

SALIX SOM BRÄNSLE FRÅN KADMIUMBELASTAD ÅKERMARK

RAPPORT 2015:189



BRÄNSLEBASERAD EL-
OCH VÄRMEPRODUKTION



Salix som bränsle från kadmiumbelastad åkermark

SUSANNE PAULRUD, ANDERS HJÖRNHEDE, MAGNUS SVENSSON, FREDRIK AXBY

ISBN 978-91-7673-189-5 | © 2015 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt A 39202 Hantering av kadmium vid värmeverket vid användning av Salix som fånggröda (Energimyndighetens projektnummer P 39202) som faller under teknikområde anläggnings- och kemiteknik inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av

Jenny Larfeldt, Siemens
Solvie Herstad Svärd, WSP
David Jiveborn, E.ON

SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion, är efterföljaren till Värmeforsks Basprogram och startade som ett samarbetsprogram mellan Värmeforsk och Energimyndigheten 2013. All forskningsverksamhet som bedrevs inom Värmeforsk ingår sedan den 1 januari 2015 i Energiforsk. Därför ges denna rapport ut som en Energiforskrapport.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav.

Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik.

Stockholm mars 2016

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

Tidigare studier visar att salixodling är en effektiv metod att rena åkermark från kadmium. En välskött salixodling står för ett årligt upptag som är 20 till 50 gånger högre än för spannmål. Genom att odla salix innan vete fås därmed en minskad kadmiumhalt i vetet. Om salix ska fungera som en gröda med syfte att både producera energi och rena åkermark från tungmetaller behövs mer kunskap hur tex kadmium ska hanteras på värmeverken. Med ökad användning av salixflis från kadmiumrika marker finns risk att kadmiumhalten ökar i kondensatet då salix har betydligt högre halter än skogsbränsle, i snitt 5-10 gånger högre halter. I den här studien har målet varit att genomföra fullskaleförsök med bränslemixar av skogsflis och salixflis i en 2x10 MW biobränsleanläggning hos Ystad Energi samt att föreslå åtgärder för att minska ev. problem med kadmium i aska och kondensat.

Vid förbränningsförsöken användes en blandning av 50 volym-% salixflis och 50 volym-% lövflis. För att hitta en salixodling med hög kadmiumhalt gjordes en provtagning för analys av kadmium i två olika odlingar i två områden som bedömdes ligga på kadmiumrika marker i Skåne. Två olika försök med en mix av salixflis (lövad och ej lövad) och lövträdsflis genomfördes om tre dagar vardera varav mätningar utfördes dag tre, dvs pannan eldades med salixflis minst två dagar innan mätning. Innan försök med salixflis genomfördes mätning på 100 % lövträdsflis (referensbränsle) under en dag, därefter påbörjades salixförsöket. Rökgaserna analyserades kontinuerligt under provperioden och provtagning av totalstoft genomfördes samtidigt tre gånger per mättillfälle, före cyklon, efter cyklon samt efter venturi. Provtagning av kondensat gjordes efter venturi vid sex olika tillfällen, vid tre av dessa gjordes en sk. totalanalys vilket innefattar samtliga element. Bränsleprov, flygaskprov och bottenaskprov togs ut vid tre tillfällen under varje mätperiod för respektive bränsle.

Salixmixen visade inga större skillnader i bränsleegenskaper för huvudelementen i jämförelse med referensbränslet. Störst skillnad uppvisade spårelementen zink och kadmium med ca 5-6 gånger högre kadmiumhalt i salixmixen. För den salixsort som användes vid försöket så ökade inte kadmiumhalten i lövad salix (prov från maj månad) i jämförelse med salix utan löv (mars månad). Efter förbränning återfanns huvuddelen av kadmiumet i flygaskan och där kadmiumhalten var ca 75-100 % högre i flygaskan från salixmixen i jämförelse med referensbränslet. Huvuddelen (>85 %) av kadmiumet hamnade i cyklonaskan vid förbränning i den testade anläggningen medan ökningen i kondensatet var marginell vid inblandning av salix. Rekommenderade halter för kadmium vid askspredning i skogen är max 30 mg/kg ts. Flygaskan vid försöket hos Ystad värmeverk innehöll högre halter (36-45 mg/kg ts). Eftersom bottenaskan och flygaskan blandas innan askspredning, så kommer dock inte halterna av kadmium att överskridas om andelen flygaska är ca 30 %. Eventuella åtgärder i värmeverket som krävs vid användning av salix med höga kadmiumhalter styrs av inblandningsgraden av salix och kadmiumhalten i bränslet. En inblandning av 10-20 % salix kan tillåta högre kadmiumhalter än 1,5 mg/kg ts bränsle (resultatet i denna studie) för att inte överskrida tillåtna halt för askspredning i skogen. En viktig frågeställning att ta hänsyn till är om kadmiumet ur ett miljöperspektiv ska flyttas från åkermarken till skogen via askåterföring eller om kadmiumet bör omhändertas. Rent tekniskt är det inga problem att hålla isär flygaskan från bottenaskan men det medför en extra kostnad för värmeverket att deponera flygaskan vilket kan minska intresset att ta emot salix.

Summary

Willow as fuel from arable land with high cadmium content

Introduction

Cadmium is a major health problem (Naturvårdsverket, 2013). We ingest cadmium when we eat, and it increases the risk of osteoporosis and various types of fractures that are estimated to cost the Swedish society 4 billion per year according to a report from the Swedish Chemicals Agency. To reduce the intake of cadmium via food, the supply to arable land must be strangled or removed. Fertilizers, mineral and organic nutrient products (manure, bio-fertilizers, sewage sludge, etc.) will always contain certain amounts of cadmium. Also the deposition of cadmium from the air pollution will not completely cease. In the current situation there is a balance between contributions and exit of cadmium in the soil, so that cadmium levels are no longer rising, at the same time the stored amount of cadmium in the soil is very large, (Naturvårdsverket, 2013).

Previous studies show that willow cultivation is an effective method to clean arable land from cadmium. A well-maintained willow cultivation accounts for an annual uptake that is 20 to 50 times higher than for cereals (Hasselgren, 2014). If the willow is grown before the wheat, the cadmium content will be reduced in wheat. If the willow will serve as a crop in order to both produce energy and clean arable land from heavy metals more knowledge is needed how the cadmium should be handled at the heating plant. With increased use of willow chips from cadmium-rich land there may be a risk that the cadmium concentration increases in the condensate since the willow has significantly higher levels than forest fuel, average 5-10 times higher levels. The goal of the project was to perform full-scale experiments with fuel mixes of wood chips and willow chips in a 2x10 MW biomass plant at Ystad Energy and to propose measures to reduce possible problems with cadmium in ash and condensate.

Material and Methods

The heating plant consists of two boilers per 10 MW, supplier Weiss (Denmark), 3 MW condensation after each boiler. The boilers are equipped with a moving grate, staircase, divided into three sections. The boilers went into operation in 2007. The fuel is primarily wood chips, pine-wood/forest residues and hardwood chips and a smaller portion of willow. The flue gas cleaning is composed of a cyclone and then a scrubber (Venturi) and the last is the gas flue condensation tower. It is a flue gas cleaning equipment for each boiler. Purification of the condensate is made through a sand- and lamella filter.

During the combustion tests, a mixture of 50% by volume of willow chips and 50% by volume of hardwood chips, was used. To find a willow cultivation with a high content of cadmium, two samples for analysis, were taken in two different cultivations in two areas that were judged to lie on cadmium-rich land in southern Sweden. Two different experiments with a mix of willow chips (leafy and non-leafy) and hardwood chips, was performed during three days and which measurements were carried out day three, ie the boiler was used with willow chips at least two days before measurement. Before experiments with willow chips were carried out, experiments and measurements with

100% hardwood chips (reference fuel), was performed. The flue gases NO_x , CO, SO_2 , CO_2 och O_2 were continuously analyzed during the trial period, and sampling of total dust were carried out simultaneously three times per sample, before the cyclone, after cyclone and after the venturi. Sampling of condensate were made on six different occasions, three of these were so-called total analysis which includes all the elements. Fuel sample, fly ash sample and bottom ash sample was collected on three occasions during each measurement period for each fuel.

Results

The willow fuel mix showed no major differences in fuel properties of the main elements in comparison with the reference fuel. The greatest difference showed the trace elements zinc and cadmium with about 5-6 times higher cadmium content in the willow fuel mix (figure 1). For the willow variety used in the experiment the cadmium content did not increase in willow chips with leaves (sample from the month of May) in comparison with willow without leaves (March).

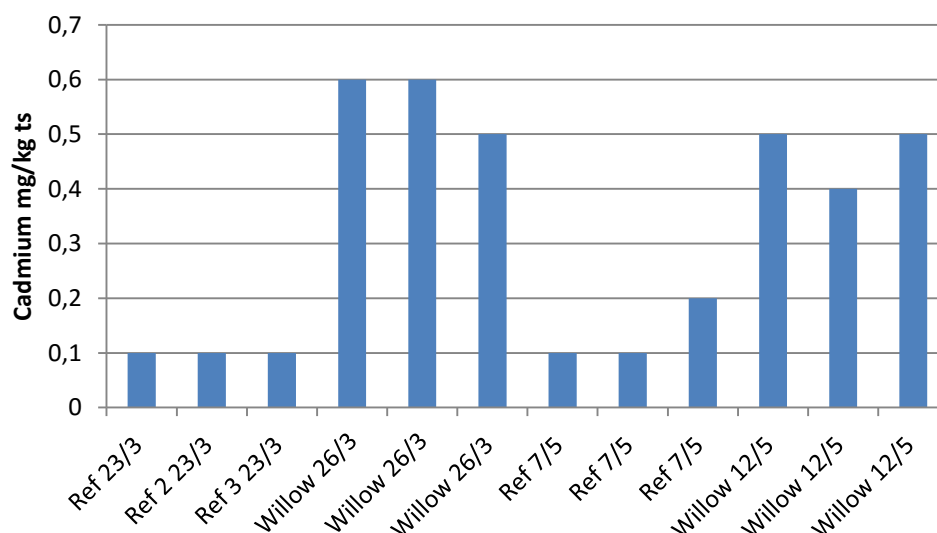


Figure 1. Difference in the cadmium content between 100% hardwood chips (ref) and a willow fuelmix consisting of 50 volume% willow chips and 50 volume% hardwood chips.

Table 1 shows the mean (approximately four hours of measurement) of the measured gas concentrations in flue gas. Combustion of the willow fuel mix increases NO_x emissions slightly due to higher nitrogen content in willow. The mixing of the willow fuel also increases the dust content in the raw gas. The higher CO content when using willow mix (March) does not depend on the fuel. According to operating staff at the heating plant, the boiler sometimes independent of the fuel ends up in an irregular combustion" causing high CO. At the second trial in May the boiler load was lower (<50%) in the willow experiment in comparison with the other trials which resulted in lower flue gas temperature, lower NO_x content and lower dust content in the raw gas before purification.

Table 1. Average values of the measured gas concentrations in flue gas. Total dust shows the mean of three samples. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

		Temp	NO _x	CO	O ₂ -real value	Dust Before cleaning	Dust After cyclone	Dust After Venturi
Date	Fuel	°C	mg/nm ³ 6% O ₂	mg/nm ³ 6% O ₂	%	mg/nm ³ 6% O ₂	mg/nm ³ 6% O ₂	mg/nm ³ 6% O ₂
2015-03-23	Ref.	186	149	152	3,5	173	92	13
2015-03-26	Willow mix	179	168	511	5,7	347	125	21
2015-05-07	Ref.	181	183	58	4,2	188	104	27
2015-05-12	Willow mix	159	159	51	5,5	238	131	27

*SO₂ ended up under detection limit for most of the measurements and are not reported.

After combustion the majority of the cadmium was found in the fly ash and in which the cadmium content was about 75-100% higher in the fly ash from willow mix in comparison with the reference fuel (figure 2). The cadmium content of bottom ash shows a low level in all samples. The majority (> 85%) of the cadmium ended up in the cyclone ash during combustion in the tested plant while the increase in the condensate was marginal when using willow (figure 3).

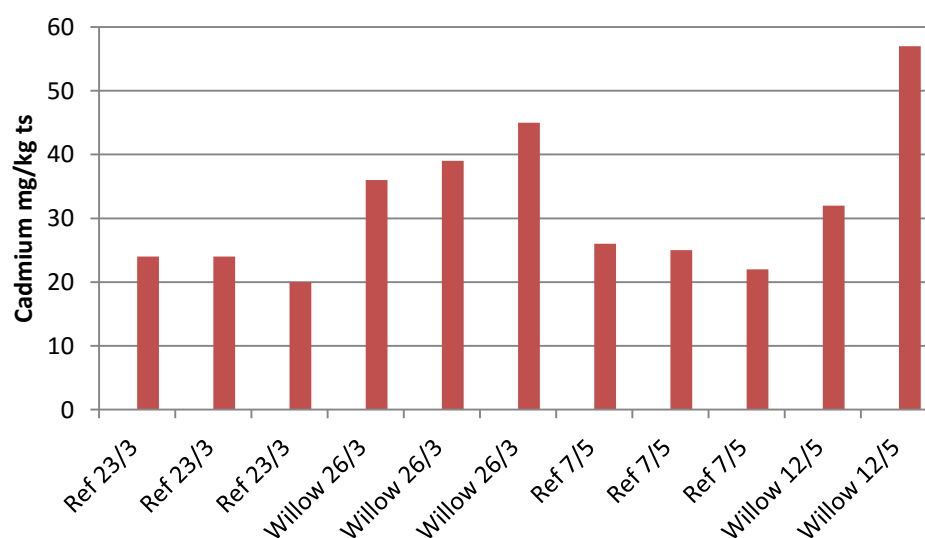


Figure 2. Cadmium content in the fly ash, the comparison between all trials. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

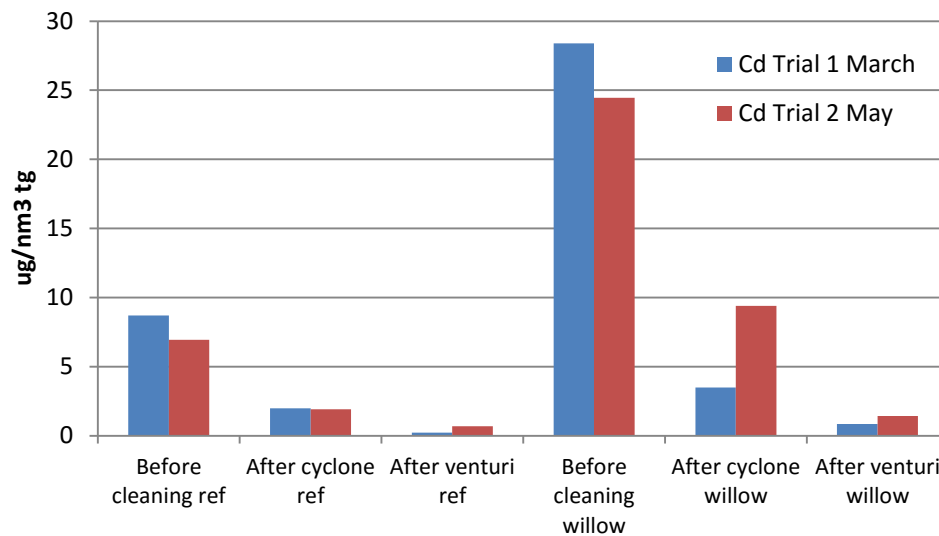


Figure 3. Cadmium content of the particles after and before purification of flue gases. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

The results from the measurements of metals in the condensate showed that the concentrations of lead, chromium, nickel, and thallium reduced with the mixing of willow while the concentrations of cadmium and particularly zinc increase. The increase of cadmium corresponded to about 20%. In order to assess the need for purification efforts of the condensate, samples were filtered to investigate the respective metal's distribution as particle-bound or loose (Table 2). Table 3 shows levels after filtration. Significant amounts of arsenic, lead, cadmium, copper, nickel and zinc is present as particle-bound, which means that good purification can be achieved only through a particle-removing step. The heating plant in Ystad has both sand- and lamella filter which provide an outlet water with normally low levels of heavy metals.

Table 2. Part particle-bound metal percent (average). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

	Trial 1		Trial 2	
Part of %	Ref	Willow	Ref	Willow
Antimony	62	54	51	45
Arsenic	93	80	66	76
Barium	79	82	77	75
Lead	98	90	90	85
Cadmium	86	86	87	84
Cobalt	76	85	85	82
Copper	97	92	88	87
Chromium	67	51	35	27
Mercury	>92	>74	>86	>87
Molybdenum	11	6	6	7
Nickel	73	84	87	86
Vanadium	81	69	77	64
Zinc	88	93	88	87
Selenium	12	-2	14	2
Thallium	-37	-18	-55	-81

Table 3. Metal content after filtration (mean). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips

	Trial 1		Trial 2	
µg/l	Ref	Willow	Ref	Willow
Antimony	2,3	1,7	1,7	1,8
Arsenic	0,6	2,2	3,3	1,9
Barium	515	400	265	180
Lead	8,8	27	36	32
Cadmium	22	26	8,3	12
Cobalt	2,1	1,3	0,5	0,6
Copper	10	38	22	21
Chromium	10	12	13	11
Mercury	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Molybdenum	12	14,5	9,2	14
Nickel	13,5	5,4	2,7	2,2
Vanadium	1,4	1,4	0,9	1,1
Zinc	1950	1350	840	1300
Selenium	7,6	9,8	5,5	6,2
Thallium	11	4,8	9,4	5,8

Conclusions

The use of willow as a purification filter for arable land with high cadmium content is an interesting approach since it is an effective method in a relatively short time and also a cost effective way to reduce the cadmium content in our farmland. Today we have good knowledge of willow as fuel and willow can be used without problems in mix with other wood fuels in most types of combustion plants (Paulrud, 2014). The issue of this study was to investigate the possible problems the heating plants can face when using willow with high levels of cadmium. Conclusions from the project are:

- Ystad heating plant can with good sustained operation at a load around 70-80% of the maximum load, blending up to 50 volume % willow in the fuel base. There is every reason to assume that the operation is not affected either at 100% load.
- The willow fuel mix showed no major differences in fuel properties of the main elements in comparison with the reference fuel. The greatest difference showed the trace elements zinc and cadmium with about 5-6 times higher cadmium content in the willow fuel mix.
- For the willow variety used in the experiment the cadmium content did not increase in willow chips with leaves (sample from the month of May) in comparison with willow without leaves (March).
- After combustion the majority of the cadmium was found in the fly ash and in which the cadmium content was about 75-100% higher in the fly ash from willow mix in comparison with the reference fuel.
- The majority (> 85%) of the cadmium ended up in the cyclone ash during combustion in the tested plant, while the increase in the condensate was marginal when using willow.
- Recommended levels for cadmium in ash for spreading in the forest is 30 mg/kg DM. The fly ash from the trial in Ystad heating plant contained higher levels (36-45 mg/kg DM). Since the bottom ash and fly ash is mixed before ash spreading, the concentrations of cadmium will not be exceeded if the percentage of fly ash is about 30%.
- Actions in the heating plant, that is required when using willow with high cadmium content is controlled by the incorporation rate of willow and cadmium content in the fuel. An admixture of 10-20% willow may allow higher levels of cadmium than 1,5 mg/kg of dry fuel (the result in this study) to not exceed the permissible levels of ash spread in the forest.
- Technically, it is no problem to separate fly ash from bottom ash in a heating plant but there is an additional cost for the heating plant to dispose the fly ash.
- For purification of output levels after the particle separation, an ion exchanger can be an option for Ystad heating plant. An ion exchanger is a relatively cost effective purification method where low output levels can be achieved.

Innehåll

1	Inledning	14
1.1	Projektets mål	15
2	Genomförande	16
2.1	Bränsle	16
2.2	Beskrivning av anläggningen	16
2.3	Förbränningsförsök	16
2.3.1	Försöksplan	16
2.3.2	Provtagning emissioner, stoft	17
2.4	Provtagning kondensat	17
2.4.1	Provtagning bränsle, botten-och flygaska	18
3	Resultat och Diskussion	21
3.1	Förbränningsförsök med salixflis	21
3.1.1	Bränslets kemiska sammansättning	21
3.1.2	Askans kemiska sammansättning, nyckelämnena	23
3.1.3	Emissioner och stoft	26
3.1.4	Kondensat	28
3.2	Åtgärder för att minska ev. problem med kadmium i aska och kondensat.	31
4	Slutsatser	34
4.1	Rekommendationer fortsatt arbete	35
5	Referenser	36

1 Inledning

Det finns goda förutsättningar i Sverige att etablera närproducerade och lönsamma salixodlingar. Med rätt förutsättningar och god skötsel kan salix vara en lönsam gröda som konkurrerar väl med spannmålsgrödor. I jämförelse med skogsbränsle är användningen av salix i värmeverk idag mycket begränsad och inblandningen uppgår ofta till max 20 %. Periodvis kan dock inblandningen vara större då skörden är relativt väderberoende. Även lokalt kan inblandningen vara större i vissa värmeverk.

Salix bränsleegenskaper är relativt lika egenskaperna hos träbränsle från skogen (Paulrud, 2014, 2015). Salix kan dock ha högre kadmiumhalt (5-10 ggr högre) då salix har stor förmåga att ta upp kadmium. Trots att tillförseln av kadmium till åkermarken via gödsel och luftföroreningar har minskat är tillförseln på svensk åkermark i snitt något större än bortförseln idag. I Sverige är den genomsnittliga halten 0,2 mg Cd/kg TS jord men på många platser är halterna högre, bl.a. i Skåne. Tio procent av Skånes matjord har kadmiumhalter som ligger på eller över 0,4 mg/kg TS. I ett flertal studier har salixodlingar diskuterats som en möjlig metod att rena åkermarken (Nylund, 2003, Greger, 2015, Hasselgren, 2008).

Naturvårdverket (NV) har föreslagit ett etappmål, att senast 2018 besluta om styrmedel som minskar befolkningens genomsnittliga exponering för kadmium via livsmedel. Naturvårdsverket uppskattar att ca 200 kg kadmium per år kan bortföras från åkermarken genom att odla salix (Naturvårdsverket, 2013). Av de åtgärder som NV pekar på så är odling av salix den åtgärd som ses som mest effektiv för miljön och människan samt mest kostnadseffektiv.

Beroende på vilken salixklon som används så kan kadmiumhalten i bladen antingen vara lägre eller högre än kadmiumhalten i stammen. För kloner med högre kadmiumhalt i bladen bör skörd genomföras när löven är kvar (Bert, 2011). Rent praktiskt är det inga problem att skörda salix i maj-juni månad och tidigare studier visar att tillväxten inte påverkas nämnvärt (Nordh, 2010). I en nyligen genomförd studie av Paulrud (2015) där en salixodling under ett års tid analyserats med avseende på dess kemiska sammansättning, visar resultatet att de askbildande spårelementen såsom kadmium ej ökar nämnvärt med lövad salix för klonen Tordis, däremot verkar minskad skottdiameter ha större betydelse. Vid skörd av lövad salix ökar dock halterna av andra näringsämnen och där framförallt kvävehalten visar störst skillnad.

Förbränning av salix odlad på jordar med höga halter kadmium kan medföra ett hanteringsproblem av den aska och kondensat som uppstår vid förbränning. Hur kadmium fördelar sig mellan aska och kondensat och hur askan slutligen ska hanteras, behöver därför utredas vidare. Tidigare studier på trädbränslen visar att reningstekniken har betydelse för hur kadmium fördelas mellan de olika askorna och att störst andel kadmium återfinns i flygaskan (Delplanque, 2013).

För att värme- och elproducenter ska överväga bränslemixar med salix från kadmiumrika marker som alternativ i framtiden finns behov av fler fullskaleförsök för att verifiera vad som händer med kadmium vid förbränning av salix i biobränsleanläggningar med rökgaskondensering. Därtill finns behov att verifiera kostnadseffektiva reningsåtgärder för att minska problemet med höga halter av tungmetaller i kondensatet.

1.1 PROJEKTETS MÅL

Det övergripande målet med projektet är att genom fullskaleförsök påvisa för marknaden effekten av höga halter av kadmium i salix som bränsle vid rosterförbränning med rökgaskondensering samt visa på åtgärder som kan minska ev. miljöproblem vid hantering av aska och kondensat.

Delmål i projektet är att:

- Genomföra fullskaleförsök med bränsemixar av skogsflis och salixflis i en 2x10 MW biobränsleanläggning hos Ystad Energi
- Att föreslå åtgärder för att minska ev. problem med kadmium i aska och kondensat.

2 Genomförande

Salixflis skördad på kadmiumrika marker levererades till Ystad Energi i mars månad respektive maj månad 2015 för test i deras bibränslepannor.

2.1 BRÄNSLE

För att hitta en salixodling med hög kadmiumhalt gjordes en provtagning för analys av kadmium i två olika odlingar i två områden som bedömdes ligga på kadmiumrika marker i Skåne. Resultatet visade att Tågra gård, Sjöbo hade skördemogen salix med höga halter kadmium (tabell 1). Tidigare studier visar att i genomsnitt ligger kadmiumhalten i salix runt 0,6-1 mg/kg ts (Paulrud, 2014, Paulrud, 2015). Skörden genomfördes på 4 år gamla skott och en 10-15 år gammal odling.

Tabell 1. Kadmiumhalt i en salixodling från två olika fält och områden i Skåne.

Table 1. Cadmium content in a willow cultivation from two different fields and areas in Skåne.

	Salix, Ryds gård	Salix, Tågra gård
Kadmium, mg/kg ts	0,5	1,5

Salixodlingen skördades vid två tillfällen, i mars när löven ej spruckit ut samt i maj när salixen var lövad. Vid skörd levererades flisen direkt till Ystad värmeverk där den tippades i hög vid bränslefickan. Vid förbränningsförsöken användes en blandning av 50 volym-% salixflis och 50 volym-% lövflis. Lövflisen och salixflisen tippades i två separata bränslefickor och blandades automatiskt i bränsleskruven vid inmatning.

2.2 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN

Anläggningen består av två stycken pannor per 10 MW, leverantör Weiss (Danmark), 3 MW kondensering efter respektive panna. Pannorna är utrustade med rörlig roster, trappa, delad i tre sektioner. Pannorna togs i drift 2007. Bränslet är till största delen skogflis, barr-flis/grot och lövflis/grot och en mindre del salix. Rökgasreningen består först av en cyklon och därefter en scrubber (Venturi), samt sist i rökgasstråket själva kondenseringstornet. Det är ett rökgasreningssteg per panna. Rening av kondensatet görs via ett sand- och lamellfilter.

2.3 FÖRBRÄNNINGSFÖRSÖK

2.3.1 Försöksplan

Två olika försök med en mix av salixflis (lövad och ej lövad) och lövträdsflis genomfördes om tre dagar vardera varav mätningar utfördes dag tre under dagtid (08.00-16.00), dvs pannan eldades med salixflis minst två dagar innan mätning.

Innan försök med salixflis genomfördes mätning på 100 % lövträdsflis (referensbränsle) under en dag (08.00-16.00). Därefter påbörjades salixförsöket. Samma typ av lövträdsflis användes i salixmixen som vid referensförsöket.

2.3.2 Provtagning emissioner, stoft

Rökgaserna analyserades kontinuerligt under provperioden med avseende på NO_x, CO, SO₂, CO₂ och O₂. Stoffemissionerna har bestämts genom uppsamlingsprov på filter med isokinetisk provtagning. Provtagning av totalstoft genomfördes samtidigt tre gånger per mättillfälle, före cyklon, efter cyklon samt efter venturi (figur 1). Tiden för varje stoftprov var mellan 45 minuter till en timme.

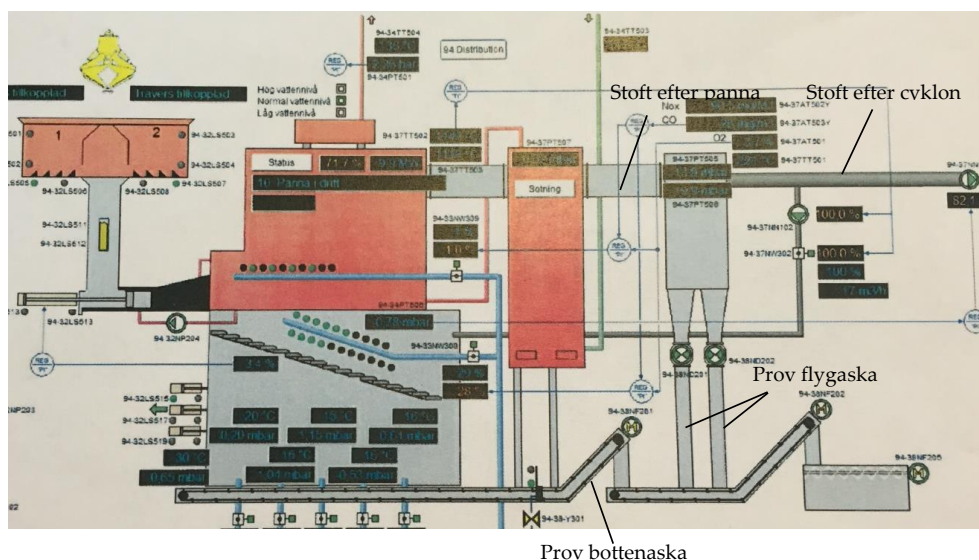
Analys av kadmiumhalten i stoftfilter har genomförts av ALS Scandinavia enligt standard metod: SS-EN 14385:2004 mod.

2.4 PROVTAGNING KONDENSAT

Provtagning av kondensat utfördes i en position efter en venturi, i normalfallet passerar endast quenchvatten här (figur 2). Under andra försöket styrdes flödet av rökgaskondensat om så att det kom att passera provtagningspunkten för att passera enda flödesmätaren på processvatten ut ur anläggningen.

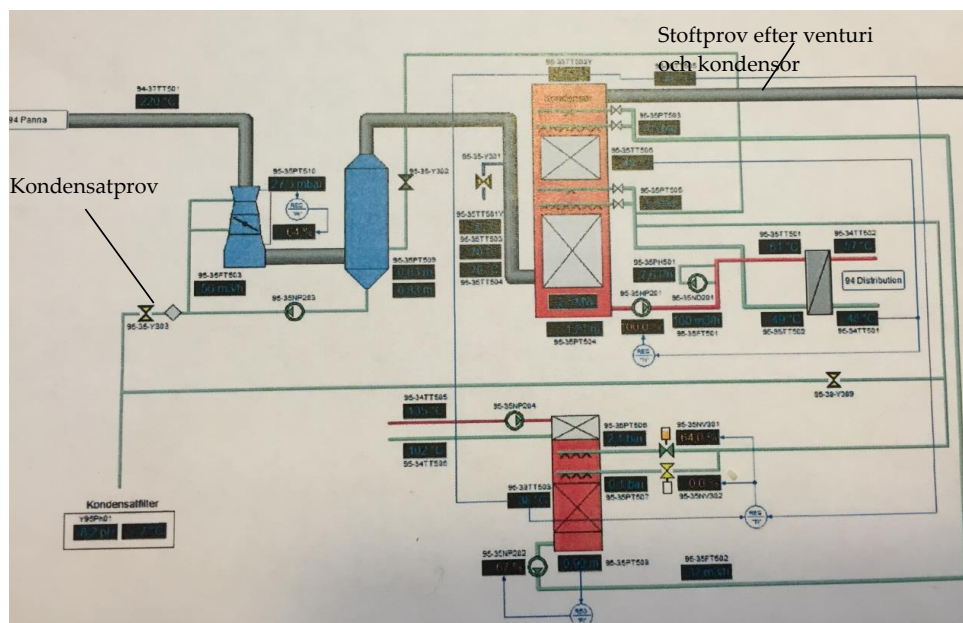
Flödesmätningen över provtagningspositionen görs via en räknare som nollställs och loggas manuellt i driftjournal vid samma tid varje dag. Över granskad tidsperiod, januari – maj, varierar inte detta flöde nämnvärt utan ligger konstant i spannet 18-21 m³/dygn.

Provtagning av kondensat gjordes vid sex olika tillfällen per försöksomgång, vid tre av dessa gjordes en sk. totalanalys vilket innefattar samtliga element. Ytterligare tre av proverna analyserades endast m.a.p tungmetaller. Vid två av provtagnen för analys av tungmetaller utfördes en filtrering på proverna för att bestämma mängden partikelbunden metall. Analyser på kondensat utfördes av Alcontrol.



Figur 1. Skiss på anläggning med mätpunkter.

Figure 1. Sketch of plant with measurement points.



Figur 2. Skiss på anläggning med mätpunkter.

Figure 2. Sketch of plant with measurement points.

2.4.1 Provtagning bränsle, botten-och flygaska

Bränsleprov, flygaskprov och bottenaskprov togs ut vid tre tillfällen under varje mätperiod för respektive bränsle. För salixmixen togs ett prov på lövflis och ett prov på salixflis, dessa blandades sedan på laboratoriet motsvarande 50 volym-% salix och 50 volym-% lövflis innan analys. Proverna analyserades enligt standardmetoder på SP:s ackrediterade bränslelaboratorium (tabell 2).

Provtagning av bottenaskan gjordes på våt aska i utmatningsskruven vid tre tillfällen under varje mättillfälle (figur 1 och figur 3). Flygaskan tog från en lucka efter cyklon. En tratt monterades så att askan föll ner i en behållare. Denna provtagning gjordes kontinuerligt under ca 30-60 minuter tills två liter aska samlats in för varje prov (figur 1 och figur 3).



Figur 3. Provtagningsplats flygaska och bottenaska.

Figure 3. Sampling Location fly ash and bottom ash.

Tabell 2. Metoder för bränsle och askanalyserna.

Table 2. Methods for fuel and ash analyzes.

Bränsleanalys	Metod
Total fukt:	CEN/TS 14774-2 CEN/TS 14775
CEN/TS 14774-2	CEN/TS 15289 (svavelanalysator)
Aska:	CEN/TS 15289 A (jonkromatografi)
	CEN/TS 15104
	Beräknat som differens
	CEN/TS 14918 (likvärdig med ISO 1928)
CEN/TS 14775	
Svavel:	mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)
CEN/TS 15289 (svavelanalysator)	mod. ASTM D 3683
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, mod. ASTM D 3682 - K, P Spårelement: - As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo mod. ASTM D 3683	
Askanalys	Metod
Spårelement: - As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo	mod. ASTM D 3683 (ICP-OES)

3 Resultat och Diskussion

3.1 FÖRBRÄNNINGSFÖRSÖK MED SALIXFLIS

Resultatet från förbränningsförsöket visar att en bränsleinblandning av 50 volym-% salix fungerade utan problem under minst tre dagars drift. Lasten vid första försöken i mars låg runt 70-80 % av maxlast för både salixmixen och referensbränslet. Vid andra försöket i maj blev det ett väderomslag när salixmixen testades vilket resulterade i att pannan stundtals gick på väldigt låg last (25-50 %).

3.1.1 Bränslets kemiska sammansättning

Tabell 3 visar resultatet från den kemiska bränsleanalysen inkl. huvudelement på bränslet som användes vid förbränningsförsöket i mars respektive maj månad. Tabell 4 och tabell 5 visar resultatet från spårämnesanalysen och figur 4 visar resultatet från enbart kadmiumanalysen. Enligt resultatet så visar salixmixen inga större skillnader i bränsleegenskaper för huvudelementen i jämförelse med referensbränslet, askhalten kvävehalten och fosforhalten visar ett något högre värde. Skillnaden mellan salixmixen (salix med och utan löv) i mars och maj månad är marginell. Av tabell 4 och figur 4 framgår att kadmium och zinkhalten är de ämnen som visar störst skillnad mellan de olika bränslesortimenten. Halten kadmium är ca 5-6 gånger högre i salixmixen. Kadmiumhalten ökar dock inte i lövad salix (prov från maj månad) i jämförelse med salix utan löv (prov från mars månad).

Tabell 3. Kemisk analys (samlingsprov) från tre provtagningar. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 3. Chemical analysis (collective sample) from three samples. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Samlingsprov (1-3)	Ref. 23/3	Salixmix 26/3	Ref. 7/5	Salixmix 12/5
Total fukt, vikt-%	38,0	44,3	40,0	41,4
Effektiva värmeverdets MJ/kg ts	18,5	18,5	18,4	18,5
Aska, vikt-% ts	1,3	1,4	1,6	1,8
Klor vikt-% ts	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Svavel vikt-% ts	0,02	0,02	0,02	0,03
Kol vikt-% ts	49,9	49,7	49,9	49,7
Väte vikt-% ts	6,1	6,0	6,1	6,0
Kväve vikt-% ts	0,32	0,38	0,29	0,42
Huvudelement				
Aluminium vikt-% ts	0,007	0,004	0,014	0,006
Kisel vikt-% ts	0,067	0,028	0,100	0,047
Järn vikt-% ts	0,005	0,009	0,008	0,005
Titan vikt-% ts	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
Mangan vikt-% ts	0,016	0,010	0,013	0,008
Magnesium vikt-% ts	0,040	0,042	0,039	0,044
Kalcium vikt-% ts	0,34	0,40	0,41	0,55
Barium vikt-% ts	0,003	0,004	0,003	0,003
Natrium vikt-% ts	0,006	0,009	0,009	0,008
Kalium vikt-% ts	0,15	0,17	0,16	0,18
Fosfor vikt-% ts	0,027	0,049	0,031	0,052

Tabell 4. Analys av spårämnen i bränslet från försök 1, tre prov per förbränningsförsök. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 4. Analysis of trace elements in the fuel from trial 1, three samples per combustion trial. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

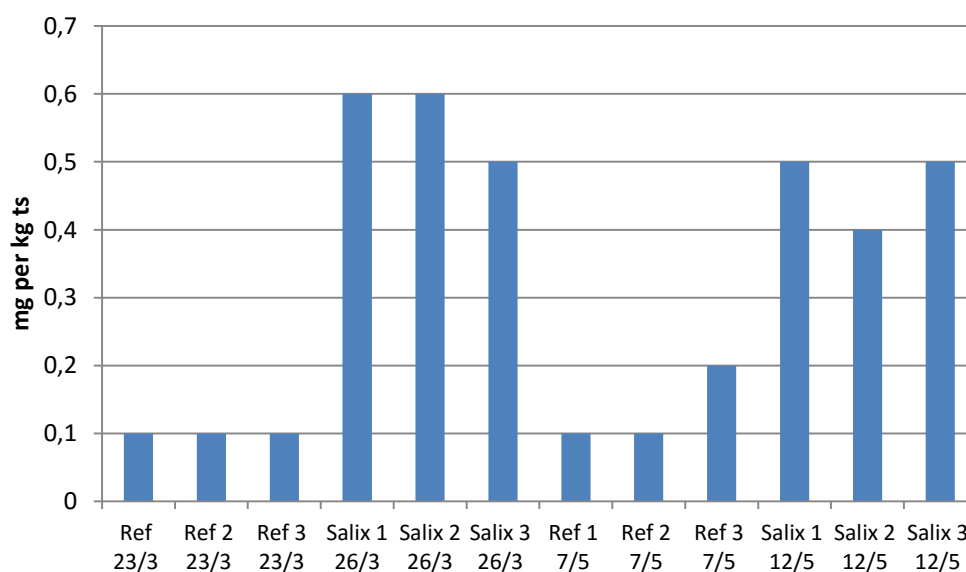
Spårämnen	Ref. 1 23/3	Ref. 2 23/3	Ref. 3 23/3	Salixmix 1 26/3	Salixmix 2 26/3	Salixmix 3 26/3
Arsenik mg/kg ts	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Kadmium mg/kg ts	0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,5
Kobolt mg/kg ts	1,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1
Krom mg/kg ts	0,8	0,4	0,3	0,2	0,9	0,6
Koppar mg/kg ts	4,0	3,0	2,0	3,0	6,0	5,0
Molybden mg/kg ts	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Nickel mg/kg ts	0,7	0,6	0,5	0	0,9	0,4
Bly mg/kg ts	2,0	0,8	0,6	1,0	3,0	3,0
Vanadin mg/kg ts	0,2	0,1	0,2	<0,1	0,1	0,1
Zink mg/kg ts	29	21	20	55	59	61

Tabell 5. Analys av spårämnen i bränslet från försök 2, tre prov per förbränningsförsök.

Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 5. Analysis of trace elements in the fuel from experiment 2, three samples per combustion trial. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Spårämnena	Ref. 1 7/5	Ref. 2. 7/5	Ref. 3 7/5	Salixmix 1 12/5	Salixmix 2 12/5	Salixmix 3 12/5
Arsenik mg/kg ts	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Kadmium mg/kg ts	0,1	0,1	0,2	0,5	0,4	0,5
Kobolt mg/kg ts	0,09	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Krom mg/kg ts	0,8	2	0,9	0,7	2	0,8
Koppar mg/kg ts	2,0	4,0	47	3	3	3
Molybden mg/kg ts	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Nickel mg/kg ts	0,7	1	0,8	1	1	0,6
Bly mg/kg ts	0,7	0,9	1	8	0,4	0,5
Vanadin mg/kg ts	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1
Zink mg/kg ts	49	21	23	72	48	53



Figur 4. Kadmiumhalten i bränslet från alla försök. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis (ref) och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Figure 4. The cadmium content in fuel from all trials. Reference fuel is 100% hardwood chips (ref) and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

3.1.2 Askans kemiska sammansättning, nyckelämnena

Tabell 6 och 7 visar resultatet från den kemiska askanalysen på flygaska och bottenaska från försök 1 (mars månad). Tabell 8 och 9 visar resultatet från den kemiska askanalysen på flygaska och bottenaska från försök 2 (maj månad) och figur 5 visar resultatet från enbart kadmium analysen på flygaskan för alla försöken. Av tabell 6

och 8 framgår att kadmiumhalten är ca 75-100 % högre i flygaskan från salixmisen. Av övriga spårämnen visar även zink högre värden. Kadmiumhalten i bottenaskan visar en låg nivå i alla prover.

Tabell 6. Spårämnena i flygaskan från försök 1, tre prov per förbränningsförsök. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmisen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 6. Trace elements in fly ash from trial 1, three samples per combustion trial. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Spårämnena	Ref. 1 23/3 flygaska	Ref. 2 23/3 flygaska	Ref. 3 23/3 flygaska	Salixmix 1 26/3 flygaska	Salixmix 2 26/3 flygaska	Salixmix 3 26/3 flygaska
Arsenik mg/kg ts	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Kadmium mg/kg ts	24	24	20	36	39	45
Kobolt mg/kg ts	8	8	9	7	8	8
Krom mg/kg ts	29	24	23	21	29	30
Koppar mg/kg ts	120	120	120	150	150	160
Molybden mg/kg ts	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nickel mg/kg ts	34	31	33	24	24	27
Bly mg/kg ts	34	36	41	24	20	25
Vanadin mg/kg ts	13	12	13	8	9	9
Zink mg/kg ts	1900	1800	1600	2500	2800	2900

Tabell 7. Spårämnena i bottenaskan från försök 1, tre prov per förbränningsförsök. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmisen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 7. Trace elements in the bottom ash from trial 1, three samples per combustion trial. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Spårämnena	Ref. 1 23/3 Bottenaska	Ref. 2 23/3 Bottenaska	Ref. 3 23/3 Bottenaska	Salixmix 1 26/3 Bottenaska	Salixmix 2 26/3 Bottenaska	Salixmix 3 26/3 Bottenaska
Arsenik, mg/kg ts	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Kadmium mg/kg ts	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kobolt mg/kg ts	7	7	7	7	7	7
Krom mg/kg ts	24	25	26	39	36	44
Koppar mg/kg ts	170	180	180	150	140	150
Molybden mg/kg ts	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nickel mg/kg ts	33	32	31	27	26	28
Bly mg/kg ts	21	<10	<10	<10	<10	<10
Vanadin mg/kg ts	14	13	13	17	17	15
Zink mg/kg ts	100	70	63	80	140	290

Tabell 8. Spårämnen i flygaskan från försök 2. Enbart två prover för salixmixen analyserades pga av att pannan gick på väldigt låg last pga varmt väder (20-30 % last mitt på dagen). Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

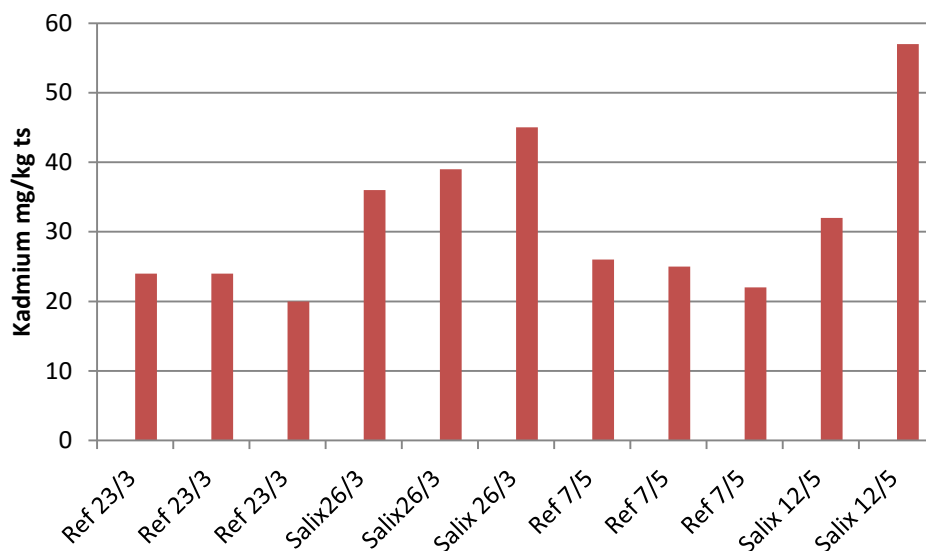
Table 8. Trace elements in fly ash from trial 2. Only two samples of willow mix analyzed because of the boiler went on very low load due to warm weather (20-30% load at midday). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Spårämnen	Ref. 1 7/5 flygaska	Ref. 2 7/5 flygaska	Ref. 3 7/5 flygaska	Salixmix 1 12/5 flygaska	Salixmix 2 12/5 flygaska
Arsenik mg/kg ts	<20	<20	<20	<20	<20
Kadmium mg/kg ts	26	25	22	32	57
Kobolt mg/kg ts	6	6	6	7	7
Krom mg/kg ts	22	15	15	28	27
Koppar mg/kg ts	120	120	120	130	130
Molybden mg/kg ts	9	<10	<10	10	10
Nickel mg/kg ts	25	25	26	19	19
Bly mg/kg ts	59	64	59	28	87
Vanadin mg/kg ts	6	5	5	6	6
Zink mg/kg ts	2100	2000	1800	2300	3200

Tabell 9. Spårämnen i bottenaskan från försök 2 (tre prov per förbränningsförsök). Enbart 2 prover för salixmixen analyserades pga av att pannan gick på väldigt låg last pga varmt väder (20-30 % last mitt på dagen). Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 9. Trace elements in the bottom ash from trial 2 (three samples per combustion trials). Only 2 samples of willow mix analyzed because of the boiler went on very low load due to warm weather (20-30% load at midday). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Spårämnen	Ref. 1 7/5 bottenaska	Ref. 2 7/5 bottenaska	Ref. 3. 7/5 bottenaska a	Salixmix 1 12/5 bottenaska	Salixmix 2 12/5 bottenaska
Arsenik mg/kg ts	<20	<20	<20	<20	<20
Kadmium mg/kg ts	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4
Kobolt mg/kg ts	7	7	7	7	7
Krom mg/kg ts	20	21	25	38	90
Koppar mg/kg ts	160	160	150	160	160
Molybden mg/kg ts	<10	<10	<10	10	19
Nickel mg/kg ts	22	25	49	22	24
Bly mg/kg ts	<10	<10	<10	11	16
Vanadin mg/kg ts	7	7	6	11	19
Zink mg/kg ts	1600	1500	3200	150*	160*



Figur 5. Kadmiumhalt i flygaskan från alla försök. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Figure 5. Cadmium content in fly ash from all trials. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

3.1.3 Emissioner och stoft

Tabell 10 visar medelvärden (ca fyra timmars mätning) för uppmätta gaskoncentrationer i rökgas. Vid inblandning av salix ökar NO_x-emissionerna något p.g.a. av högre kvävehalt i salix. Inblandning av salix ökar även stofthalten i rågas. Den högre CO-halten för salixmixen (mars månad) beror ej på bränslet. Enligt driftpersonal på värmeverket kommer pannan ibland oberoende av bränslet i "svängning" vilket orsakar höga CO. Vid andra försöket i maj månad gick pannan på lägre last (<50 %) vid salixförsöket i jämförelse med övriga försök vilket resulterade i lägre rökgastemperatur, lägre NO_x-halt och lägre stofthalt i rågas innan rening.

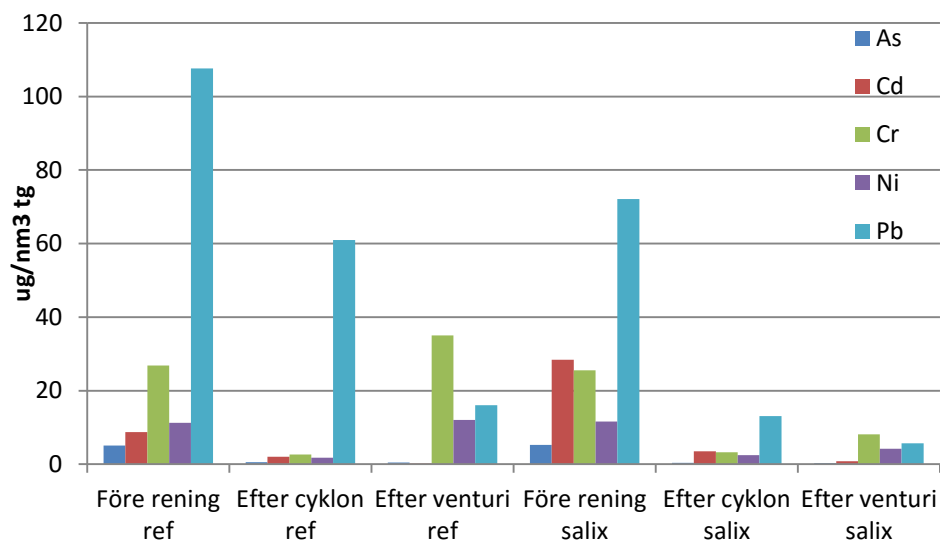
Tabell 10. Medelvärden för uppmätta gaskoncentrationer i rökgas. Stoft visar medelvärdet av tre prov. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 10. Average values of the measured gas concentrations in flue gas. Dust shows the mean of three samples. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

		Temp.	NO _x	CO	O ₂ - verkligt värde	Stoft Före rening	Stoft Efter cyklon	Stoft Efter venturi
Datum	Bränsle	°C	mg/nm ³ 6% O ₂	mg/nm ³ 6% O ₂	%	mg/nm ³ 6% O ₂	mg/nm ³ 6% O ₂	mg/nm ³ 6% O ₂
2015-03-23	Ref.	186	149	152	3,5	173	92	13
2015-03-26	Salixmix	179	168	511	5,7	347	125	21
2015-05-07	Ref.	181	183	58	4,2	188	104	27
2015-05-12	Salixmix	159	159	51	5,5	238	131	27

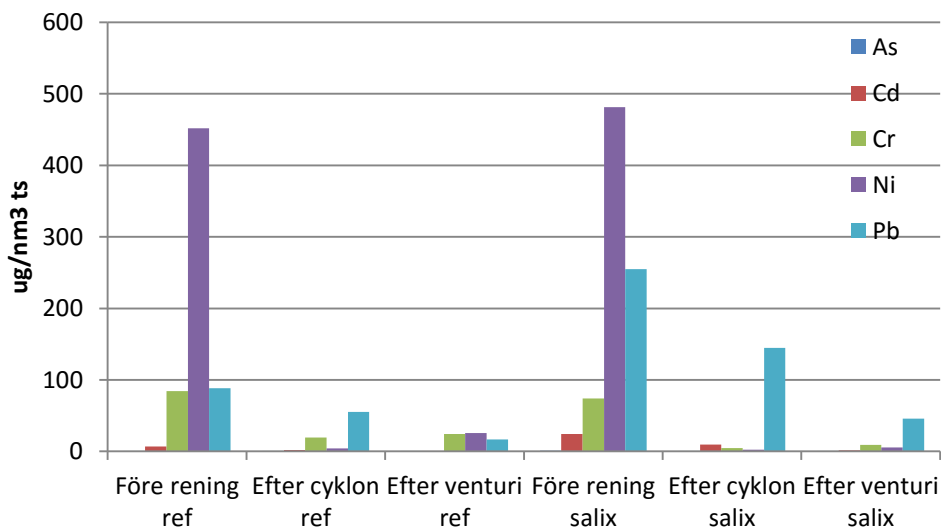
*SO₂ hamnade detektionsgränsen under större delen av mätningen och redovisas ej.

Resultatet från spårämnesanalysen av stoftet visar att en stor del av det kadmiumrika stoftet hamnar i cyklonaskan. Efter venturi är kadmiumhalten i stoftet marginellt högre vid förbränning av salix i jämförelse med referensbränslet (figur 6-8).



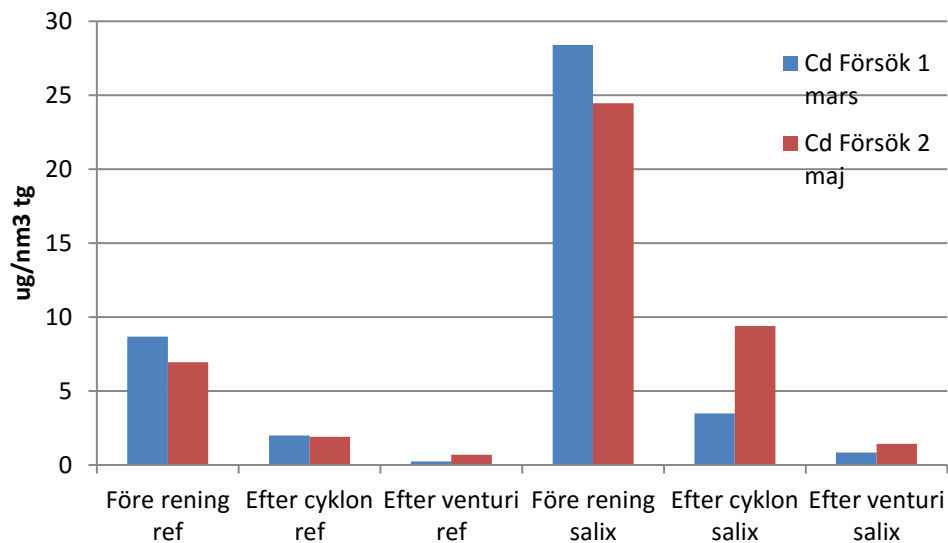
Figur 6. Spårämnen i partiklar efter och före rening av rökgaserna vid försök 1 (mars månad), medelvärde av tre prov. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Figure 6. Trace elements in the particles after and before purification of the flue gases in trial 1 (March), the mean of three samples. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.



Figur 7. Spårämnen i partiklar efter och före rening av rökgaserna vid försök 2 (maj månad), medelvärde av två prov. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Figure 7. Trace elements in the particles after and before purification of the flue gases at the trial 2 (May), the average of two samples. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.



Figur 8. Kadmiumhalt i partiklar efter och före rening av rökgaserna. Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Figure 8. Cadmium content of the particles after and before purification of flue gases. Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

3.1.4 Kondensat

Tabell 11 visar metallhalterna i kondensatet för respektive försöksomgång. Under försöksomgång 1 noteras en minskning av halterna bly, krom, nickel, och tallium vid inblandning av salix medan halterna av kadmium och framförallt zink ökar.

Skillnaden i halter mellan försöksomgång 1 och 2 beror på att under försöksomgång 2, ett sk. högre rökgaskondensat, som vanligen går direkt till recipient och därför inte flödesmäts, styrdes om och passerade över provtagningspunkten. Förändringarna i halter är dock jämförbara med försöksomgång 1, en minskning av halterna bly, krom, nickel och tallium medan halterna kadmium och zink ökar.

Tabell 11. Metallhalter i kondensat (medelvärde) i försöksomgång 1 (mars månad) och 2 (maj månad). Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 11. The metal concentrations in the condensate (average) in trials 1 (March) and 2 (May). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Halter (µg/l)	Ref. (mars)	Salix (mars)	Ref. (maj)	Salix (maj)
Antimon	5,5	3,7	3,7	3,5
Arsenik	8,3	11	9,9	6,9
Barium	2567	2333	1205	765
Bly	360	275	367	225
Kadmium	155	190	67	74
Kobolt	9,1	8,9	3,6	3,1
Koppar	358	470	188	156
Krom	34	25	21	15,0
Kviksilver	1,3	0,4	0,7	0,8
Molybden	13	16	10	15
Nickel	64	35	19	14
Vanadin	7,8	4,9	4,3	3,2
Zink	15667	21000	7517	9 8
Selen	8,4	10	6,8	10
Tallium	7,9	4,1	6,6	4,1

Metallfraktioner

För att bedöma ev reningsinsatser togs vid två tillfällen per dag prover som filtrerades för att utreda respektive metalls fördelning som partikelbunden eller löst (tabell 12). Tabell 13 visar halter efter filtrering. Väsentliga mängder arsenik, bly, kadmium, koppar, nickel och zink föreligger som partikelbundna vilket medför att bra rening kan uppnås enbart via ett partikelavskiljande steg. Försöksanläggningen i Ystad har både lamell, - och sandfilter vilket ger ett utgående vatten med normalt sett låga halter tungmetaller.

Tabell 12. Andel partikelbunden metall som procent (medelvärde). Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 12. Percentage of particle-bound metal (average). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

Del som %	Försök 1 (mars)		Försök 2 (maj)	
	Ref.	Salix	Ref.	Salix
Antimon	62	54	51	45
Arsenik	93	80	66	76
Barium	79	82	77	75
Bly	98	90	90	85
Kadmium	86	86	87	84
Kobolt	76	85	85	82
Koppar	97	92	88	87
Krom	67	51	35	27
Kvicksilver	>92	>74	>86	>87
Molybden	11	6	6	7
Nickel	73	84	87	86
Vanadin	81	69	77	64
Zink	88	93	88	87
Selen	12	-2	14	2
Tallium	-37	-18	-55	-81

Tabell 13. Metallhalter efter filtrering (medelvärde). Referensbränslet är 100 % lövträdsflis och salixmixen består av 50 volym % salixflis och 50 volym % lövträdsflis.

Table 13. Metal content after filtration (mean). Reference fuel is 100% hardwood chips and willow mix consists of 50% by volume willow chips and 50% by volume of hardwood chips.

µg/l	Försök 1 (mars)		Försök 2 (maj)	
	Ref.	Salix	Ref.	Salix
Antimon	2,3	1,7	1,7	1,8
Arsenik	0,6	2,2	3,3	1,9
Barium	515	400	265	180
Bly	8,8	27	36	32
Kadmium	22	26	8,3	12
Kobolt	2,1	1,3	0,5	0,6
Koppar	10	38	22	21
Krom	10	12	13	11
Kvicksilver	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Molybden	12,0	14,5	9,2	14,0
Nickel	13,5	5,4	2,7	2,2
Vanadin	1,4	1,4	0,9	1,1
Zink	1950	1350	840	1300
Selen	7,6	9,8	5,5	6,2
Tallium	11	4,8	9,4	5,8

3.2 ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA EV. PROBLEM MED KADMIUM I ASKA OCH KONDENSAT.

Kadmium är ett stort hälsoproblem (Naturvårdsverket, 2013). Vi får i oss kadmium när vi äter och det ökar risken för benskörhet och olika sorters frakturer som beräknats kosta det svenska samhället 4 miljarder kronor per år enligt en rapport från Kemikalieinspektionen. För att minska intaget av kadmium via maten måste tillförseln till åkermarken strypas eller avlägsnas. Gödselmedel, mineralgödsel liksom organiska näringsprodukter (stallgödsel, biogödsel, avloppsslam mm) kommer dock alltid att innehålla en viss mängd kadmium. Även nedfallet av kadmium från luftföroreningar kommer inte helt att upphöra. I dagsläget tycks dock balans generellt råda mellan tillskott och utförsel i marken så att kadmiumhalterna inte längre ökar samtidigt är den upplagrade mängden kadmium i matjord mycket stor, (Naturvårdsverket, 2013). Tidigare studier visar att salixodling är en effektiv metod att rena åkermark från kadmium. En välkött salixodling står för ett årligt upptag som är 20 till 50 gånger högre än för spannmål (Hasselgren, 2014). Vid odling av salix som förgröda innan vete fås en minskad kadmiumhalt i vetet. När betydelsen av salix som förgröda till vete har testats sjönk kadmiumhalten i vetekärnan med cirka en tredjedel efter fyra års salixodling jämfört med vete som inte haft salix som förgröda. Att riva upp en salixodling efter 4 års odling kräver praktiskt inga större åtgärder utöver besprutning och fräsning (Henriksson, 2015). När salixplantan skördas och förs bort från åkern försvinner kadmiumet från marken (Greger, 2015, Hasselgren, 2008). Om salix skördas och levereras som ett bränsle så innebär det att värmeverket istället får hantera kadmiumet.

Enligt den här studien hamnar kadmium framförallt i flygaskan och där en stor del hamnar i cyklonaskan. Idag återförs en stor del av askan (botten och flygaska) från flera värmeverk till skogen, däribland från Ystad värmeverk. Vid ökade kadmiumhalter så innebär det att flygaskan kan behöva separeras från bottenaskan beroende på hur stor andel salix som eldas, vilket kan innebära en merkostnad för värmeverket. Olika typer av eldningsätt ger dock olika typer av restprodukter och varierande andel flygaska. Typ av bränsle har även betydelse för fördelningen. Typiska värden som redovisats vid rostereldning är 70-80 % bottenaska och 20-30 % flygaska (Hjalmarsson, 1999).

Eventuella åtgärder i värmeverket som krävs vid användning av salix med höga kadmiumhalter styrs av hur stor inblandningen av salix är och hur hög kadmiumhalten är. Rekommenderade halter för kadmium vid askspridning i skogen är max 30 mg/kg ts (tabell 14). Flygaskan vid försöket hos Ystad värmeverk innehöll högre halter (36-45 mg/kg ts). Eftersom bottenaskan och flygaskan blandas innan askspridning, så kommer dock inte halterna av kadmium att överskridas om andelen flygaska är ca 30 %. Om syftet är att använda salix för att rena åkermark så kan det dock ifrågasättas om kadmiumet ska flyttas från åkermarken till skogen via askåterföring. Rent tekniskt är det inga problem att hålla isär flygaskan från bottenaskan men det medför en extra kostnad för värmeverket att deponera flygaskan vilket kan minska intresset att ta emot salix med höga kadmiumhalter. Tidigare artiklar har diskuterat att det bör finnas ett stöd från staten vid tillämpning av åtgärder som renar jordbruksmark från tungmetaller (Larsson, 2015). I en sådan diskussion är det viktigt att även slutanvändare dvs värmeverken finns med i diskussionen.

Tabell 14. Rekommenderade maximihalter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning i skogsmark (Skogsstyrelsen, 2008) samt halter i flygaskan och bottenaskan från försök 1 (medel av 3 prov).

Table 14. Recommended maximum levels of substances in the ash products intended for spreading in the forest (Forest Agency, 2008), as well as concentrations in fly ash and bottom ash from trial 1 (average of 3 trials).

	Riktlinjer mg/kgTS Högsta tillåtna	Flygaska Ref mg/kg TS	Bottenaska Ref mg/kg TS	Flygaska Salix mg/kg TS	Bottenaska Salix mg/kg TS
Koppar	400	12	177	153	147
Zink	500 (lägsta) 7000 (högsta)	1770	78	2730	170
Arsenik	30	<20	<20	<20	<20
Bly	300	37	14	23	<10
Kadmium	30	23	<1	40	<1
Krom	100	25	25	27	40
Nickel	70	33	32	25	27
Vanadin	70	13	9	9	16

Det finns även andra möjligheter att reducera halterna av kadmium i askor. Bland annat har natriumsulfid använts för att fälla ut tungmetaller, men det är en kostsam process och inte kommersiellt gångbar. Elektrodialytisk sanering, innebär en elektrokemisk extraktionsmetod av tungmetaller, och har tidigare diskuterats som en möjlig metod för avlägsnande av tungmetaller från flygaska. I ett försök (Pedersen, 2003) konstaterades att halterna av Cd minskade med över 70 procent.

Enligt resultatet i den här studien fås en viss ökning av kadmium även i kondensatet vid användning av salix. Dock är det inte primärt kadmium som påverkar en ev. dimensionering av ett reningssteg, största förändringen stod zink för. Då det enligt den här studien endast är frågan om en mindre ökning av halten kadmium i vattnet, ca 20%, kommer inte specifika insatser att krävas för att behandla denna ökade halt och mängd.

För att ge svar på de reella problem som kadmium kan medföra i ett vattenreningssteg har ett antal av de uttagna proverna också filtrerats för att få en fördelning av tungmetallerna generellt, och kadmium specifikt, i vatten aktuellt för rening. Runt 85 % av i proverna befintligt kadmium är bundet till partiklar vilket innebär att en god partikelavskiljning kommer att vara väsentlig (tabell 12).

För rening av utgående halter efter partikelseparation (tabell 13) kan en jonbytarlösning vara ett alternativ för Ystad värmeverk. Jonbytar teknik är en relativt kostnadseffektiv reningsmetod där låga utgående halter kan uppnås. Reningsprocessen i sig baseras på en adsorption där en jonbytarmassa består av ett strukturmaterial med en stor mängd laddade "siter", positioner där joner med viss specifik laddning kan binda under allmän konkurrens. Metallen med lägst dissociationskonstant binder först. Fördelningen av metalljoner som adsorberats respektive kvarstår i en lösning bestäms av kemisk jämvikt. Dessa jonbytarmaterial finns som arsenikselektiv, kvicksilverselektiv eller sk. 2 + selektiv. Mekanismen för jonbyte baseras på jämviktsförhållande och jonbindning.

Ett dygnsflöde om 22 m³ utgående kondensat medför i storleksordningen 40 gram tungmetaller per dag. En jonbytare försedd med sk. 2+ selektiv jonbytarmassa binder ca

20 gram tungmetaller per liter massa, över ett driftsår (8 månader) ca 10 kg metaller. En anläggning om ca 500 liter jonbytarmassa skulle behöva ett utbyte av denna, en gång om året. Kostnad för en sådan anläggning är i storleksordningen 250 000 – 300 000 kr inkluderat partikelfilter. Skall även en primärseparation för suspenderat material ingå, lamellseparator eller sandfilter, kan kostnaden för denna uppskattas till ca 200 000 kr. Anpassning eller komplettering av överordnat styrsystem för inkorporation av styrning/övervakning är option då sådan anläggning kan köras från egen kontrollpanel. Driftskostnad per år uppskattas till 60 000 – 70 000 kr, till största delen baserad på kostnaden för jonbytarmassa.

4 Slutsatser

Att använda salix som reningsfilter för kadmiumbelastad åkermark är en intressant metod då den på relativt kort tid och på ett kostnadseffektivt sätt kan minska kadmiumhalten i vår jordbruksmark. Vi har idag god kunskap om salix som bränsle och salix kan användas utan problem i mix med andra träbränsle i de flesta typer av förbränningsanläggningar (Paulrud, 2014). Frågeställningen i den här studien har varit att undersöka vilka ev problem värmeverken kan ställas inför vid användning av salix med höga halter av kadmium. Slutsatser från projektet är:

- Ystad värmeverk kan med god bibehållen drift vid en last runt 70-80 % av maxlast blanda in upp till 50 volym-% salix i sin bränslebas. Det finns all anledning att anta att driften inte heller påverkas vid 100% last.
- Salixmisen visade inga större skillnader i bränsleegenskaper för huvudelementen i jämförelse med referensbränslet (lövträdsflis). Dock uppvisar askhalten och kvävehalten något högre värden. Störst skillnad uppvisade spårelementen zink och kadmium med ca 5-6 gånger högre kadmiumhalt i salixmisen.
- För den salixsort från Tågra gård som användes vid försöket så ökade inte kadmiumhalten i lövad salix (prov från maj månad) i jämförelse med salix utan löv (mars månad).
- Efter förbränning återfanns huvuddelen av kadmiumet i flygaskan och där kadmiumhalten var ca 75-100 % högre i flygaskan från salixmisen i jämförelse med referensbränslet.
- Förbränningsförsöket visade att en inblandning av salix ökar stofthalten i rågas samt fås en viss ökning av NO_x. Den ökade stofthalten medförde en ökad beläggning i lamellfiltret vid rening av kondensatet, speciellt i försöksomgång två när pannan gick på låg last vilket medförde att cyklonens avskilningsgrad minskade.
- Huvuddelen (>85 %) av kadmiumet hamnade i cyklonaskan medan ökningen i kondensatet var marginell vid inblandning av salix.
- Eventuella åtgärder som krävs i värmeverket vid användning av salix med höga kadmiumhalter styrs av inblandningsgraden av salix och kadmiumhalten i bränslet. En inblandning av 10-20 % salix kan tillåta högre kadmiumhalter än 1,5 mg/kg ts bränsle (resultatet i denna studie) för att inte överskrida tillåtna halt för askspredning i skogen.
- Rent tekniskt är det inga problem att hålla isär flygaskan från bottenaskan i ett värmeverk men det medför en extra kostnad för värmeverket att deponera flygaskan.
- För rening av utgående halter efter partikelseparation kan en jonbytlösning vara ett alternativ för Ystad värmeverk. Jonbyarteknik är en relativt kostnadseffektiv reningsmetod där låga utgående halter kan uppnås.

4.1 REKOMMENDATIONER FORTSATT ARBETE

Fler studier bör genomföras som visar vilka halter kadmium i salix som kan bli aktuella om riktade odlingar genomförs på marker med höga kadmiumhalter.

Fler förbränningsförsök bör genomföras på pannor med olika förbränningsteknik för att utesluta större ökning av kadmium i tex kondensatet.

Beräkningar på miljövinster och ekonomiska kostnadskalkyler för hantering av kadmiumrik flygaska bör genomföras.

5 Referenser

Bert, mfl. 2011. Study of the potential valorization of metal contaminated Salix. Author manuscript, published in "11. International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE), Florence : Italy (2011)".

Chirenje, T, Ma2, L, LU2, L. RETENTION OF Cd, Cu, Pb AND Zn BYWOOD ASH, LIME AND FUME DUST. Water, Air, and Soil Pollution (2006) 171: 301–314.

Delplanque, M. mfl. 2013. Combustion of Salix used for phytoextraction: The fate of metals and viability of the processes. Biomass and Bioenergy 49 (2013), 160-170.

Greger, M. 2015. Renare mark med Salix för odling av vete med låg kadmiumhalt. Stockholms Universitet. Pågående projekt inom stiftelsen lantbruksforskning.

Hasselgren, K. 2008. Omsättning av metaller i Salixodling gödslad med slamkompost. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2008-05.

Hasselgren, K. 2014. Kadmium i maten kan odlas bort. Sydsvenskan, 4 maj 2014.

Hjalmarsson, A, Bjurström, H, Sedendahl, K. 1999. HANDBOK FÖR RESTPRODUKTER FRÅN FÖRBRÄNNING. Fjärrvärmeföreningen.

Henriksson, A. 2015. Henriksson Salix AB. Personlig kontakt.

Larsson, S. 2015. Lantbrukaren bör få betalt för kadmiumreducering. Jordbruksaktuellt 2 mars 2015. <http://www.ja.se/?p=46799&m=3433&pt=105>

Naturvårdsverket. 2013. Förslag till etappmål Exponering för kadmium via livsmedel. NV-00336-13.

Nordh, 2010 Effekter på överlevnad och tillväxt vid förlängd skördesäsong av salix, 2010, Värmeforsk Rapport 1147

Nylund, E. 2003. Cadmium uptake in willow (*Salix viminalis* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to plant growth and Cd concentration in soil solution. Sveriges Lantbruksuniversitet. Emergo 2003:7.

Paulrud, S, Öhman, M. 2014. Förutsättningar för salixflis i mindre anläggningar (0,1-5 MW) - lagring/torkning av salix, effekt på slagning och beläggingsbildning. SP rapport 2014:46. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Paulrud, S, Albertsson, J. 2015. Varierar salix fukthalt och kemiska bränsleegenskaper under året? SP rapport 2015:46. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Pedersen, A, Villumsen, A. 2003. Electrodialytic removal of heavy metals from different fly ashes: Influence of heavy metal speciation in the ashes. Journal of Hazardous Materials Volume 100, Issues 1–3, 27 June 2003, Pages 65–78.

Skogsstyrelsen. 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. MEDDELANDE 2, 2008.

SALIX SOM BRÄNSLE FRÅN KADMIUMBELASTAD ÅKERMARK

Salix tar upp kadmium betydligt bättre än spannmål och kan därför användas för att rena mark som har höga halter av kadmium. Här har ett fullskaleförsök med bränsemix av skogsflis och salixflis genomförts i en biobräsleanläggning.

Salixmixen visade inga större skillnader i bränsleegenskaper för huvudelementen i jämförelse med referensbränslet. Efter förbränningen återfanns huvuddelen av kadmiumet i flygaskan. Denna aska kan blandas med bottenaska och spridas på skogsmark utan att överskrida de rekommenderade halterna. Det är dock inte självklart att så ska ske. Både miljömässiga och ekonomiska aspekter behöver övervägas när salix från kadmiumrika marker används som biobränsle.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk