, vikt-%	0,12
Klorid, Cl-, vikt-%	0,01
Aluminium, Al, vikt-%	0,64
Kisel, Si, vikt-%	31,7
Järn, Fe, vikt-%	0,52
Titan, Ti, vikt-%	0,06
Mangan, Mn, vikt-%	0,15
Magnesium, Mg, vikt-%	0,82
Kalcium, Ca, vikt-%	4,11
Barium, Ba, vikt-%	0,03
Natrium, Na, vikt-%	0,18
Kalium, K, vikt-%	3,25
Fosfor, P, vikt-%	1,39
Askans smältförlopp °C	
Deformationstemperatur DT	1420
Svärtemperatur ST	1450
Halvsfärtemperatur HT	1500
Flyttemperatur FT	1530

Tabell 16. Askanalyser, spårelement i bottenaska.

Bottenaska fullast	Rörflensbriketter
Arsenik, As, mg/kg	<17
Kadmium, Cd, mg/kg	<1
Bly, Pb, mg/kg	<5
Koppar, Cu, mg/kg	47
Krom, Cr, mg/kg	57
Nickel, Ni, mg/kg	21
Zink, Zn, mg/kg	140
Molybden, Mo, mg/kg	32
Vanadin, V, mg/kg	14
Kobolt, Co, mg/kg	<5

4.5 Förbränning av hackad rörflen och briketter i Hemmingsmark

Inom projekt (II) utfördes tre förbränningsförsök varav två med rörflen. I tabell 17 visas tillförd bränslemängd och driftdata. Bränsleanalyserna i tabell 20 visar analyser på de använda bränslena. Kolumnen skogsbränsle med 20 vikts-% rörflen är en beräknad bränsleanalys utifrån de grundbränslen som använts. Hackad rörflen är odlad i Jävre av Torvald Grahn och rörflensbriketterna är köpta av Låtra Gård, Vingåker.

Vid förbränningsförsöken mättes medelvärdena för emissioner enligt tabell 18 och stoft enligt tabell 19. Skogsbränslet kördes med något högre effekt. Emissionsmätningen gjordes en vecka efter det att anläggningen startades med skogsbränsle som råvara. Av tabellerna framgår att emissionsvärdena är likvärdiga både för skogsbränsle och rörflen. Däremot påverkas emissionerna och pannans verkningsgrad negativt allt eftersom aska byggs upp. Mätningarna av totalstoft genomfördes direkt efter varandra och visar att stofthalten reduceras med nästan hälften efter cyklonen.

För skogsbränslet eldades pannan i fyra veckor utan avbrott. Askan har kontinuerligt skrapats ut med brännarens rörliga rost ner i pannbotten varifrån den skruvats ut med pannans askutmatning till en container på utsidan av byggnaden. Efter försöket har askan inspekterats okulärt. Endast några koksclumpar återfanns i pannbotten samt i brännkoppen. Hårdheten på dessa klumpar är så att man med handkraft kan sönderdela denna.

Förbränningsförsöket med 20 vikt-% hackat rörflen varade i ca 41 timmar men redan efter 15 timmar påvisas en stor askuppsamling i brännaren och en mycket liten andel aska kommer ner på pannbotten. För att genomföra emissionsmätningarna skrapades en del aska ut från brännarens rost. Den okulära besiktningen visar att aska som inte skrapas ut stannar kvar i brännarens rost och bildar stycken som hårdnar och smälter eftersom den exponeras i hög temperatur under lång tid. Detta medförde också att förbränningsluft kommer in i brännaren på ett onaturligt sätt vilket leder till att anläggningen stannar efter kort tid. Efter slutlig eldning hade ca 300 liter fluffig aska kommit ner på pannbotten. Vid inspektion av askan visade den sig innehålla hårda klumpar med glasartat inslag. Även i brännarens rost fanns stora hårda sintrade klumpar. Totalt tillfördes 2200 kg bränsleblandning varav 568 kg var hackad rörflen. På grund av de problem som uppstod genom att askan fastnade i brännaren beslutades att inte gå vidare med fler försök med inblandning av hackat rörflen.

Därefter testades briketter med 100 % rörflen tillverkade på Låtra gård. Kortare fibrer och högre densitet var motivet att askskraporna skulle kunna hantera askan bättre vid förbränning av briketter. Totalt eldades 690 kg briketter under 27 timmar. Redan efter 4 timmar börjar aska dock byggas upp i brännarens rost och en märkbar förhårdnad bildas snabbt. Även här måste aska dras ut ur brännaren för att kunna utföra emissions- och totalstoftmätningar. Askan har bildat hårda klumpar som har glasartad struktur och endast en mycket liten del har nått pannbotten.

Tabell 17. Driftsdata från förbränningsförsök.

Bränsle	Tillförd bränslemängd (kg)	Driftstid	Tillförd bränslemängd (kg/h)	Medeleffekt (kW)
Skogsbränsle	28400	4 veckor	46,7	168
Skogsbränsle + 20 % rörflen	2200	41 timmar	50,7	190
Rörflenbriketter	690	27 timmar	25,5	110

Tabell 18. Medelvärden på emissioner.

Emissioner (medelvärden)	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	Rökgastemperatur (°C)
Skogsbränsle	6,9	278	87,4	168
Skogsbränsle + 20 % rörflen	11,6	97,1	103	127
Rörflensbriketter	8,8	304	206	118

Tabell 19. Totalstofthalter före och efter cyklon.

Totalstoft	Skogsbränsle mg/Nm ³ vid 10 % O ₂ t.g.	Skogsbränsle + 20 % rörfilen mg/Nm ³ vid 10 % O ₂ t.g.	Rörfilensbriketter mg/Nm ³ vid 10 % O ₂ t.g.
Före cyklon	63,1	54,7	65,9
Efter cyklon	33,9	33,8	42,2

Tabell 20. Analyser på bränslesammansättning.

Element	Enhet	Hackad rörfilen	Rörfilensbriketter	Skogsbränsle	Skogsbränsle med 20 viks% rörfilen
Effektivt värmevärde	MJ/kg	15,08	14,83	11,92	12,6
Torrsubstans	%	88	87	62	67,2
Aska vid 550 °C	% TS	5,6	5,9	0,7	1,7
Si	% TS	4,30	2,28	0,015	0,9
Al	% TS	0,03	0,06	0,00	0,0
Ca	% TS	0,43	0,28	0,33	0,4
Fe	% TS	0,04	0,04	0,00	0,0
K ₂	% TS	0,28	0,23	0,20	0,2
Mg	% TS	0,11	0,06	0,06	0,1
Mn	% TS	0,02	0,02	0,02	0,0
Na	% TS	0,01	0,02	0,00	0,0
P	% TS	0,18	0,08	0,04	0,1
Ti	% TS	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cl	% TS	0,02	0,04	0,01	0,0
N	% TS	0,73	0,48	0,27	0,4
As	mg/kg TS	<0,1	-	<0,1	<0,1
Ba	mg/kg TS	14,5	<100	30,9	27,6
Be	mg/kg TS	<0,07	-	<0,009	<0,02
Cd	mg/kg TS	0,010	-	0,1	0,082
Co	mg/kg TS	0,029	-	0,092	0,079
Cr	mg/kg TS	6,55	-	0,616	1,803
Cu	mg/kg TS	4,77	-	1,77	2,37
Hg	mg/kg TS	<0,02	-	<0,01	<0,015
Mo	mg/kg TS	1,42	-	0,134	0,391
Nb	mg/kg TS	<0,7	-	<0,09	<0,2
Ni	mg/kg TS	0,376	-	0,239	0,266
Pb	mg/kg TS	0,393	-	0,339	0,350
S	mg/kg TS	662	600	158	259
Sc	mg/kg TS	<0,1	-	<0,02	<0,04
Sn	mg/kg TS	<0,03	-	<0,02	<0,023
Sr	mg/kg TS	9,6	-	21	18,7
V	mg/kg TS	1,35	-	0,070	0,326
W	mg/kg TS	<7	-	<0,9	<2,2
Y	mg/kg TS	<0,3	-	0,049	<0,1
Zn	mg/kg TS	15,2	-	28,8	26,1
Zr	mg/kg TS	2,42	-	0,178	0,626

5 Rörflensbriketter i små och mellanstora förbränningsanläggningar

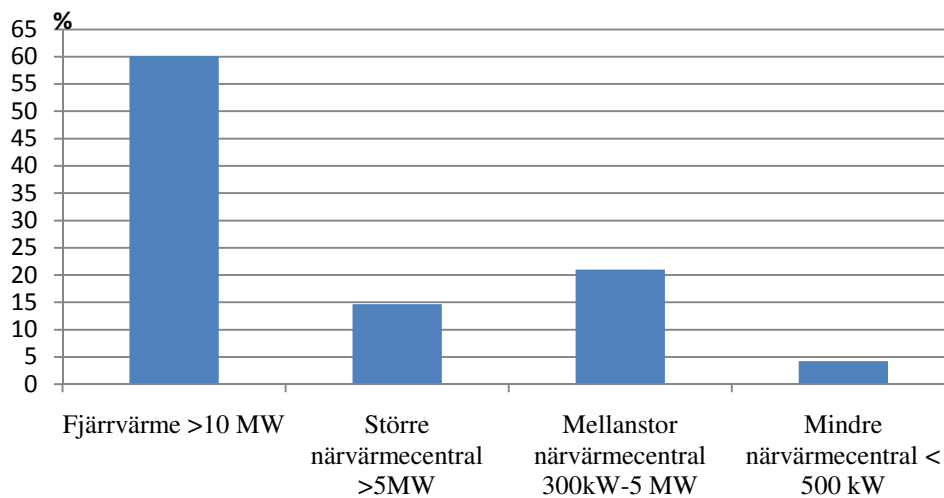
Det finns idag inga kommersiella värmeanläggningar för rörflensbriketter. En anläggning på ca 60 kW är dock under uppbyggnad i Glommersträsk utanför Arvidsjaur. Rörflensbriketter tillverkade från närliggande odlingar ska från och med i hösten 2010 värma ett hyreshus i Glommersträsk. Anläggningen kommer att drivas av Glommers Miljöenergi AB som kommer att sälja färdig värme från rörflen till Arvidsjaurhem AB.

Ytterligare en anläggning är under planering i Öknaskolan utanför Nyköping där nuvarande pannanläggning kommer att bytas ut sommaren 2011 till en panna för rörflensbriketter. Anläggningen kommer att drivas av TCG AB som kommer att sälja färdig värme från rörflen till skolan som ägs av Landstinget.

Vid Bränsletekniskt centrum (BTC), Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå har rörflensbriketter försett omgivande byggnader med värme i flera år. I anläggningen finns två pannor (ÖkoTherm) med effekterna 150 respektive 600 kW. Förbränning av briketter har skett framför allt i den större pannan, eftersom matningsutrustningen till den mindre pannan är något underdimensionerad för briketthantering.

Värmeproduktion från egenproducerade rörflensbriketter i en kommersiell värmeanläggning, som är fallet på BTC i Umeå och de planerade anläggningarna i Glommersträsk och Öknaskolan, är ett fullt fungerande koncept. Det bör dock poängteras att förbränningsutrustningen som planeras att installeras i dessa anläggningar och utrustningen på BTC redan från början väljs/valdes för att kunna hantera ett askrikt bränsle. En panna som kan hantera bränslen med högre askhalter är en förutsättning för att briketter från rörflen skall kunna användas som bränsle till 100 % i mindre och mellanstora panncentraler. Alternativet är att blanda in en viss andel (exempelvis 20 %) i befintliga anläggningar för trädbränsle, men som resultaten från Öknaskolan visade så krävs ofta justeringar i större och mindre grad även vid en liten inblandningsgrad. Beroende på pannanläggningens nuvarande skick krävs åtgärder som justering av förbränningen, byte av vissa komponenter och byte av hela system som exempelvis asksystemet. Att blanda råvaror påverkar askkemin och även om askvolymerna blir mindre genom att mixa rörflen och träråvara kan sintringstendenserna öka (se stycke 2.1).

Befintliga mindre och mellanstora värmeanläggningar som kan bli aktuella för rörflensbriketter använder idag i huvudsak bränslen som pellets, stamvedsflis, grothflis och briketter. 2006 producerades 279 000 ton träbriketter i Sverige. Enligt Karlhager (2008) används ca 80 % av de träbriketter som produceras i anläggningar >2MW, 16 % i anläggningar mellan 50 kW-2 MW och resterande i anläggningar <50 kW. Detta är en fördelning som överrensstämmer med en pågående studie av Jonsson m.fl. (2010). Som framgår av figur 20 används en stor del av producerade briketter i stora fjärrvärmeanläggningar varav ca en tredjedel av de producerade briketterna används i en stor fjärrvärmeanläggning för sönderdelning till pulvereldning.



Figur 20. Användning av träbriketter i (andel tillfört bränsle) i olika anläggningsstorlekar (Jonsson m.fl. (2010) och Karlhager (2008)).

Utöver befintliga värmeanläggningar för briketter finns potential att använda rörlensbriketter i värmeanläggningar för pellets och spannmål, bränslen som framförallt dominerar i effektområdet < 500 kW (Jonsson m.fl., 2010). Att ta in briketter i dessa anläggningar kräver oftast en större ombyggnad då även lagersystem och inmatningssystem utöver asksystemet måste dimensioneras för rörlensbriketter.

En viss inblandning av rörlensbriketter i flisanläggningar kan också vara aktuell. Stamvedsflis är idag det näst vanligaste tillförda bränslet efter pellets i förbränningsanläggningar < 5 MW (Jonsson m.fl. 2010). Eskilstuna Energi & Miljö har bl.a. gjort tester att blanda in ca 17 respektive 33 volym-% rörlensbriketter i en 4 MW anläggning för grotflis (Todorovic mfl, 2007). Svårigheten med att blanda rörlensbriketter med flis är att det är två material med helt olika fysikaliska egenskaper som volymvikt, bitstorlek, rinnbarhet samt fukthalt vilket kan ställa till problem i bränslelagret och matningssystem då bränslet lätt kan skikta eller hänga sig.

Förbränningsteknik som är typisk i mindre och mellanstora värmeanläggningar är olika typer av rosterpannor för trädbränsle med fast eller rörligt roster samt plant eller lutande roster. Fasta roster används för småskaliga applikationer, men i allt mindre omfattning i moderna förbränningsanläggningar. Av de rosterpannor >500 kW som är i drift idag är 85 % rörliga (Jonsson m.fl. 2010).

5.1 Användning av rörflensbriketter från Låtra Gård-potentiella anläggningar och ekonomiska förutsättningar

I en tidigare studie har kostnaden för att brikettera rörflen i anläggningen vid Låtra Gård tagits fram (Paulrud m.fl., 2009). Med en färdigutvecklad optimal produktionskedja för rörflen kostar det ca 1240 kr/ton att producera rörflensbriketter på Låtra Gård, från odling till färdig brikett (gårdsstöd och vallstöd är ej inkluderat). Priset för träbriketter till närvärmecentraler i området ligger idag (2010) på ca 1490 kr/ton (317 kr/MWh) från gården. Rörflen med en askhalt på ca 6 % har 10 % lägre värmevärde än träbriketter vilket motsvarar ett pris på ca 1340 kr/ton från gården.

Eftersom rörflen är ett askrikt bränsle kan underhållskostnaderna för värmeanläggningen öka något vid byte från träbränsle till rörflen även om värmeanläggningen är anpassad för ett askrikare bränsle. En högre askhalt resulterar bl. a. i tätare sotningsintervall och tömning av askcontainers mm. För en närvärmeanläggning på 500 kW som Öknaskolan skulle en ökad drift och underhållskostnad med 20 % motsvara en extrakostnad på ca 100 kr/ton bränsle, vilket skulle innebära en betalningsvilja för rörflensbriketterna på ca 1240 kr/ton i dagsläget för att hamna på samma ekonomi som vid användning av träbriketter.

Inom en 10 mils radie från Låtra Gård finns utöver Öknaskolan idag ett 20-tal värmeanläggningar för pellets och spannmål i effektklassen 80-700 kW. Förbränningstekniken i flertalet av dessa anläggningar är samma typ av teknik som anläggningen i Hemmingsmark. För att Låtra gård ska kunna leverera rörflensbriketter till dessa anläggningar krävs ombyggnad av bl.a. askutmatningssystemet eller byte av brännaren. Dessutom krävs ombyggnad av inmatningssystemet och bränslelagret som idag är anpassat för pellets och spannmål.

Utöver dessa anläggningar finns även anläggningar med förbränningsteknik från danska Reka, en panna med rörligt roster för spannmål, halmpellets och jordbruksavrens enligt tillverkaren. För att kunna ta in rörflensbriketter i dessa anläggningar krävs som ovan ombyggnad av inmatningssystemet och bränslelagret som idag är anpassat för pellets och spannmål. I Sverige har inga dokumenterade tester hittats angående huruvida förbränningstekniken fungerar för rörflen. Utöver värmeanläggningar för torra bränslen finns ett antal anläggningar för flis. Låtra Gård har tidigare bl. a. levererat rörflensbriketter till Eskilstuna Energi och Miljö för inblandning i en fliseldad anläggning.

6 Diskussion och slutsatser

Sverige har goda förutsättningar för en ökad produktion av biobränslen genom ännu ej utnyttjade biobränsletillgångar och potential för ökad biomassaproduktion inom jordbruket. Rörflen är en energigröda som bedöms ha bra förutsättningar att odlas i både norra och södra Sverige. Tidigare studier har visat att brikettering av rörflen är en intressant framtida produktionskedja och ett exempel på en produktionskedja som har potential att bli lönsam för framförallt småskaliga

producenter. I denna studie undersöks förutsättningarna för användning av rörflen för värmeproduktion i mindre värmecentraler. Mer preciserat analyseras förutsättningarna att använda bränslemixar av briketter och hackad rörflen i tre befintliga värmecentraler. I studien analyseras också förutsättningarna att använda rörflen i en briketteringspress av typ skruvpress. Tekniken är intressant då den är enkel, lättskött och speciellt utvecklad för en småskalig produktion med stråbränsle som råvara. Därtill har testats en balriv som krävs vid brikettering och i anläggningar där det kan bli aktuellt att elda rörflen i hackad form.

Våra resultat i denna studie visar att rörflen fungerar som råvara i den polska skruvpress, modell BS210 utvecklad av Asket för brikettering av halm. Justering och längre tester krävs dock för att få en något högre volymvikt och bättre hållfasthet på briketten.

Försöken med hackad rörflen visar rotorslåtterteknik är att föredra. Beroende på användningsområde, råvara till briketter eller som bränsleråvara i större värmeverk kan rörflen antingen exakthackas eller rundbalas och rivas med balriv i efterhand. Båda systemen är väl fungerande koncept men där ekonomin är något mer positiv för exakthackning. Ska man tillverka briketter från rörflen är dock rundbalningstekniken att föredra då briketteringsprocessen kräver att råvaran är torr och fri från föroreningar.

Mindre och mellanstora värmecentraler <5 MW som är i drift i Sverige idag använder i huvudsak olika sortiment av träbränsle som stamvedsflis, pellets och briketter. Rörflen har 15-20 gånger högre askhalt än träbriketter och 2-3 gånger högre askhalt än skogsbränsle (grotflis), vilket ställer större krav på förbränningstekniken. Pannan måste vara utrustad med automatiskt askutmatningssystem. För att hålla nere underhållskostnaden är automatisk rening av panntuber en fördel. Eftersom rörflensaskan är mer voluminös och strukturen hos askan skiljer sig från stamvedsaska som är mer kompakt krävs att askbädden i pannan förflyttas mekaniskt. Resultaten från den här studien och tidigare försök har också visat att bearbetning av askan krävs för att riva isär askan så att den följer med askskruven ut och inte bygger upp valv i pannan.

Mixar av rörflensbriketter och träbriketter med upp till 20 % rörflen fungerade tillfredsställande i en rosterpanna av trapprostmodell för träbränslen som finns vid Öknaskolan. Dock krävdes viss ombyggnad av askutmatningssystemet. Det bör också poängteras att pannan vid Öknaskolan är över 30 år gammal och saknar aktiv styrning. Pannan var dessutom känslig för finfraktion i bränslet, vilket gjorde det svårt att hitta en balans mellan risken att få bakbrand eller hög andel oförbrända partiklar.

Vid användning av bränslemixar av rörflensbriketter bör pannan utöver ett bra askutmatningssystem ha en aktiv styrning för att kompensera för de ojämnheter som lätt uppstår när råvaror med olika egenskaper blandas. Att mixa trä och rörflen håller nere askhalten men påverkar askkemin och tenderar att sänka asksmälttemperaturen jämfört med att använda 100 % rörflen. I de här försöken sänktes den initiala asksmälttemperaturen på 100 % rörflensaska från 1420 °C till 1190 °C vid en blandning av 20 % rörflen och 80 % trä.

Med den struktur och låga volymvikt som rörlensaska har måste uppehållstiden för bränslet i pannan vara tillräckligt lång för att ge en fullständig förbränning av rörlensbränslet. Resultaten från testerna i en Catfirepanna vid Gullbringa lantbruk visade att uppehållstiden var för kort under dessa tester vilket resulterade i oförbränthalter i askan på över 20 %. I övrigt fungerade Catfirepannan relativt bra med rörlens som bränsle med låga och stabila värden på CO och stoft under mätperioden. För att kunna bedöma om Catfirepannan av den testade modellen är ett bra alternativ för användning av rörlensbriketter i kommersiell drift är slutsatsen att det krävs fler och längre tester med en brikettrivande skruv för att undersöka förutsättningarna att hitta en optimal inställning på bränsleinmatningen och askutmatningen men även för att undersöka hur långtidsförsök påverkar ansamlingen av aska i förbränningsutrymmet. Fördelar med den här pannan är att det finns automatisk sotning av konvektionstuberna samt ett programmerbart styrprogram.

Tidigare försök med rörlensbriketter i en Catfirepanna på 100 kW har visat lovande resultat (Örberg, 2010). Vid detta försök användes dock ett rörlens med mycket lägre askhalt 3 % jämfört med 6 %. Av dessa försök framgick även att det fanns ett luftläckage i pannan som bidrog till en kylning av askbädden vilket kan ha förhindrat asksintring som annars kan vara ett problem med rörlens med låg askhalt. I Glommersträsk är en värmecentral med en 60 kW Catfirepanna under uppbyggnad och där målsättningen är att kunna använda 100 % rörlensbriketter (www.gmepellets.se).

Att blanda in hackad rörlens i befintliga mindre pannanläggningar för flis som inte designats för askrika bränslen kräver ett flertal åtgärder, dels p.g.a. svårigheter med inmatning och blandning av råvarorna vilket minskar tillgängligheten, och dels p.g.a. svårigheten att hantera högre askhalt. Vid försöken i Hemmingsmark uppstod störningar i askhanteringen även vid en låg inblandningsgrad av rörlens. Orsaken till askproblemen är troligtvis hög temperatur i kombination med lång uppehållstid för askan i brännkoppens vilket orsakar sintring av askan. En inblandningsgrad <10 % kan fungera men ger hög arbetsinsats i förhållande till tillförd bränslemängd, vilket leder till högre driftkostnad. Inblandning av hackad rörlens i en mindre värmecentral sker på två sätt, antingen manuell blandning med traktor före fyllnad i silo eller ett separat matningssystem som doserar in en delmängd till skogsbränsle/flis. Bägge alternativen medför ökade omkostnader för anläggningsägaren. För att det ska löna sig måste hackad rörlens vara billigare än skogsbränsle för den aktuella användaren.

Vid förbränning av rörlens ökar generellt medelvärdet för NO_x då halten kväve i bränslet ökar. I dag finns inga NO_x-krav för små anläggningar (<10 MW) men om kraven i framtiden ökar för dessa mindre anläggningar måste primära och sekundära kostnadseffektiva metoder utvecklas för att minska NO_x-halterna.

En väl fungerande förbränningsanläggning som användarna är nöjda med är en central förutsättning för att marknaden för rörlens som bränsle skall kunna utvecklas positivt. Den vanligaste tekniken som idag finns i befintliga mindre värmecentraler (< 5 MW) är olika typer av rörliga rosterpannor samt brännare och förgurnar i det mindre segmentet. I befintliga anläggningar har rörlensbriketter bäst förutsättningar (tekniskt och ekonomiskt) att användas i de anläggningar som

redan är anpassade för briketter. Dessa anläggningar har behov av torra bränslen och har ett inmatnings- och lagringssystem som är anpassat för briketter. I dessa anläggningar är det framförallt förbränningstekniken som måste anpassas till ett askrikt bränsle.

Anläggningar för stamvedsflis är anpassade för fuktiga bränslen om inte torkad flis används. I dessa anläggningar lämpar sig ett torrt bränsle som rörflenbriketter bara som inblandning. Beroende på anläggningsstorlek kan viss anpassning och justering behövas p.g.a. ökade askhalter. Tidigare försök med inblandningar av rörflen i en 4 MW flisanläggning visade framförallt ökade halter av oförbränt i askan. (Todorovic, 2007). Tidigare försök har även visat på svårigheter att använda flistransportörer för rörflensbriketter men även att få en homogen blandning och jämn inmatning av rörflen och flis, vilket blir svårare med minskande anläggningsstorlek.

De pelletsanläggningar som är i drift idag dominerar framförallt i det mindre användarsegmentet <500 kW. Flertalet av dessa anläggningar är svåra att bygga om för användning av briketter då både bränslelager, inmatningssystem och förbränningssystemet måste byggas om. Dessa anläggningar är dessutom ofta placerade i byggnader med begränsad plats och där det inte är möjligt att byta ut pelletssilon mot exempelvis ett containersystem.

Bäst förutsättningar har rörflenbriketter som bränsle i nybyggda anläggningar samt i de anläggningar som står i begrepp att byta ut den gamla pannan. Tidigare har det varit svårt att hitta pannor på marknaden som uppfyller de krav som rörflen har som bränsle, speciellt för mindre mellanstora värmecentraler. Under de två-tre senaste åren har en kunskaps- och produktutveckling skett, inte minst på den tyskspråkiga marknaden.

Huruvida rörflen i framtiden kommer att användas som inblandning i befintliga anläggningar som använder trädbränsle idag eller i speciellt anpassade pannor för askrika bränslen beror från fall till fall men bedömningen är att anläggningar i den mindre effektklassen 50 kW-1 MW har bäst förutsättningar att använda rörflen i pannor speciellt anpassade för askrika bränslen. I effektklassen 1-5 MW bedöms även inblandningar motsvarande 10-20 % rörflen vara ett alternativ. Dessa anläggningar har bättre möjligheter att styra och kompensera för olika bränslekvaliteter och ojämnheter i bränslet. Detta förutsätter dock att rörflen kan hanteras på ett kostnadseffektivt sätt med fungerande transportörer och inmatning. Briketterna har här en fördel jämfört med att använda hackat rörflen. För att få ekonomi i produktionskedjan vid brikettering av rörflen krävs dock att värmeverken är villiga att betala priset för en förädlad produkt.

För att underlätta utvecklingen av rörflen som energigröda är det centralt att potentiella användare får tillgång till en samlad tekniköversikt och värdering av lämpliga pannor för rörflen samt att fler praktiska tester utförs. I ett nyligen uppstartat SP-projekt som en särskild insats inom "Bioenergigårdar i ett nytt landskap" kommer ett sådant underlag under hösten 2010 att tas fram (Gustavsson, 2010). Projektet syftar bl.a. till att inventera och så långt möjligt värdera inom Europa tillgänglig utrustning för förbränning av rörflen i briketterad eller riven form i effektområdet 50 kW – 1 MW. Därtill är det viktigt att projekt

av demonstrationskaraktär kommer till stånd för att visa fungerande bränslekedjor med anpassade pannor. Fler utvecklingsprojekt behövs där teknikföretagen kan hitta lösningar för att anpassa tekniken i anläggningar som är i drift idag till nya råvaror både vad gäller bränslehanteringssystemet och förbränningstekniken. För att anläggningar ska kunna blanda rörflen med andra bränsleråvaror krävs flexibla bränslehanteringssystem som kan hantera bränslen med olika bitstorlek, volymvikt och skapa bra blandningsförhållanden. För att kompensera för ojämnheter krävs också en god styrning av luft- och bränsletillförsel. Här kommer utveckling av sensortekniken att bli allt viktigare i form av både CO-sensorer och NO_x-sensorer. Förbränningstekniken måste utvecklas till att klara större askvolymmer och mekaniskt kunna bearbeta och mata ut askan. Viktigt är att inte bara fokusera på askhalten utan även strukturen på askan då exempelvis rörflensaskan skiljer sig avsevärt från träaskan.

7 Referenser

Asket. 2009. www.asket.se

Burvall J. 1997. Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass. *Biomass and Bioenergy* 12 (3), 149-154.

Burvall J, Hedman B, Landström S. 1997. Ståndortens inverkan på bränslekvalitet hos ståbränslen. Projekt från Vattenfall Utveckling AB, Projekt Bioenergi.

Burval J. 2008. Skellefteå Kraft, Skellefteå. Personlig kontakt.

Erhardsson T, Öhman M, de Geyter S, Öhrström A. 2006.

Bäddagglomereringsrisk vid förbränning av odlade bränslen (hampa, rörflen, halm) i kommersiella bäddmaterial. Värmeforskrappport 998, Värmeforsk, Stockholm.

Ericsson K & Börjesson P. 2008. Potentiell avsättning av biomassa för produktion av el, värme och drivmedel inklusive energikombinat – Regionala analyser och räkneexempel. Rapport ER 2008:4, Energimyndigheten, Eskilstuna.

Gustavsson L. 2010. Småskalig förbränning av rörflen-inventering och värdering av tillgänglig teknik. Pågående projekt inom "Bioenergigårdar i nytt landskap". SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Hedman H, Öhman M, Björk L. 2002. Förbränning av pelleterade rörflensblandningar (rörflen/spån/torv) i traditionell pelletsutrustning – förstudie. NIFES 2002-3. Energitekniskt Centrum, Piteå.

Hushållningssällskapet. 2010. www.hush.se/nord

Jonsson Å, Paulrud S, Lundgren J. 2010. Framtida behov och system för småskalig värmeförsörjning med biobränsle. Pågående projekt inom Energimyndigheten program "småskalig värmeförsörjning med biobränsle". IVL Svenska Miljöinstitutet.

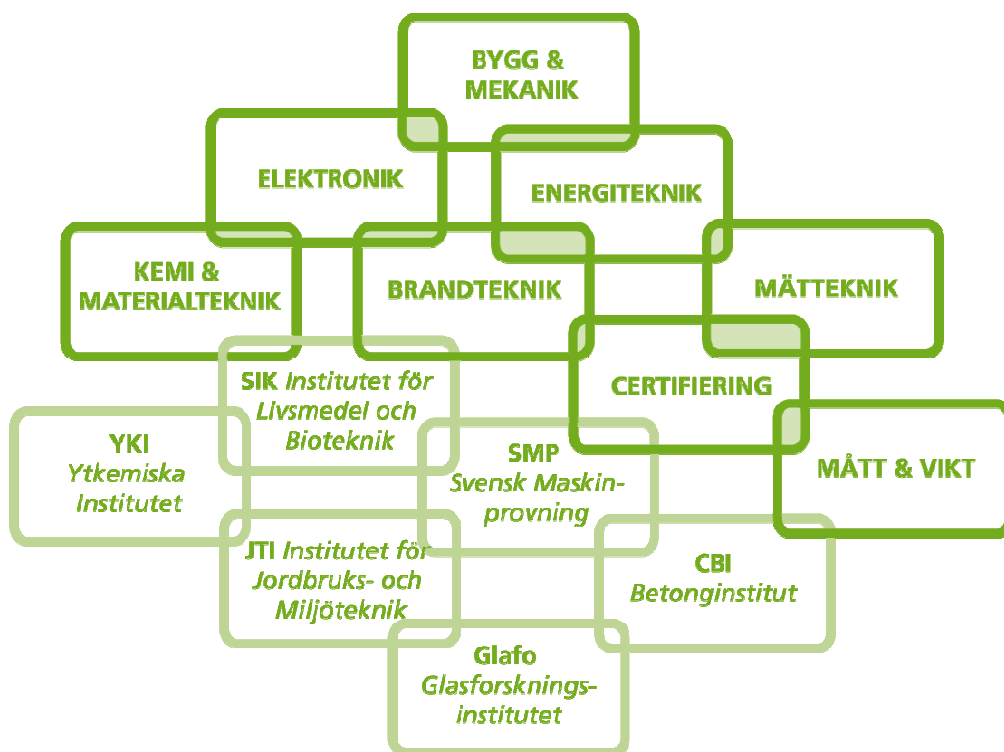
Karlhager J. 2008. The Swedish market for wood briquettes-production and market development. Sveriges Lantbruksuniversitet, inst. för Skogens produkter. Examensarbete nr 13, 2008.

Larsson S, Örberg H, Kalén G, Thyrel M. 2006. Rörflen som energigröda. Erfarenheter från fullskaleförsök vid Biobränsletekniskt centrum (BTC) i Umeå under åren 2000-2004. BTK-rapport 2006:11. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

- Lindh T, Paapanen T, Rinne S, Sivonen K, Wihersaari W. 2008. Reed canary grass transportation costs – Reducing costs and increasing feasible transportation distances. Biomass and Bioenergy in press.
- Lindh T m fl. 2005. Production of reed canary grass and straw as blended fuel in Finland. VTT Processes, Jyväskylä, Finland. Arbetsrapport.
- Pahkala K, Aalto M, Isolahti M, Poikola J, Jauhiainen. Large-scale energy grass farming for power plants-A case study from Ostrobothnia, Finland. Biomass and Bioenergy 32 (2008) 1009-1015.
- Paulrud, S., Nilsson, C. 2001. Briquetting and combustion of spring-harvested reed canary grass: effect of fuel composition. Biomass and Bioenergy 2001 (20) 25-35.
- Paulrud, S., Nilsson, C., Öhman, M. 2001. Reed canary-grass ash composition and its melting behaviour during combustion. Fuel 2001 80(10) 1391-1398.
- Paulrud S, Holmgren K, Rosenqvist H, Börjesson P. 2009. Förutsättningar för nya biobränsleråvaror-system för småskalig brikettering och pelletering. IVL Rapport B1825, IVL Svenska Miljöinstitutet, Göteborg.
- Todorovic, J, Zintl, F och Bodén, H. 2007. Metodutveckling för utprovning av nya biobränslen-driftserfarenheter från en rostpanna. Slutrapport inom området Rostteknik. TPS-07/02.
- SOU-Statens offentliga utredningar. 2007. Bioenergi från jordbruket-en växande resurs. SOU 2007:36
- SVEBIO (2008). Rapport om potentialen för bioenergi – tillgång och användning. Sveriges Bioenergiförening, Stockholm.
- Yngvesson J. 2010. Rökgasbrunn för minimering av stoft och sura gaser. Pågående projekt inom Energimyndigheten program Småskalig värmeförsörjning med biobränsle.
- Örberg H, Skoglund N, Grimm A, Boström D, Öhman M. 2010. Teknikutveckling för ökad etablering och nyttjande av rörflen-Demonstrationsförsök i fullskala. Värmeforsk rapport 1146, Värmeforsk, Stockholm.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 9000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

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

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Energiteknik

SP Rapport 2010:60

ISBN 978-91-86622-01-5

ISSN 0284-5172