

Långtidseffekter av askgödsling vid rörflensodling

Cecilia Palmborg och Eva Lindvall

Långtidseffekter av askgödsling vid rörlensodling

**Long term effects of ash fertilization of reed canary
grass**

Cecilia Palmborg
Eva Lindvall

Q9-702

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
Mars 2011
ISSN 1653-1248

Abstract

Vi har kunnat visa att upprepad gödsling med rörlensaska inte leder till ökat upptag av tungmetaller i grödan eller ackumulation av tungmetaller i jorden. Gödsling med aska från samförbränning av sorterade hushållssopor och rörlen gav något förhöjda halter av kadmium, zink och bly i markens översta lager. Projektet har genomförts av Cecilia Palmberg och Eva Lindvall, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, SLU, 90183, Umeå. E-post: cecilia.palmborg@njv.slu.se

Sammanfattning

Rörflen är en bioenergröda med stor potential. En nackdel med rörflen är dess höga askhalt på 5-10 %, vilket innebär att vid förbränning av energigräset måste stora mängder aska deponeras till stora kostnader, ca 1000 kr/ton. Eftersom röflensaska innehåller betydande mängder näringsämnen som fosfor, kalium och magnesium bör askan istället kunna användas för att ersätta de näringsförluster som sker vid skörd. Askkan kan i sådana fall användas utan förbehandling, då näringsämnena skall vara lättillgängliga för optimalt upptag i växten. Målet för projektet var att utvärdera ett försök med gödsling av rörflen med röflensaska som anlades på Röbbäcksdalen, SLU, Umeå, våren 2002. Två olika askor användes i försöket, den ena framställd genom sameldning av rörflen och sorterade sopor (led A) och den andra var ren röflensaska (led B). Kontrollledet (led C) gödslades med enbart handelsgödsel.

Målgrupperna för projektet är dels värmeverk som har ett behov att bli av med aska, dels röflensodlare som har ett behov av näringsämnen till sina odlingar och dels miljömyndigheter som behöver bättre underlag för regler och rekommendationer för askgödsling.

När försöket skördades sista gången våren 2009 togs jordprover från 3 olika nivåer av matjorden. Jordprover fanns också sparade från tidigare år av både matjord och alv. Dessa prover analyserades dels på näringsämnen, dels med avseende på tungmetaller och spårämnen. Skördeprover från 2004 och 2009 analyserades också på tungmetaller och näringsämnen.

Det var inga signifikanta skillnader i avkastningsnivå mellan de olika gödslingsbehandlingarna. Det var däremot stora skillnader i skördenivå mellan åren. Bara år 2004 och 2005 var skördenivåerna de förväntade. Senare var skördenivån ungefär hälften av förväntat. Därför tillfördes betydligt mer av K och P än vad man tog bort. I ledet med aska från sameldning av rörflen och sorterade sopor tillfördes betydligt mer tungmetaller varje år än Naturvårdsverkets gränsvärden för slamgödsling. Trots detta visar analyser av jordprover från 2009 att halterna av tungmetaller och arsenik bara var något högre i den översta nivån (0 – 5 cm) i försöksled A, aska av rörflen och sopor. Skillnaden var signifikant för kadmium, bly och zink. Längre ner i profilen har inga skillnader mellan behandlingarna påvisats, och jämfört med utgångsläget (2003) syns heller inga signifikanta skillnader i tungmetallinnehåll. I grödan fanns heller inga signifikant ökade tungmetallhalter mellan 2004 och 2009.

Aska från röflenseldning kan återföras till röflensgrödor utan risk för anrikning av tungmetaller i mark och i gröda. Den bör dock analyseras och givorna bör hållas under Naturvårdsverkets gränsvärden för slam. Om rörflen sameldas med sopor bör askkan inte återföras till åkern. Projektet har uppfyllt sitt mål att kvantifiera ackumuleringen av tungmetaller i mark och gröda. Röflensaskans fosforgödselverkan gick däremot inte att kvantifiera eftersom en ogödsblad kontroll saknades, men eftersom varken mängden bortförd fosfor i grödan eller tillgängligt fosfor i marken skiljde sig från den handelsgödslade kontrollen var det inte någon nackdel att använda röflensaska.

Nyckelord: Röflensaska, tungmetaller, gödslingsförsök, bioenergi

Executive Summary

Background

Reed canary grass (RCG) is a bio-energy crop with large potential. It is a 1.5 – 2.5 m tall grass that is harvested in spring when it is grown as a fuel. At spring harvest it yields 3 – 10 ton field dried material per ha and year. One disadvantage when reed canary grass is used as a fuel is the high ash content, 5-10 %. This means that large quantities of ash have to be deposited which is expensive, about 1000 SEK/ton. However, since reed canary grass ash contains reasonable amounts of plant nutrients like phosphorous (P), potassium (K) and magnesium (Mg) it could be recycled as fertilizer in agriculture. The ash can be used without any pretreatment since, in agriculture, plant availability is desirable. The aim of this project, was to evaluate a field experiment, where ash was used as a fertilizer in reed canary grass. The experiment was established at the SLU research station in Umeå, Sweden in the spring 2002. Three different fertilizer treatments were applied: Treatment A was fertilized with an ash produced by combustion of RCG together with municipal wastes (paper, plastic, leather), treatment B, an ash from combustion of RCG, and for treatment C commercial fertilizers were used. In total, 100 kg ha⁻¹ of nitrogen (N), 15 kg ha⁻¹ of phosphorous (P) and 80 kg ha⁻¹ of potassium (K), were applied each year in all treatments. The amount of ash in treatment A and B was calculated from the chemical analysis of the ashes to be equal to the required amount of P, while K and N were supplied also by commercial fertilizers.

Table 1. Composition of the ashes

Treatment	P % of DM	K % of DM	Mg % of DM	Ca % of DM	Cd mg kg ⁻¹	Cr mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Ni mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
A	0,45	1,14	1,01	10,13	2,53	398	300	30,9	427	1310
B ¹	1,66	3,44	1,17	4,68	0,64	46,6	178	33,6	9,21	305
B ²	1,3	2,6	0,87	1,7	0,05	67	74	14	1,9	130

¹ 2002 – 2004 ² 2005 – 2008

Literature study

There is a lack of knowledge about fertilization with reed canary grass ash, since few experiments have been conducted.

The composition of reed canary grass is dependent of harvest date and the soil substrate. The amount of ash and the amount of harmful substances such as potassium and chloride generally decreases over winter, giving an increased fuel quality from spring harvest compared to autumn harvest. The main component of the ash is silica and silica concentrations are higher when reed canary grass is grown on clay soil than on peat soil.

In an earlier project within the department of agricultural research for northern Sweden, SLU Umeå, reed canary grass growing on peat soil was fertilized with ash from co-combustion of reed canary grass and sorted municipal waste. This ash was beneficial for the growth of the grass and did not give increased heavy metal contents. However the

experiment only lasted two years so no conclusions could be drawn about long-term effects.

Crop yields and elemental composition of the crop

The yields varied very much from year to year. The first two production years, 2004 and 2005 the yield was at expected levels, 6000 - 7000 kg dry matter per ha and year. After that, 2006-2009 the yields have been lower than expected, 1500 – 4000 kg dry matter per ha and year. The reason for this is not known, but it could be related to climate or pests. There were no significant differences in yield between the treatments.

Samples from each plot from the last harvest and stored samples from 2004 were analyzed for nutrient and heavy metal content. There were only minor significant differences between the treatments: The ash and the potassium and calcium concentrations 2009 in grass from treatment A, ash from co-combustion of reed canary grass and waste, was slightly higher than in the NPK fertilized control. The magnesium concentration in 2009 was slightly higher in grass fertilized with reed canary grass ash than in the control grass.

Element balances and soil concentrations of elements

Because of the low yield levels the amounts of P and K applied were much higher than the removal with harvests (Table 2). This resulted in an increase in plant available P and K in the top soil between 2003 and 2008 (Table 3). However, in the subsoil there was a decrease especially in plant available P. The only significant differences in soil nutrients between the treatments 2008 were for Ca, where treatment A had higher concentrations and Mg where treatment A and B had higher concentrations than the control. Only treatment A had an increased pH compared to the control. This is probably because reed canary grass ash is rich in silica oxide which is acidic.

Table 2. Balance between supplied and removed amounts of nutritional elements and heavy metals during the experimental period. The removed amount per hectare has been calculated from the average between analyzes from 2004 and 2009, and dry matter yield per year. The only heavy metal content available for the fertilizers was Cd content in the phosphate.

Treatment		kg ha ⁻¹				g ha ⁻¹					
		P	K	Mg	Ca	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A Ash from co- combustion	Added	105	560	252	2503	59	9286	6999	721	9962	30564
	Removed with the harvest	34	81	16	60	0.9	32	184	19	25	741
	Balance	71	479	236	2443	58	9254	6815	702	9937	29823
B Reed canary grass ash	Added	117	577	81	380	2.4	471	958	195	41	1656
	Removed with the harvest	32	71	17	54	0.9	35	171	22	26	693
	Balance	85	506	64	327	1.5	436	787	172	14	963
C Fertilizers	Added	105	560	0	140	1.8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Removed with the harvest	33	67	14	49	1.0	27	171	21	24	659
	Balance	72	493	-14	91	0.8	-27*	-171*	-21*	-24*	-659*

n.a.: Not available

* If traces of these elements were present in the fertilizers they were not accounted for.

Table 3. pH-value and content of plant nutrients 2003 (per treatment) and 2008 (per plot) in topsoil and subsoil. Analysis of plant available nutrients by extraction with ammonium lactate.

Treatment		pH		mg 100 g ⁻¹ dry soil							
				P-AI		K-AI		Mg-AI		Ca-AI	
		2003	2008	2003	2008	2003	2008	2003	2008	2003	2008
Topsoil	A	6.1	6.1 ^a	10.0	12.0	13.0	19.3	2.4	3.6 ^a	100	130 ^a
	B	5.9	5.7 ^b	10.0	12.3	13.0	25.8	2.3	3.1 ^a	92	84 ^b
	C	5.9	5.8 ^b	10.0	12.5	13.0	27.5	2.0	2.2 ^b	83	77 ^b
Subsoil	A	5.8	5.0	7.1	2.9	10.0	7.7	1.9	1.4	79	40
	B	5.7	5.0	6.3	3.0	11.0	7.9	1.9	1.3	71	40
	C	5.7	5.0	6.8	2.6	10.0	7.6	2.0	1.0	74	39

In treatment A, the amounts of heavy metals applied greatly exceeded the limits for sewage sludge set by Swedish Environmental Protection Agency. In spite of this, the 2009 soil analysis show only small increases of heavy metals and arsenic (figure 1). In the uppermost level of the soil (0-5cm), treatment A had significantly higher concentrations of cadmium, lead and zinc than the control. Deeper in the soil profile no differences were detected between the treatment, and also no differences compared to earlier in the experiment (2003).

Conclusions

Reed canary grass ash could be recommended as a fertilizer for reed canary grass. However, ash from co-combustion of reed canary grass and municipal waste had heavy metal contents far too high to be recycled to agricultural fields. Ashes should be analyzed and complemented with N and K fertilization.

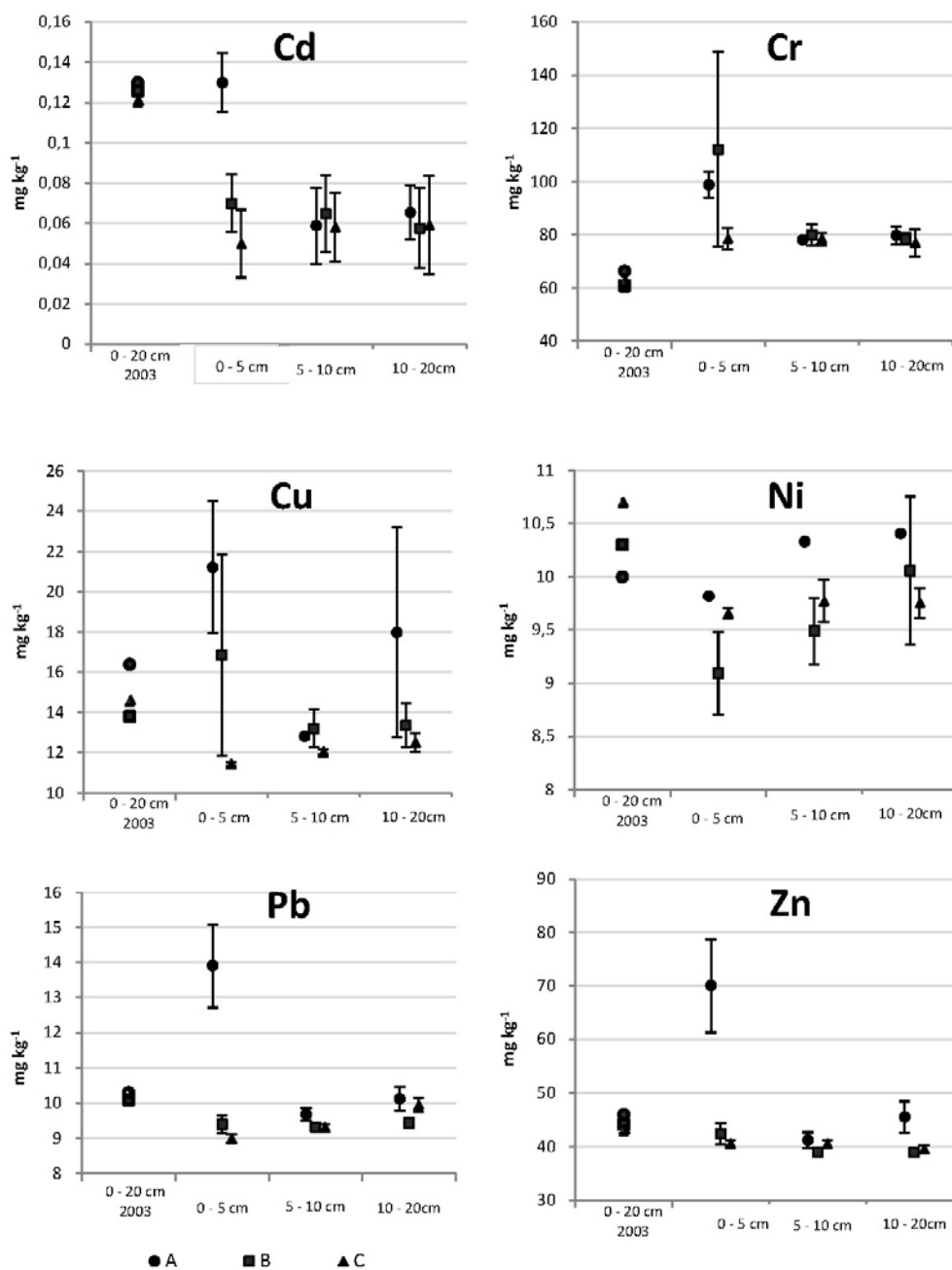


Figure 1. Heavy metal content in different levels of the topsoil. Official soil limits for sewage sludge application to agricultural soil according to the Swedish Environmental Protection Agency (mg kg⁻¹): Cd 0.4, Cr 60, Cu 40, Ni 30, Pb 40 and Zn 100. The error bars show standard error (n=4). The samples from 2003 were pooled to one sample per treatment.

Innehållsförteckning

ELEMENT BALANCES AND SOIL CONCENTRATIONS OF ELEMENTS	VI
CONCLUSIONS	VII
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.3 FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.4 MÅL OCH MÅLGRUPP	3
2 MATERIAL OCH METODER	4
2.1 FÖRSÖKETS GENOMFÖRANDE	4
2.2 KEMISKA ANALYSER	4
2.3 STATISTISK BEARBETNING AV DATA	6
3 RESULTATREDOVISNING	7
3.1 SKÖRDEUTBYTE	7
3.2 KEMISKA ANALYSER	7
3.3 VÄXTNÄRINGSBALANS	9
4 RESULTATANALYS	12
5 SLUTSATSER	13
6 REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	14
7 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEJDE	15
8 LITTERATURREFERENSER	16

Bilagor

A STANDARDAVVIKELSER I MATERIALET

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Rörflen är en gröda som har stor potential som klimatneutralt biobränsle [1]. I en utredning om jordbrukets miljöpåverkan förelås bl.a. energiproduktion från rörflen som en lämplig åtgärd för att minska jordbrukets klimatpåverkan [2]. Utredningen föreslår också att rörflen ska få lika högt vallstöd som vallproduktion till foder. Detta skulle innebära 2000 kronor per ha i Norrland och göra att lönsamheten i rörflensodling skulle öka betydligt.

Eftersom arealerna av rörflen i Sverige är små och skogbränsletillgången god i förhållande till andra länder, har tidigare bara några få värmeverk intresserat sig för rörflen, men intresset växer nu snabbt. Det drivs på av den stora utbyggnad av kraftvärmeverk som sker nu och följade ökning i efterfrågan på energiråvaror. Inom ett Värmeforsk-projekt som drevs av Enheten för biomassateknologi och kemi, SLU, gjordes lyckade försök att elda rörflen blandat med andra bränslen i Skelleftekrafts CFB-panna i Hedensbyn samt i Eskilstuna. Den första proveldningen visar att en inblandning av 10 % torr rörflen i fuktigt skogsbränsle fungerade bra [3].

Rörflen är ett energigräs med hög produktionsförmåga och ett väl utvecklat rotsystem (rhizomer) som förhindrar läckage av näringsämnen till grundvattnet. Rörflen till förbränning skördas på våren när föregående års gröda, som helst har slagits av på hösten, har fått utlakas under vintern och torkas på våren. I Sverige har rörflensodling för bioenergi liten omfattning. I Finland däremot, där rörflen är den åkerenergigröda man satsat på, hade man 19000 ha rörflen 2007 [4]. Skördenivåerna i Finland varierar mellan 3 - 10 ton fälttorr rörflen per ha [5]. Även i Kanada är rörflen en intressant bioenergigröda [1]. Potentialen för odling av rörflen i Norr- och Västerbotten beräknades 2005 till ca 30 000 ha [6], vilket innebär en askproduktion på ca 9 000 ton/år. Rörflen har ett bra energinetto jämfört med ettåriga grödor eftersom en flerårig gröda inte kräver jordbearbetning varje år. Skörden av rörflen kan inte bli lika effektiv som skörden av Salix eftersom man skördar varje år och således får ut mindre energi varje gång. Forskning och utveckling pågår dock inom projektet Bioenergigårdar i ett nytt landskap [7] för att minska skörde- och transportkostnaderna. Lantbrukare har ofta ett motstånd mot Salixodling eftersom landskapet blir mindre öppet och man inte vill binda upp jorden för så lång tid framöver [8]. En rörflensodling är också lättare att återställa till livsmedelsproduktion. Jordbrukarna får också vänta längre tid med Salix innan första skörden och i ett scenario där man vill öka tillgången på biobränslen snabbt är därför rörflen ett gott alternativ.

Marker där växter skördas eller betas, blir successivt utarmade på växtnäring inom den zon där rötterna finns. För att behålla höga skördenivåer måste därför marken gödslas, d.v.s. kompenseras för de markkemiska ämnen som följer med i skörden och som begränsar tillväxten. Detta sker normalt med hjälp av natur- och/eller handelsgödsel vid odling av jordbruksgrödor. När växtrötterna tar upp baskatjoner som Mg^{2+} (magnesium), Ca^{2+} (kalcium) och K^+ (kalium) måste de utsöndra andra katjoner för att uppnå laddningsneutralitet över cellmembranen. Eftersom de utsöndrade jonerna oftast är H^+ (vätejon) innebär det att rotzonen försuras. Med andra ord kan man säga att

tillväxt sker på bekostnad av försurning. I naturliga ekosystem där växten tillväxer, dör och förmultnar på ett och samma ställe är pH (koncentrationen av H^+ -joner) balanserat och relativt konstant över tiden. I jordbruket skördar vi biomassa och förbrukar den på annat ställe. Skördade marker måste därför förr eller senare tillföras ämnen som återställer markens pH i rotzonen och kompenserar uttaget av baskatjoner. Vanligtvis sker detta genom gödsling med mineralgödsel och kalkning.

En nackdel med rörflen är dess höga askhalt på 5-10 % vilket innebär att vid förbränning av energigräset måste stora mängder aska i dagsläget deponeras till stora kostnader, ca 1000 kr/ton. Eftersom rörfleaska innehåller betydande mängder näringsämnen som fosfor, kalium och magnesium bör askan istället kunna användas för att ersätta de näringsförluster som sker vid skörd. Askan kan i sådana fall användas utan förbehandling, då näringsämnena skall vara lättillgängliga för optimalt upptag i växten. Detta innebär en betydande fördel jämfört med askgödsling av skogsmark där askan först måste härdas för att få lämpliga vittringsegenskaper. Då askan dessutom är basisk får man samtidigt en syra-neutraliserande effekt som förhindrar försurning av marken.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Kunskaperna om askgödsling med rörfleaska är bristfälliga eftersom få gödslingsförsök har gjorts.

Asksamansättningen hos rörflen varierar beroende på när man skördar rörflenet och var den är odlad. Generellt sjunker halterna av ämnen som sänker smältpunkten på askan eller är korroderande under vintern, så att vårskördad rörflen har bättre bränseleegenskaper. Askans huvudbeståndsdel är kisel, och kiselhalterna, och därmed askhalterna, är högre i rörflen som odlats på lerjord och lägre i rörflen som odlats på mulljord [9].

I ett tidigare projekt på institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, SLU [10] gödslades rörflen på torvmark med aska från rörflen/sopor. Askan visade sig då vara gynnsam för rörflenens tillväxt, och halterna av tungmetaller i grödan var inte förhöjda. Det projektet varade dock bara i två år, vilket var för kort tid för att man ska kunna dra några slutsatser om långtidseffekter av askgödsling.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

I en litteraturgenomgång om askgödsling dras slutsatsen att det saknas kunskap om askor som gödselmedel och deras påverkan på åkermarken [11]. Författarna betonar även att ansvariga myndigheter behöver sätta upp mål för askåterföring till åkermark samt att lantbrukarna bör ställa krav på en innehållsdeklaration av askan innan den sprids.

2002 startades ett fältförsök i syfte att studera askgödslingens effekt på skördeutbytet hos den nyintroducerade rörfleassorten Bamse. Detta fältförsök finansierades med egna resurser, och resurser för analyser av gröda och jord sänkades.

Detta projekt utnyttjade fältförsöket till en studie av näringsbalans i växt och jord, jordens pH-värde samt eventuell ackumulation av tungmetaller i jord och upptag av tungmetaller i grödan. Denna typ av mätningar har inte tidigare genomförts efter gödsling med rörfbensaska.

1.4 Mål och målgrupp

Mål för projektet

- Att ta fram kunskap om hur man långsiktigt hållbart kan använda rörfbensaska som gödselmedel vid rörfbensodling.
- Att undersöka effekten av årligen upprepad askgödsling på tungmetallhalterna i marken och i grödan.

Målgruppen är framför allt lantbrukare och lantbrukets rådgivare som vill satsa på bioenergiproduktion, men också värmeverk som vill ha en hållbar användning av sin aska och myndigheter som behöver underlag för regler och riktlinjer vad gäller askgödsling till rörfben.

2 Material och metoder

2.1 Försökets genomförande

Försöket anlades på SLU's försöksstation Röbbäcksdalen, Umeå, våren 2002. Två olika askor från Bränsletekniskt Centrum (BTC), SLU, Umeå användes i försöket. Den ena var framställd genom sameldning av rörflen och sorterade sopor från Bjurholms kommun, mest papper, trä, textilier och läder (led A). Den andra var ren rörflensaska (led B). Kontrollledet (led C) gödslades med enbart handelsgödsel. Mängden aska att tillföra per år beräknades utifrån att askornas fosforinnehåll (Tabell 1 och 2) skulle täcka grödans fosforbehov. Gödslingen kompletterades med handelsgödsel upp till önskad nivå av kväve (100 kg N ha^{-1}), fosfor (15 kg P ha^{-1}) i handelsgödselledet och kalium (80 kg K ha^{-1}). Försöket anlades som ett randomiserat blockförsök med 4 upprepningar och med rutstorleken 42 m^2 .

Tabell 1. Askornas sammansättning

Table 1. Composition of the ashes

Behandling / Treatment	P % av TS	K % av TS	Mg % av TS	Ca % av TS	Cd mg kg ⁻¹	Cr mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Ni mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
A	0,45	1,14	1,01	10,13	2,53	398	300	30,9	427	1310
B ¹	1,66	3,44	1,17	4,68	0,64	46,6	178	33,6	9,21	305
B ²	1,3	2,6	0,87	1,7	0,05	67	74	14	1,9	130

¹ 2002 – 2004 ² 2005 – 2008

Försöket skördades på våren under åren 2003 – 2009 med en vallskördemaskin (Haldrup). Skörden från respektive nettoskörderuta, 21 m^2 , vägdes och torrsubstanshalten bestämdes. För att undersöka om de tämligen stora årliga givorna av aska skulle påverka markens och/eller grässets innehåll av tungmetaller i första hand, men även innehållet av växtnäringssämnen, togs prover av växtmaterialet ut rutvis varje år och sparades. Jordprov tog vissa av åren. 2008 provtogs även alven. När försöket avslutades våren 2009 togs rutvisa jordprover uppdelade på 3 nivåer; 0-5 cm, 5-10 cm samt 10-20 cm.

2.2 Kemiska analyser

Rutvisa prover av matjord och alv från 2008 har analyserats för innehåll av tillgängliga växtnäringssämnen i jorden (markkarteringsanalys). Proverna från 2009 har analyserats per ruta och nivå för lösliga näringsämnen samt tungmetaller och arsenik. Markkarteringsanalyserna har utförts av Eurofins laboratorium i Kristianstad: analyspaket Jord-1; löslig fosfor (P-AL), kalium (K-AL), magnesium Mg-AL) och kalcium (Ca-AL) samt pH-värde [12]. Analys av tungmetaller och övriga spårämnen

har gjorts av ALS Scandinavia AB i Luleå, analyspaket MG-1 [13]. För bestämning av As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb och Zn har proven torkats vid 50°C och lakats i 7M salpetersyra i slutna teflonbehållare i mikrovågsugn. Övriga ämnen har bestämts efter smältning med litiummetaborat följt av upplösning i utspädd salpetersyra. Som jämförelsevärden från inledningen av försöksperioden har tidigare gjorda ledvisa analyser av växtnäringssämnen och tungmetaller (AnalyCen respektive Analytica laboratorier) från 2003 använts. Kadmiumhalten i den superfosfat som användes i experimentet är ett medelvärde av data från Yara för åren 2002-2008.

Tabell 2. Årlig samt total tillförsel av växtnäringssämnen och tungmetaller. Tungmetallinnehållet i handelsgödseln är bara analyserat för superfosfaten.

Table 2. Amount of plant nutrients and heavy metals applied per year and total. The heavy metal content in the commercial fertilizers was only known for Cd in phosphate.

	P kg ha ⁻¹	K kg ha ⁻¹	Mg kg ha ⁻¹	Ca kg ha ⁻¹	As g ha ⁻¹	Cd g ha ⁻¹	Cr g ha ⁻¹	Cu g ha ⁻¹	Ni g ha ⁻¹	Pb g ha ⁻¹	Zn g ha ⁻¹
A årlig tillförsel med aska	15	38	34	338	18	8,43	132 7	1000	103	1423	4366
A årlig tillförsel med hg**		42	2	20							
A Totalt under försöksperioden	105	560	252	2503	127	59,0 3	928 6	6999	721	9962	3056 4
B årlig tillförsel med aska 02-04	19	40	13	54	4	0,73	54	205	39	11	351
B årlig tillförsel med aska 05-08	15	30	10	20	1	0,06	77	85	20	2	150
B årlig tillförsel med hg 02-04		40	2	20							
B årlig tillförsel med hg 05-08		50	2	20							
B Totalt under försöksperioden	117	560	97	380	15	2,44	470	956	194	41	1652
C årlig tillförsel	15	80	2	20		0,26					
C Totalt under försöksperioden	105	560	16	137		1,8					
Gränsvärde *, g ha⁻¹ år⁻¹						0,75	40	300	25	25	600

* Naturvårdsverkets gränsvärden för årlig tillförsel med rötslam

** hg = handelsgödsel. N= Axan, N 27, P= superfosfat P 20, K= kaliumklorid.

Växtprover från 2004 och 2009 för innehåll av växtnäringssämnen och tungmetaller vid ALS Scandinavia AB, analyspaket MG-3. För bestämning av As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, och Zn har provet torkats vid 50°C och upplöses i salpetersyra/ väteperoxid i slutna teflonbehållare i mikrovågsugn. Övriga ämnen bestäms efter inaskning vid 550°C följt av smältning med litiummetaborat och upplösning i utspädd salpetersyra.

Balanser mellan tillförd och bortförd mängd har beräknats för försöksperioden. Vid beräkning av bortförd mängd har medelvärdet från den kemiska analysen av växtmaterialen från 2004 och 2009 använts och multiplicerats med den ackumulerade torrsubstansskörden för varje ruta.

De gränsvärden som anges för högsta tillåtna markinnehåll och för tillförsel av tungmetaller är hämtade ur Statens naturvårdsverks föreskrifter avseende användning av avloppsslam på åkermark [14] eftersom inga regler ännu finns vad gäller spridning av aska på åkern.

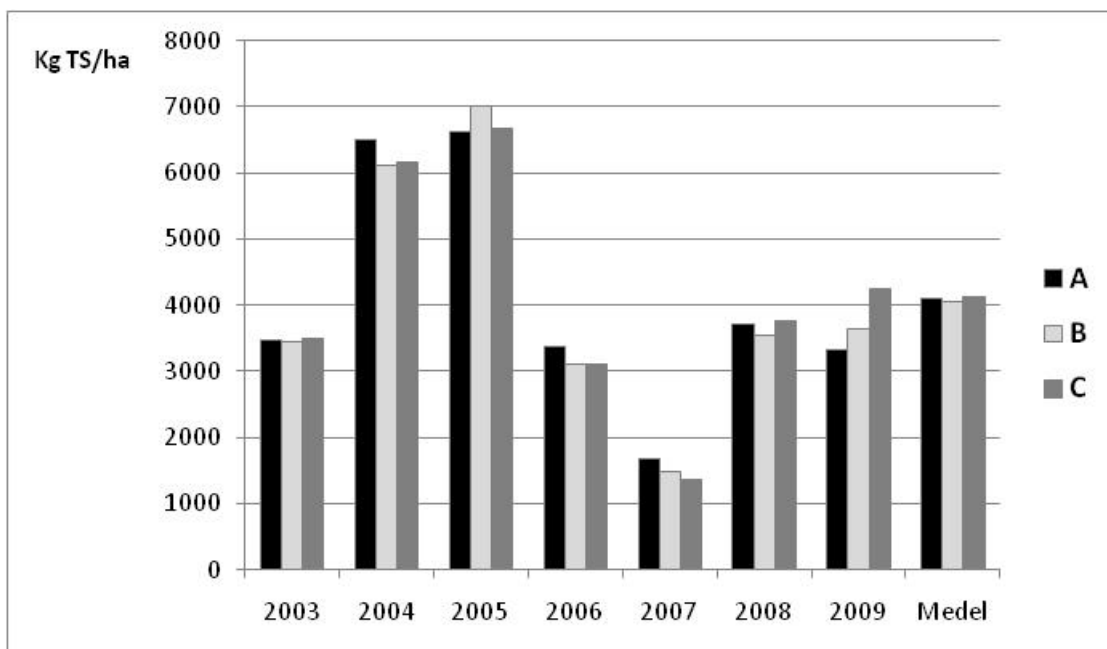
2.3 Statistisk bearbetning av data

All statistisk bearbetning gjordes i NCSS 2007. Jämförelser av behandlingar gjordes med ANOVA i modulen General Linear Model. Jämförelser mellan enskilda behandlingar och mellan år gjordes med Tukey-Kramers test av parvisa skillnader med signifikansnivån 5 %.

3 Resultatredovisning

3.1 Skördeutbyte

Avkastningsnivån varierade väldigt mycket mellan åren (figur 1). Eftersom försöket skördades på våren är den skörd som anges för respektive år resultatet av den tillväxt som skedde året innan; det som skördades 2003 är följaktligen insåningsårets tillväxt och är förvånansvärt hög. 2004 och 2005 låg avkastningsnivån på mellan 6000 och 7000 kg torrsbstans, vilket kan sägas vara vad som förväntades. Därefter har det skett en betydande sänkning av avkastningsnivån, med en viss återhämtning de två sista åren. Medeltalen för de tre gödslingsleden över samtliga år visar inga signifikanta avkastningsskillnader.



Figur 1. Avkastning, kg torrsbstans per hektar för de olika skördeåren

Figure 1. Dry matter yield, kg/ha, for the different harvest years

3.2 Kemiska analyser

Ett frågetecken vid användning av aska och andra avfallsprodukter på jordbruksmark är risken för anrikning av icke önskvärda ämnen, främst tungmetaller och arsenik, i mark och gröda. Resultat av analyser av gräsprover från 2004 och 2009 visar att innehållet av tungmetaller i grödan, i genomsnitt för alla led var lägre 2009 jämfört med 2004 av kadmium (Cd), krom (Cr), nickel (Ni) och bly (Pb), i några fall signifikant lägre. Halten av koppar (Cu) och zink (Zn) har ökat något, ökningen är signifikant för zink. Mellan de olika behandlingarna fanns inga signifikanta skillnader (Tabell 3). Variationen mellan proverna inom samma behandling var måttlig utom för krom där den ibland var

stor (Bilaga A). Analysvärdena för kvicksilver (Hg) och arsenik (As) ligger mestadels under detektionsgränsen och kan därför inte redovisas.

Tabell 3. Innehåll av tungmetaller i gräsprover från 2004 respektive 2009, mg/kg torrsubstans. Årsmedelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda, $p < 0,05$. ns = ej signifikant. Standardavvikelse i Bilaga A.

Table 3. Heavy metal content in biomass samples from 2004 and 2009. Mean values for the years with different letters differ significantly, $p < 0,05$. Standard deviation in Appendix A.

		mg kg ⁻¹					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
2004	A	0,039	1,16	6,31	0,83	1,13	22,45
	B	0,041	1,32	5,82	0,91	1,28	22,33
	C	0,040	1,16	5,66	0,83	1,10	20,08
	Medel	0,040 a	1,21 ns	5,93 ns	0,85 a	1,17 a	21,62 a
2009	A	0,022	1,06	6,48	0,49	0,59	29,18
	B	0,023	1,13	6,26	0,67	0,58	26,58
	C	0,028	0,73	6,23	0,63	0,56	25,70
	Medel	0,025 b	0,97 ns	6,33 ns	0,59 b	0,58 b	27,15 b

Askhalten i grödan, liksom kaliumhalten var i medeltal över alla led signifikant högre 2009 jämfört med 2004, halterna av kalcium, magnesium och fosfor skiljde sig inte signifikant. I jämförelse mellan leden visade led A jämfört med handelsgödselledet (C) högre halter av aska, kalcium och kalium medan innehållet av magnesium och fosfor inte skiljde sig signifikant. Effekten av den rena rörlensaskan (B) jämfört med handelsgödsel visade skillnad endast med högre halt av magnesium (tabell 4). Variationen mellan prover i samma behandling var liten eller måttlig (Bilaga A).

Tabell 4. Askhalt samt innehåll av växtnäringsämnen i gräsprover från 2004 respektive 2009, i procent av torrsubstans. Värden med olika bokstäver är signifikant skilda, $p < 0,05$. ns = ej signifikant. Standardavvikelse i Bilaga A.

Table 4. Content of ash and nutrient elements in grass samples from 2004 and 2009. Figures with different letters differ significantly, $p < 0,05$. Standard deviation in Appendix A.

		% av torrsubstans				
		Aska	Ca	K	Mg	P
2004	A	6,8	0,201	0,228	0,054	0,108
	B	7,0	0,203	0,227	0,059	0,114
	C	6,4	0,187	0,219	0,053	0,117
	Medel	6,7	0,197	0,224	0,055	0,113
2009	A	8,4 a	0,214 a	0,336 a	0,055 ab	0,130 ns
	B	7,6 ab	0,175 b	0,274 b	0,058 a	0,115 ns
	C	6,9 b	0,154 b	0,244 b	0,047 b	0,109 ns
	Medel	7,6	0,181	0,285	0,053	0,118

Analyser av jordprover från 2009 visar att halterna av tungmetaller är något högre i den översta nivån (0 – 5 cm) i försöksled A, aska av rörflen och sopor. Skillnaden är signifikant för kadmium, bly och zink. Längre ner i profilen har inga skillnader mellan behandlingarna påvisats, och jämfört med utgångsläget (2003) syns heller inga skillnader i dessa. Halterna ligger också väl under Naturvårdsverkets gränsvärden för markinnehåll vid spridning av rötslam med undantag för krom (figur 2).

Matjordens innehåll av växttillgängligt magnesium (Mg-AL) var 2008 signifikant högre i de led som gödslats med aska. Innehållet av kalcium liksom pH-värdet var också högre i led A. Kaliumhalten i led A var lägre än i de övriga, dock är skillnaden inte signifikant. Skillnaden i fosforhalt var obetydlig (tabell 5). Variationen mellan prover inom samma behandling var måttlig utom för koppar och i något fal även krom där den var stor (Bilaga A).

Tabell 5. pH-värde samt innehåll av växtnäringsämnen 2003 (ledvisa prover) samt 2008 (rutvisa prover) i matjord och alv.

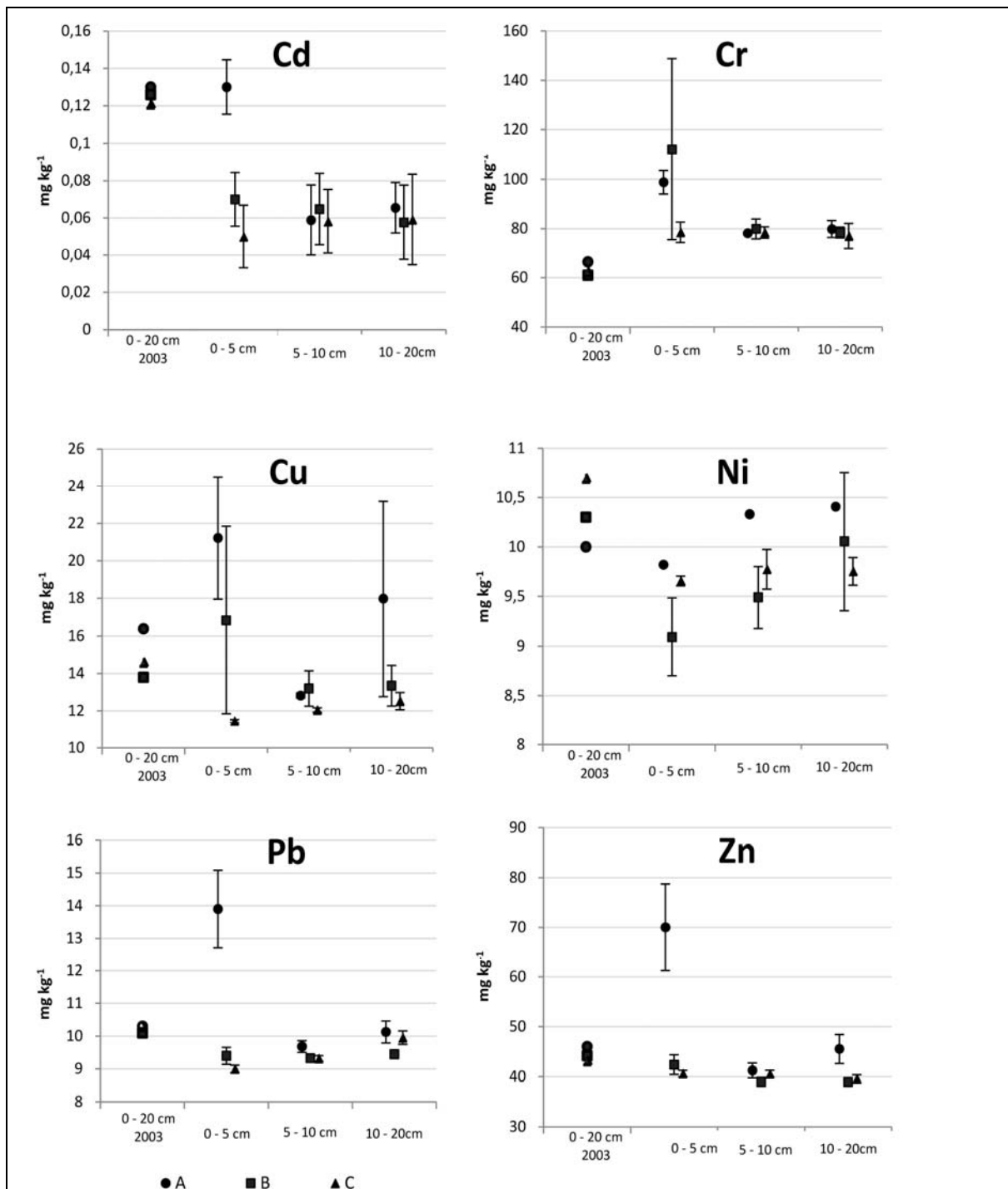
Table 5. pH-value and content of plant nutrients 2003 (per treatment) and 2008 (per plot) in topsoil and subsoil.

Led	pH	mg 100 g ⁻¹ torr jord									
		P-Al		K-Al		Mg-Al		Ca-Al			
		2003	2008	2003	2008	2003	2008	2003	2008		
Matjord	A	6,1	6,1 ^a	10,0	12,0	13,0	19,3	2,4	3,6 ^a	100	130 ^a
	B	5,9	5,7 ^b	10,0	12,3	13,0	25,8	2,3	3,1 ^a	92	84 ^b
	C	5,9	5,8 ^b	10,0	12,5	13,0	27,5	2,0	2,2 ^b	83	77 ^b
Alv	A	5,8	5,0	7,1	2,9	10,0	7,7	1,9	1,4	79	40
	B	5,7	5,0	6,3	3,0	11,0	7,9	1,9	1,3	71	40
	C	5,7	5,0	6,8	2,6	10,0	7,6	2,0	1,0	74	39

I alven fanns inga skillnader mellan försöksleden 2008, däremot var halterna av näringsämnen generellt lägre 2008 jämfört med 2003.

3.3 Växtnäringsbalans

Den mängd växtnäringsämnen som tillförts under försöksperioden är för samtliga försöksled och näringsämnen högre än vad som förts bort med grödan, undantaget magnesium vid gödning med handelsgödsel. Detta gäller även för tungmetallerna i leden där aska använts. Led A (rörflen + sorterade sopor) i synnerhet, har gett mycket stora överskott i denna beräkning (tabell 6).



Figur 2. Halter i matjorden av tungmetaller 2003 samt på olika nivåer 2009. Naturvårdsverkets gränsvärden för markinnehåll vid spridning av rötslam på åkermark (mg kg^{-1}): Cd 0,4, Cr 60, Cu 40, Ni 30, Pb 40, och Zn 100. Felstaplarna visar standard error ($n=4$). Proverna från 2003 slogs ihop till ett prov per behandling.

Figure 2. Heavy metal content in different levels of the topsoil. Official soil limits for sewage sludge application to agricultural soil according to the Swedish Environmental Protection Agency (mg kg^{-1}): Cd 0,4, Cr 60, Cu 40, Ni 30, Pb 40 and Zn 100. The error bars show standard error ($n=4$). The samples from 2003 were pooled to one sample per treatment.

Tabell 6. Balans mellan tillförd respektive bortförd mängd av växtnäringsämnen och tungmetaller under försöksperioden. Den bortförda mängden per hektar har beräknats som en produkt av medelvärdet för analysvärden för åren 2004 och 2009 och mängden skördad gröda per år.

Table 6. Balance between supplied and removed amounts of nutritional elements and heavy metals during the experimental period. The removed amount per hectare has been calculated from the average of analyzes from 2004 and 2009, and dry matter yield per year.

Behandling		kg ha ⁻¹				g ha ⁻¹					
		P	K	Mg	Ca	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A	Tillfört	105	560	252	2503	59	9286	6999	721	9962	30564
	Bortfört med grödan	34	81	16	60	0,9	32	184	19	25	741
	Balans	71	479	236	2443	58	9254	6815	702	9937	29823
B	Tillfört	117	577	81	380	2,4	471	958	195	41	1656
	Bortfört med grödan	32	71	17	54	0,9	35	171	22	26	693
	Balans	85	506	64	327	1,5	436	787	172	14	963
C	Tillfört	105	560	0	140	1,8	e.a	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.
	Bortfört med grödan	33	67	14	49	1,0	27	171	21	24	659
	Balans	72	493	-14	91	0,8	-27*	-171*	-21*	-24*	-659*

e.a.: Ej analyserat, not analyzed

* Om det fanns spår av detta ämne i handelsgödseln så är det inte medräknat i balansen.

4 Resultatanalys

Den mängd tungmetaller som tillförts marken med askan av rörflen + sopor (led A) är mångdubbelt större än vad som är tillåtet enligt Naturvårdsverkets bestämmelser. Trots det visar resultaten från detta försök endast måttligt förhöjda halter av några ämnen i mark och inga förhöjda halter i grödan. Enstaka prover med höga halter gjorde att standardfelet blev högt för koppar och krom. Data om tungmetallinnehållet i den handelsgödsel som använts har bara gått att få fram för Cd i superfosfaten. Analysvärden för jord efter försökets avslutning ligger också ungefär på samma nivå som de som redovisas för Umeå kommun i SLU/Naturvårdsverkets mark- och grödoinventering [15]. Undantaget är kromhalten som i försöksfältet är ca 3 gånger högre än kommungenomsnittet. Om just detta fält avviker, eller om området runt omkring visar samma resultat kommer att undersökas genom kompletterande analyser.

Den betydligt större totala tillförseln av kalcium i behandling A (tabell 2) kan förklara att pH-värdet är högre här. Den rena rörflensaskan hade en lägre kalciumhalt vilket kan förklara att pH inte har påverkats signifikant i led B. Innehållet av lättlöslig fosfor och kalium i matjorden visar inga signifikanta skillnader mellan de ytor som enbart givits fosfor från aska samt en del av kaliumgivan och de som gödslats med handelsgödsel. Detta pekar på att näringsämnen från askan varit lättillgänglig för växterna. Den lägre nivån i alven skulle också kunna bero på att en hel del näring tagits upp härifrån. Dock kan man inte utifrån detta försök säga detta med säkerhet eftersom provtagningen inte gjorts på samma sätt 2003 och 2008. För jämförelsen saknas också ett försöksled utan någon tillförsel av växtnäring. De högre mängderna av magnesium som tillförts med aska har medfört en ökning av mängden lättillgänglig magnesium i dessa försöksled. Som jämförelse kan nämnas ett försök med återföring av salixaska till en salixplantering. Där visar en liknande undersökning på ett högre pH och ökade halter av lättlösliga växtnäringsämnen i marken, främst i det översta markskiktet efter askgödsling men inga effekter på produktionen av biomassa eller dess innehåll [16, 17].

Den varierande och i genomsnitt låga avkastningsnivån i försöket visar inget samband med gödslingsbehandlingarna. Den stora variationen mellan åren kan ha flera orsaker; klimatfaktorer, skördetid eller möjligen angrepp av någon skadegörare. De skördesiffror som redovisas är enbart den tekniska skörden. Om skillnaderna är desamma när det gäller biologiskt skörd går inte att säga eftersom ingen mätning av skördeförlusten har gjorts.

5 Slutsatser

En återföring av rena rörlensaskor till åkern verkar inte vara något problem ur miljösynpunkt. Markanalyserna efter spridning av ren rörlensaska visar i detta försök inga tendenser till förhöjda halter av icke önskvärda ämnen, alltså kan man inte se något som hindrar att marken används för livsmedels- och foderproduktion om så behövs. Däremot gav aska från rörlens som sameldats med sopor förhöjda halter i jorden av bly (en ökning med 4 mg per kg jord) och zink (en ökning med 25 mg per kg jord) i de översta 5 cm av jorden. Därför bör aska som inte enbart kommer från förbränning av rörlens vara kontrollerad vad avser innehåll av tungmetaller så att den uppfyller miljökraven. Aska där sopor eller annat olämpligt material ingått i bränslmixen bör ej spridas på åkermark. Att återföra askan till åkern minskar miljöbelastningen genom att aska inte läggs i stora mängder i deponi. Rörlensaskans fosforgödselverkan gick inte att kvantifiera eftersom en ogödslad kontroll saknades, men varken mängden bortförd fosfor i grödan eller tillgängligt fosfor i marken skiljde sig från den handelsgödslade kontrollen vid försökets slut. Därför drar vi slutsatsen att det inte var någon nackdel med att använda rörlensaska som fosforgödselmedel.

6 Rekommendationer och användning

Användning av ren rörfbensaska till gödsling av rörflen kan rekommenderas. Den bör dock analyseras och kompletteras med de näringsämnen som inte finns i tillräcklig mängd i askan. Aska från samförbränning av rörflen och källsorterat hushållsavfall bör inte spridas på åkermark på grund av det höga tungmetallinnehållet.

7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

För att undersöka tillgängligheten hos olika näringsämnen i rörlensaska bör försök göras som har både en handelsgödsled kontroll och en kontroll utan P och K tillförsel. Försök med långtidseffekt av askgödsling bör också utföras på mulljord eftersom denna har lägre innehåll av P och K och pilotförsök och praktisk erfarenhet hos odlare visat att askan har en positiv effekt på rörlan där. Odlingsvärdet hos askor från samförbränning av rörlan och andra biobrännslan och torv bör också undersökas eftersom det troligen kommer bli det vanligaste sättet att elda rörlan.

8 Litteraturreferenser

1. Wrobel, C., Coulman, B.E., and Smith, D.L.; The potential use of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) as a biofuel crop. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 1/2009 s. 1-18.
2. Andersson, R., Bång, M., Frid, G., and Paulsson, R.; *Åtgärder för minskade utsläpp*, Jordbruksverket, rapport Bilaga 2 till rapport 2010:10, Jönköping, 2010
3. Örberg, H., Öhman, M., and Boström, D.; *Projekt E06-611. Teknikutveckling för ökad etablering och nyttjande av rörfilen-Demonstrationsförsök i fullskala*, Värmeforsk, rapport Inget nummer än, 2010
4. Seppala, M., Paavola, T., Lehtomaki, A., and Rintala, J.; Biogas production from boreal herbaceous grasses - Specific methane yield and methane yield per hectare. *Bioresource Technology* 12/2009 s. 2952-2958.
5. Pahkala, K.; *Reed canary grass cultivation for large scale energy production in Finland. NJF Seminar 405 Production and utilization of crops for energy*. Vilnius, Lithuania, 3:4, 2007, s. 52-55
6. lantbruksforskning., S.; Forsknings-, utvecklings-, och demonstrationsprogram (FUD). Produktion och förädling av energigrödor samt energibesparing inom jordbruket. 2005 s.
7. Bioenergigårdar; <http://www.ac.lst.se/klimatochenergi/bioenergigardar>. 2010.
8. Paulrud, S. and Laitila, T.; *Lantbrukarnas attityder till odling av energigrödor*, IVL, Svenska Miljöinstitutet, rapport 1746, Göteborg, 2007
9. Burvall, J.; Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L). *Biomass & Bioenergy* 3/1997 s. 149-154.
10. Ericson, L.; *Odlingsförsök med aska från rörfilen/sopor*, *Energi i kretslopp: Slutrapport från kvarkenrådet*. Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap: Umeå. 1999 s. 38-42.
11. Olsson, J. and Salomon, E.; *Kunskapsöverföring från skogssektorn till jordbrukssektorn angående askåterföring*, Värmeforsk, rapport 1093, Stockholm, 2009
12. Eurofins; <http://www.eurofins.se>. 2010.
13. ALS; http://www.alsglobal.se/hem2005/sv/miljo/jord_grund.asp. 2010.
14. naturvårdsverk, S.; *Statens naturvårdsverks författningssamling* rapport 1994:2, Stockholm, 1994
15. grödoinventeringen, S.M.-o.; <http://www-jordbruksmark.slu.se>. 2010.
16. Park, B., Yanai, R., Sahm, J., Lee, D., and L., A.; Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass and Bioenergy* 2005 s. 355-365.
17. Park, B., Yanai, R., Sahm, J., Ballard, B., and Abrahamson, L.; Wood ash effects on soil solution and nutrient budgets in a willow bioenergy plantation. *Water, Air and Soil Pollution* 2004 s. 209-224.

A Bilagor

A Standardavvikelser i materialet

Komplettering av data i Tabell 3-5 samt figur 2 med standardavvikelser.

Tabell 3. Innehåll av tungmetaller i gräsprover från 2004 respektive 2009, mg/kg torrsbstans samt standardavvikelse (Std). Årsmedelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda, $p < 0,05$. ns = ej signifikant

Table 3. Heavy metal content in biomass samples from 2004 and 2009 and standard deviation (Std). Mean values for the years with different letters differ significantly, $p < 0,05$

		mg kg ⁻¹											
		Cd	Std	Cr	Std	Cu	Std	Ni	Std	Pb	Std	Zn	Std
2004	A	0,0391	0,0032	1,16	0,53	6,31	0,85	0,83	0,09	1,13	0,16	22,45	1,65
	B	0,0407	0,0044	1,32	0,60	5,82	0,72	0,91	0,16	1,28	0,20	22,33	3,97
	C	0,0397	0,0087	1,16	0,15	5,66	0,13	0,83	0,09	1,10	0,26	20,08	2,04
	Medel	0,0398	^a	1,21	^{ns}	5,93	^{ns}	0,85	^a	1,17	^a	21,62	^a
2009	A	0,0216	0,0052	1,06	0,18	6,48	0,32	0,49	0,08	0,59	0,17	29,18	3,42
	B	0,0252	0,0056	1,13	0,73	6,26	0,37	0,67	0,20	0,58	0,17	26,58	3,41
	C	0,0278	0,0099	0,73	0,13	6,23	0,76	0,63	0,10	0,56	0,13	25,70	2,84
	Medel	0,0249	^b	0,97	^{ns}	6,33	^{ns}	0,59	^b	0,58	^b	27,15	^b

Tabell 4. Askhalt samt innehåll av växnäringsämnen i gräsprover från 2004 respektive 2009, i procent av torrsubstans samt standardavvikelse. Värden med olika bokstäver är signifikant skilda, $p < 0,05$. ns = ej signifikant

Table 4. Content of ash and nutrient elements in grass samples from 2004 and 2009 with standard deviation. Figures with different letters differ significantly, $p < 0,05$

		% av torrsubstans / in dry matter									
		Aska		Ca		K		Mg		P	
		Std	Std	Std	Std	Std	Std	Std	Std	Std	
2004	A	6,8	0,7	0,201	0,032	0,228	0,026	0,054	0,008	0,108	0,009
	B	7,0	0,8	0,203	0,034	0,227	0,026	0,059	0,012	0,114	0,008
	C	6,4	0,5	0,187	0,008	0,219	0,014	0,053	0,003	0,117	0,004
	Medel	6,7		0,197		0,224		0,055		0,113	
2009	A	8,4	^a 0,6	0,214	^a 0,023	0,336	^a 0,023	0,055	^{ab} 0,004	0,130	^{ns} 0,012
	B	7,6	^{ab} 0,7	0,175	^b 0,013	0,274	^b 0,034	0,058	^a 0,007	0,115	^{ns} 0,005
	C	6,9	^b 0,8	0,154	^b 0,010	0,244	^b 0,039	0,047	^b 0,001	0,109	^{ns} 0,016
	Medel	7,6		0,181		0,285		0,053		0,118	

Tabell 5. pH-värde samt innehåll av växnäringsämnen 2003 (ledvisa prover) samt 2008 (rutvisa prover) i matjord och alv.

Table 5. pH-value and content of plant nutrients 2003 (per treatment) and 2008 (per plot) in topsoil and subsoil.

Led		pH			mg 100 g ⁻¹ torr jord / dry soil											
					P-Al			K-Al			Mg-Al			Ca-Al		
		2003	2008	Std	2003	2008	Std	2003	2008	Std	2003	2008	Std	2003	2008	Std
Matjord	A	6,1	6,1 ^a	0,1	10,0	12,0	0,8	13,0	19,3	1,7	2,4	3,6 ^a	0,5	100	130 ^a	14,1
	B	5,9	5,7 ^b	0,2	10,0	12,3	0,5	13,0	25,8	5,0	2,3	3,1 ^a	0,4	92	84 ^b	7,9
	C	5,9	5,8 ^b	0,2	10,0	12,5	0,6	13,0	27,5	4,1	2,0	2,2 ^b	0,4	83	77 ^b	1,4
Alv	A	5,8	5,0	0,3	7,1	2,9	1,2	10,0	7,7	0,7	1,9	1,4	0,3	79	40	14,0
	B	5,7	5,0	0,2	6,3	3,0	1,5	11,0	7,9	0,5	1,9	1,3	0,2	71	40	12,1
	C	5,7	5,0	0,1	6,8	2,6	1,0	10,0	7,6	0,8	2,0	1,0	0,1	74	39	7,4

Data till figur 2: Innehåll av tungmetaller i jordprover från 2009, nivå 0 – 5 cm samt standardavvikelser. Värderna med olika bokstäver är signifikant skilda, $p < 0,05$

Data for figure 2: Content of heavy metals in soil samples from 2009, level 0 – 5 cm, with standard deviation. Figures with different letters differ significantly, $p < 0,05$

	Led	Nivå	As	Std	Cd	Std	Cr	Std	Cu	Std	Ni	Std	Pb	Std	Zn	Std
2003	A	0 - 20 cm	3,96	n.a.	0,130	n.a.	66,4	n.a.	16,40	n.a.	10,00	n.a.	10,30	n.a.	46,00	n.a.
	B	0 - 20 cm	4,09	n.a.	0,126	n.a.	61,0	n.a.	13,80	n.a.	10,30	n.a.	10,10	n.a.	44,20	n.a.
	C	0 - 20 cm	4,37	n.a.	0,121	n.a.	62,3	n.a.	14,60	n.a.	10,70	n.a.	10,30	n.a.	43,20	n.a.
2009	A	0 - 5 cm	4,48	a 0,62	0,128	0,029	98,8	9,6	21,23	6,54	9,82	0,62	13,85	a 2,37	69,98	a 17,47
	B	0 - 5 cm	3,82	ab 0,30	0,066	0,029	112,2	73,3	16,85	10,01	9,09	0,78	9,44	b 0,52	42,43	b 3,95
	C	0 - 5 cm	3,69	b 0,19	0,051	0,034	78,5	8,3	11,45	0,17	9,66	0,10	9,04	b 0,23	40,60	b 1,31
	A	5 - 10 cm	4,39	0,59	0,059	0,038	78,1	1,1	12,83	0,26	10,33	1,02	9,68	0,36	41,23	2,98
	B	5 - 10 cm	3,84	0,45	0,064	0,038	79,9	8,1	13,20	1,89	9,49	0,62	9,33	0,21	38,95	1,45
	C	5 - 10 cm	3,83	0,27	0,058	0,034	78,4	4,6	12,05	0,24	9,77	0,40	9,32	0,17	40,55	1,44
	A	10 - 20 cm	4,02	0,35	0,066	0,027	79,8	6,9	17,98	10,42	10,41	0,50	10,13	0,67	45,53	5,81
	B	10 - 20 cm	4,14	0,41	0,057	0,040	78,4	4,4	13,35	2,17	10,06	1,40	9,45	0,16	38,93	1,62
	C	10 - 20 cm	4,44	0,56	0,059	0,049	77,0	10,1	12,53	0,92	9,75	0,28	9,96	0,41	39,60	1,54

n.a.: Proven sammanslagna till ett prov per led före analys. Not available, the samples were pooled to one sample per treatment before analysis.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGI MYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35