

VF-BIO--44-5

RAPPORT FRÅN VATTENFALL UTVECKLING AB  
PROJEKT BIOENERGI

39 pages

## Kadmium i Salix

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED  
FOREIGN SALES PROHIBITED

VATTENFALL





# Kadmium i Salix

1994/5  
ISSN 1100-5130

**MASTER**

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED  
FOREIGN SALES PROHIBITED RB

<b>Från</b> Projekt Bioenergi	<b>Rapportdatum</b> 1994-06-16	<b>Rapport nr</b> 1994/5
<b>Författare</b> Gölin Östman		<b>Projekt nr.</b> UB93-843
<b>Rapporten kan rekvireras från</b> Vattenfall Support AB Dokumentservice, biblioteket 162 87 VÄLLINGBY  Tel: 08/739 65 90 Fax: 08/739 64 44	<b>Teknisk granskning</b>  Anna Lundborg	
	<b>Godkänd</b>  Karin Widegren-Dafgård	
<b>Sökord</b> Biobränsle, Salix, energiskog, kadmium, åkermark	<b>Antal textblad</b> 22	<b>Antal bilagsblad</b> -
<input checked="" type="checkbox"/> Only summary in English <input type="checkbox"/> Whole report in English <input type="checkbox"/> Brochure in Swedish/English		

## Kadmium i Salix

*En studie i Salix förmåga att rena åkermark från kadmium*

### Sammanfattning

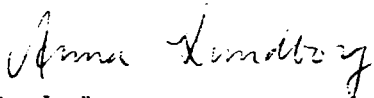

Syftet med denna rapport har varit att klargöra hur stor förmåga Salix (energiskog) har att ta upp kadmium, samt hur upptaget varierar med olika markförhållanden. Uppgifterna som resultaten är grundade på har inhämtats genom analys av jord och Salix provtagna från fem olika Salixodlingar i Mälardalsområdet. Två eller tre olika bestånd har provtagits på varje odling.

De markförhållanden som har studerats är *pH*, *mängd organiskt material* samt *mängd kadmium i jorden*.

Salix har en god förmåga, relativt andra grödor, att ta upp kadmium från åkermark. Kadmiumupptaget räknat per kg TS är 35 ggr större med Salix än med halm och energigräs. Salix kadmiumupptag varierar mellan 3-4 % av det växttillgängliga kadmiuminnehållet i marken. Den nuvarande ökningen av kadmium till åkermarken är 1 g/ha, år medan bortförelsen vid Salixodling är hela 21 g/ha,år.

Om Cd-upptaget är lika högt varje år förs sammanlagd 420 g Cd/ha bort när Salix odlas under en 20-årsperiod. Detta är en mycket stor del av matjordens totala kadmiuminnehåll som i genomsnitt är 550 g/ha. Upptaget kan dock väntas minska med tiden och mängd bortförd kadmium.

I denna undersökning syns inga tydliga samband varken mellan Salix kadmiumupptag och jordens Cd-halt, halt organiskt material i jorden eller pH i jorden.

From Project Bioenergy	Date	Serial number 1994/5
Author Gölin Östman	Project No. UB93-843	
Reports can be obtained from Vattenfall Support AB Dokumentservice, biblioteket S-162 87 VÄLLINGBY  Phone: +46 8 739 65 90 Fax: +46 8 739 64 44	Reviewed by  Anna Lundborg	Issuing authorized by  Karin Widegren-Dafgård
Key word Bioenergy, Salix, energy forest, cadmium, arable land, soil	Number of pages 22	Appending pages -
<input checked="" type="checkbox"/> Only summary in English <input type="checkbox"/> Whole report in English <input type="checkbox"/> Brochure in Swedish/English		

## Title

### Report title

### Summary

The aim of this report has been to show the ability of *Salix* to take up cadmium and how the uptake varies between different types of soil. The information that the results are based on has been obtained from analyses of soil and *Salix*. The samples were taken at five sites in the district around Lake Mälaren. Two or three stands were taken at each place.

The factors studied were the *pH*, the *organic matter content*, and the *concentration of cadmium in the soil*.

*Salix* has a good ability, relative to other crops, to remove cadmium from arable land. The cadmium uptake (per kg DM) is 35 times higher with *Salix* than with straw or energy grass. *Salix* uptake of cadmium varies between 3 and 14 % of the cadmium content in the soil that is accessible to plants.

The present annual increase of cadmium in arable land is 1 g/ha, whereas the removal in a *Salix* plantation is 21 g Cd/ha, yr at an annual growth of 10 tonnes DM.

If the Cd uptake is the same each year, then a total of 420 g Cd/ha is removed when *Salix* is grown over a 20-year period. This is a very large part of the topsoil's total cadmium content, which is 550 g/ha on average in Sweden.

The investigation reveals no clear relationships between the Cd concentration in *Salix* and the concentration of Cd in the soil, the organic matter content or the *pH*.

## **FÖRORD**

Vattenfall har sedan 70-talet bedrivit forsknings- och utvecklingsarbete inriktat på bioenergi. Vattenfall äger och driver dessutom biobränsleeldade anläggningar som producerar värme och värme/el.

Vattenfalls utvecklingsinsatser inom bioenergiområdet bedrivs sedan 1989 i projektform och fr o m 1994 har Vattenfall Utveckling AB det samlade ansvaret för genomförandet av Projekt Bioenergi. Det övergripande målet för projektet är att klarställa bioenergins möjliga roll inom Vattenfalls framtida affärsverksamhet. För att få underlag till en sådan bedömning analyseras hela bioenergisystemet, från bränsleproduktion till slutlig användning.

Sammanfattningsvis innebär detta att Vattenfalls engagemang inom bioenergiområdet omfattar såväl utvärdering och anpassning av olika omvandlingstekniker, som analys av konkurrens och marknadsförhållanden där miljöaspekterna bedöms få en allt större betydelse.

Utvecklingsarbetet bedrivs dels av specialister inom Vattenfall, dels av forskare vid högskolor och konsulter. Även examensarbeten bidrar till utvecklingen.

Resultat från verksamheten redovisas bl a i rapportform. Denna rapport avhandlar upptag av kadmium i Salix, och Salix förmåga att rena åkermark från kadmium.

Vattenfall juni 1994



Karin Widegren-Dalgaard

Vattenfall AB

Projekt Bioenergi

# **KADMIUM I SALIX**

En studie i Salix förmåga att rena åkermark från kadmium

Gölin Östman

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	
1. INLEDNING	5
1.1. Bakgrund	5
1.2. Syfte	5
1. ALLMÄNT OM KADMIUM	6
2.1. Förekomst och användning	6
2.2. Spridning	6
2.3. Hälsoeffekter	6
3. ALLMÄNT OM SALIX	7
3.1. Odlingen	7
3.2. Potentialer	7
4. KADMIUM I MARK	8
5. VÄXTERS UPPTAG AV KADMIUM	8
5.1. Kadmium i växten	8
5.2. Markförhållanden som påverkar kadmiumupptaget	9
5.2.1. Totalhalt kadmium i jorden	9
5.2.2. pH	9
5.2.3. Organiskt material	10
5.2.4. Rotabsorptionsytan	10
5.2.5. Andra metaller	10
5.2.6. Faktorer som studerats	10
6. MATERIAL OCH METODER	11
6.1. Val av växtplatser och kloner	11
6.2. Provtagning	12
6.2.1. Jordprov	12
6.2.2. Växtprov	12
6.3. Provberedning	12
6.3.1. Beredning av jordprover	12
6.3.2. Beredning av växtprover	12
6.4. Analys	13
6.4.1. pH	13
6.4.2. Organiskt material	13
6.4.3. Totalhalt kadmium i jorden	13
6.4.4. Växttillgängligt kadmium i jorden	13
6.4.5. Kadmium i Salix	14
7. RESULTAT OCH DISKUSSION	14
7.1. Mätresultat	14
7.2. Salix upptag av kadmium	15
7.2.1. Jämförelse med andra grödor	15
7.2.2. Framtida bortförel av kadmium via Salix	16
7.3. Upptagets beroende av olika markfaktorer	16
7.3.1. Organiskt material i jorden	16
7.3.2. Bortförel av Cd med Salix från åkermark (icke mulljord)	17
7.3.3. Bortförel av Cd med Salix från åkermark (mulljord)	17
7.3.4. Växttillgänglig halt kadmium i jorden	18
7.3.5. pH i jorden	18
7.4. Återföring eller deponering av askan ?	19
8. SLUTSATSER	20
9. REFERENSER	21

## **FÖRFATTARENS FÖRORD**

Detta arbete har utförts som ett examensarbete på Energilinjen vid Umeå Universitet. Utbildningen är till stor del inriktad på biobränslen och energiskog.

Då jag funnit dessa ämnen intressanta har det varit givande att i ett praktiskt arbete använda mina kunskaper.

Jag har under arbetets gång fått hjälp och stöd av ett flertal personer. Jag vill tacka Håkan Johansson och Stig Ledin för utformande av lämpliga provtagningsmetoder. Yngve Kilberg för att han letade fram odlingarna där jag tog prover och som också hjälpte mig under den första dagens provtagning. Jag vill även tacka alla som hjälpt mig tillrätta på odlingarna samt Hanna Hollstedt som utfört de flesta analyserna och som hindrat mig från att göra något galet i labbet och min handledare Anna Lundborg som granskat rapporten.

Ett speciellt tack vill jag rikta till min handledare, Sirpa Holmroos, som outtröttat svarat på alla mina frågor och som under en dag var trevligt provtagningsällskap.

Är det nu någon som känner sig ledsen över att inte finna sitt namn i mitt tacktal så ska Ni veta att det inte var min mening att glömma Er.



# 1. INLEDNING

## 1.1. BAKGRUND

Kadmium i våra jordar har ur hälso- och miljösynpunkt blivit ett problem. Marginalen till skadliga effekter bedöms vara mindre för kadmium än för andra metaller. Kadmiumhalterna i svensk åkermark ökar med bl a industriutsläpp och gödsling. Nettotillförseln till den svenska åkerns matjord är 3,64 ton/år. Räknat på matjordsskiktet, 0-20 cm, motsvarar detta en ökning på 0,21 % per år (Åbyhammar m fl 1993).

Åkermarken innehåller pga tillförsel av gödsel och rötslam på många ställen högre kadmiumhalter än vad som är önskvärt. Kadmiumet ackumuleras i växterna och når via näringskedjorna även oss människor och skadar vår hälsa. På några platser är även den naturliga förekomsten av kadmium hög.

Redan i Energikommissionens slutbetänkande (SOU 1978:49 p113) diskuterades vedaskans innehåll av bl a kadmium och konstaterades: "Växternas förmåga att uppta metaller kan användas för att avgifta ekosystem som har för hög halt av farliga tungmetaller.". Kadmiuminnehåll i olika typer av biomassa anges i betänkandet till 0,43-1,7 mg Cd/kg TS i Salix, 0,06-0,25 mg/kg TS i lövträd, 0,10-0,34 mg/kg TS i barrträd och 0,036-0,083 mg/kg TS i halm. Detta visar att Salix har en mycket stor förmåga att binda kadmium. Odling av Salix skulle därför kunna vara ett sätt att rena åkermark från kadmium.

Jordbruksdepartementet publicerade 1983 ett betänkande, Naturresursers nyttjande och hävd. Även där tas möjligheten att minska kadmiumhalterna i marken med hjälp av energigrödor upp. Naturresurs- och miljökommittén skriver att "En möjlighet att på sikt sänka kadmiumhalterna i marken kan vara att ta upp metallen i t ex energigrödor och därefter samla upp den vid förbränningen."

Om den skördade Salixen sedan eldas i anläggningar med modern reningsutrustning släpps inte kadmiumet ut direkt vid anläggningen utan stannar kvar i reningsfilter.

## 1.2. SYFTE

Orsakerna och förutsättningarna för Salix förmåga att binda kadmium är dåligt kända. För att bedöma hur stor bindningsförmågan är, samt orsakerna och förutsättningarna för denna, behövs mer information om de faktorer som påverkar Salix bindning av kadmium.

Syftet med denna studie är att belysa Salix förmåga att rena åkermark från kadmium.

## 2. ALLMÄNT OM KADMIUM

### 2.1. FÖREKOMST OCH ANVÄNDNING

Kadmium är en silvervit metall som är mycket giftig. I jordskorpan utgör kadmium ca 0,1 µg/g (Åbyhammar m fl 1993).

Metallen uppträder mest som följeslagare till zink och speciella kadmiummineral sällsynta. Kadmium fås som en biprodukt vid zinkframställning (Hägg 1989).

Kadmium används som korrosionsskydd till stål och i ackumulatorer (Ni/Cd t ex). Kadmiumföreningar används som färgpigment, i fotoceller och som stabilisatorer i termoplast, t ex PVC (Freij 1991).

### 2.2. SPRIDNING

Kadmium sprids i naturen genom t ex skrothantering och sopförbränning. Metaller sprids även med fosforgödselmedel och avloppsslam (Birgerson m fl 1989).

Fosforgödselmedlen bidrar med ca 40 % medan resten kommer från atmosfären och en mindre del från kommunalt slam (Åbyhammar m fl 1993).

### 2.3. HÄLSOEFFEKTER

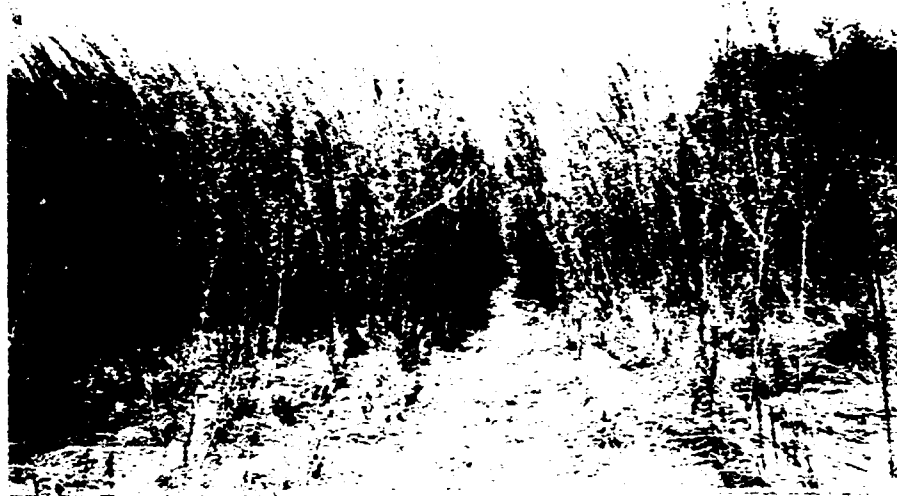
Kadmium absorberas effektivast vid inandning. Av den mängd som tillförs via föda absorberas normalt bara 5-10 % (Birgerson m fl 1989).

Rök eller damm av kadmium ger främst lung- och njurskador vid inandning. Kadmium ackumuleras i njurarna med en halveringstid på 30 år, vilket innebär att även små mängder på lång sikt kan vara skadligt (Birgerson m fl 1989).

Tobaksrökens stora mängd kadmium gör att rökare får i sig dubbelt så mycket kadmium som ickerökare (Greger 1989).

### 3. ALLMÄNT OM SALIX

Energiskog är snabbväxande lövträd som kan skördas efter bara några få år och användas som bränsle. Det finns flera arter som kan användas som energiskog, men i Sverige har vi satsat på olika pilarter, Salix.



*Bild 3. 4-årig Salix, Hedemora. Foto: Gölin Östman.*

#### 3.1. ODLINGEN

Plantering sker på våren med 18 000 st, 20 cm långa, sticklingar per hektar. Salix skördas på vintern 3-7 år efter planteringen och har då nått en höjd av 5-8 meter. Från stubben kommer sedan nya skott. Dessa växer snabbt eftersom det redan finns ett omfattande rotsystem som kan ta upp vatten och näring. Efter 20-30 år måste nya sticklingar sättas (Ung Forskning Nr 4 1991). Sticklingar som ursprungligen kommer från samma planta tillhör samma klon.

#### 3.2. POTENTIALER

Salix ger en årlig tillväxt av 10-16 ton TS (torrsbstans)/ha (Diedrich 1992). 12 ton TS motsvarar 55 MWh eller 5,5 m<sup>3</sup> olja (Johansson, Sennerby-Forsse 1989).

1993 planterades drygt 2000 ha Salix och totalt är 8-9 000 ha Salix planterad. Målet är mer än 100 000 ha till år 2000, dvs 3,4 % av den svenska åkerarealen (Diedrich 1992).

## 4. KADMIUM I MARK

I svensk åkermark ligger kadmiumpåhalten vanligen i intervallet 0,1-0,5 mg/kg TS, vilket motsvarar 240-1200 g/ha (räknat på matjordsskiktet 0-20 cm). Medelvärdet är 550 g/ha (SNV- Miljöprogram 1987). Medelvärdet för mängden växttillgängligt kadmium är 200 g/ha (Åbyhammar m fl 1993).

Tillfört kadmium ackumuleras i mycket hög grad i åkermark. Endast ca 1 % av det tillförda kadmiumet bortförs med bl a skörd och arlakning (Åbyhammar m fl 1993).

Kadmium är den mest lättlösliga tungmetallen, och man finner en hög lättlöslig fraktion av kadmium i jorden. Växterna tar inte enbart upp kadmium som är löst i jordens porvatten utan kan även genom att avsöndra vätejoner, frigöra kadmiumjoner som sitter bundna till markkolloiderna. Kadmiums mobilitet påverkas främst av markens pH-värde (Greger 1992).

## 5. VÄXTERS UPPTAG AV KADMIUM

### 5.1. KADMIUM I VÄXTEN

Kadmium som tagits upp av rötterna fastnar i cellväggar och speciella kadmium-bindande proteiner på väg upp i växten. Detta medför att koncentrationen av kadmium minskar ju längre upp i växten man kommer. Kadmiumkoncentrationen i skottet brukar vara 10-25 % av den i rötterna (Greger 1992).

En studie av kadmiumbehandlade sockerbetsplantor har visat att kadmium hämmar plantors tillväxt p g a hämning av fotosyntes och påverkade tillväxtprocesser. Påverkan skedde dock först vid kadmiumpåhållningar som var ca 1000 ggr högre än i normala åkerjordar (Greger 1992).

## 5.2. MARKFÖRHÅLLANDEN SOM PÅVERKAR KADMIUMUPPTAGET

### 5.2.1. Totalhalt kadmium i jorden

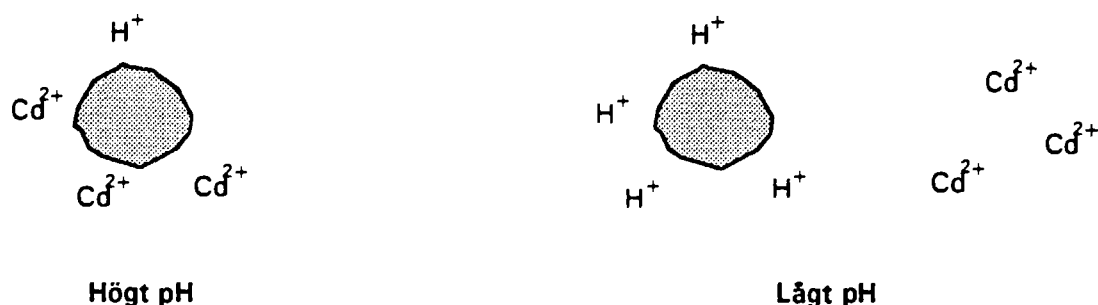
Ju högre kadmiumhalten är i marken desto mer kadmium tas upp i växten. Men effektiviteten i upptaget minskar med högre koncentration.

I försök med sockerbetsplantor studerades kadmiumupptaget i procent av den totala kadmiummängd som tillsatts i odlingskärlet. Kadmiumupptaget varierade från 70 % vid 0,6 mM tillsatt kadmium ner till ca 15 % vid 20 mM tillsatt kadmium (Greger 1992). Ju lägre koncentration av kadmium i marken desto mer kadmium tas procentuellt sett upp av växten.

Bakgrundsvärde för kadmium i mårhumusvatten i södra Sverige är i medeltal ca 0,01  $\mu\text{M}$  (Tyler 1992). Det är i sur skogsjord och siffran är troligen ännu lägre i åkerjord med högre pH. Det är förmodligen vanskligt att jämföra kadmiumupptag i sockerbeter och Salix, men då 0,01  $\mu\text{M}$  är flera storleksordningar lägre än lägsta kadmiumkoncentrationen i Gregers odlingsförsök bör upptagningseffektiviteten inte vara begränsad i åkerjorden.

### 5.2.2. pH

Växtens kadmiumupptag ökar med sjunkande pH i marken. Detta beror på att i jorden är kadmium mer eller mindre bundet till jordpartiklar (kolloider). När pH sjunker i markvätskan ökar mängden vätejoner ( $\text{H}^+$ ). Det sker då ett utbyte mellan kadmiumjoner ( $\text{Cd}^{2+}$ ) och vätejoner ( $\text{H}^+$ ) med den påföljden att kadmium frigörs i markvätskan vilket medför att kadmium blir tillgängligt för växten (Greger 1989).



Figur 5.2.2. pH-effekten på fritt och bundet kadmium i jord.

### **5.2.3. Organiskt material**

Organiskt material har hög jonbytes- och bindningsförmåga och är därmed en betydande faktor vad gäller nedsättning av lösligheten i jorden. Med minskad löslighet minskar även växtupptaget av kadmium (Eriksson 1990).

### **5.2.4. Rotabsorptionsytan**

Rotabsorptionsytan är av stor betydelse vid upptag av kadmium. Detta har visats vid studier av kadmiumupptagets effekter på sockerbetor med olika stor rotmassa. Studierna visade att kadmiumkoncentrationen i växten minskade med ökad rotabsorptionsyta. Å andra sidan ökade upptagseffektiviteten, d v s totala upptaget i % av tillfört Cd, med ökad rotabsorptionsyta (Greger 1992).

### **5.2.5. Andra metaller**

Det finns indikationer på att kadmium konkurrerar ut kalcium i de positioner där kalcium behövs för att tillväxtprocesserna skall fungera (Greger 1992).

Försök har visat en antagonism i vete mellan zink och kadmium med minskat upptag av kadmium vid hög zinkhalt i marken medan kadmiuminnehållet i havre ökade med ökad zinkhalt i marken (Eriksson 1990).

### **5.2.6. Faktorer som studerats**

De faktorer som studeras i denna undersökning begränsas till pH, halt organiskt material samt totalhalt kadmium i jorden.

## 6. MATERIAL OCH METODER

### 6.1. VAL AV VÄXTPLATSER OCH KLONER

Val av lämpliga växtplatser samt metoder för provtagning av jord och växt har skett i samråd med Salixforskarna Stig Ledin och Håkan Johansson samt markforskaren Jan Eriksson vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala.

Målet var att få en spridning av jordarter, pH och kloner mellan växtplatserna. För att eliminera klonens inverkan på kadmiumupptaget valdes klon 183 på alla växtplatser. Ytterligare en eller två kloner valdes på varje växtplats.

Provtagningen begränsades till fem olika växtplatser i Mälardalsområdet vilket är det område där de flesta Salixodlingarna finns. Alla provtagningar gjordes på odlingar i praktisk skala.

Endast skördemogna skott undersöktes då det är den genomsnittliga Cd-halten vid skörd som är av intresse.

PLATS	KLON	JORDART
ASKER	183	Mull
	007	Mull
HEDEMORA	183	Mullfattig mellanlera
	021	Måttligt mullhaltig mjälig lättlera
	112	Måttligt mullhaltig mo
BRUNNBY	183	Måttligt mullhaltig mellanlera
	021	Måttligt mullhaltig mellanlera
MALMÖN	183	Något mullhaltig mellanlera
	021	Något mullhaltig mellanlera
YXTORP	183	Måttligt mullhaltig svagt lerig sand
	101	Mullrik svagt lerig sand
	021	Mullrik sand

*Tabell 6.1. Provplatsernas olika kloner och jordarter.*

## 6.2. PROVTAGNING

Tre olika skördemogna kloner valdes ut på växtplatsen. En kvadratisk provtagningsruta à 4 x 4 meter mättes ut i var och en av de tre klonerna. Dessa tre provrutor lades ut så att markstrukturen i de olika rutorna blev likartad.

### 6.2.1. Jordprov

*I matjorden* togs 8 st stick (delprov) med jordborr till ett provdjup av 20 cm. Många borrhstick ger ett mer representativt värde. Delproven slogs ihop till ett generalprov.

*I alven* (40-60 cm) räckte det med 4 borrhstick då den har jämnare jord. Jord som rasade ner från andra horisonter än den som skulle provtas rensades bort. Delproven slogs ihop till ett generalprov.

### 6.2.2. Växtprov

Inom provrutan togs 15 skott ut. Beroende på andelen veka och grova skott valdes skottgrovleken. Vid övervägande del grova skott togs t ex fler grova än veka så att provet i stort sett återspeglade fördelningarna i beståndet. Skotten klipptes av med en kraftig sekator 30 cm ovanför markytan.

För att få ner mängden växtprovmaterial till en hanterlig mängd klipptes på varje meter av stammen en tiocentimeters provbit ut. Provbitarna utgjorde ett för hela stammen representativt prov. Provbitarna från alla 15 skotten slogs samman till ett generalprov.

## 6.3. PROVBEREDNING

### 6.3.1. Beredning av jordprover

Jordproverna torkades i rumstemperatur och mortlades för hand.

### 6.3.2. Beredning av Salixprover

Proven torkades i 100 °C i ca 12 timmar och maldes stegvis ner till en kornstorlek av 0,75 mm. Proven placerades i en ugn vid rumstemperatur, varefter temperaturen höjdes till 250 °C och hölls där i en timme. Därefter höjdes temperaturen ytterligare till 450 °C och hölls där i ca 8 timmar. Vid denna temperatur sker förbränning av organiska beståndsdelar utan att påvisbara mängder kadmium avgår.



## 6.4. ANALYS

### 6.4.1. pH

pH bestämdes med två olika metoder, rekommenderade av Statens Lantbrukskemiska laboratorium (SLL).

#### **Bestämning med destillerat vatten**

25 ml destillerat vatten tillsattes till 10 g torkat och malt jordprov. Provlösningen skakades i 4 timmar. Lösningen stod sedan en timme varefter pH avlästes.

#### **Bestämning med 0.01 M CaCl<sub>2</sub>**

25 ml 0,01 M kalciumklorid (CaCl<sub>2</sub>) tillsattes till 10 g torkat och malt prov. Provlösningen skakades i 4 timmar och stod sedan en timme varefter pH avlästes.

### 6.4.2. Organiskt material

Mängden organiskt material i jorden bestämdes genom att det organiska materialet glödgades bort.

Ca 1 g torkat och malt jordprov vägdes in och glödgades i en skål av känd vikt vid 550 °C till konstant vikt. Viktsförlusten antogs motsvara det organiska materialet. I lerjord bidrar även avgång av hygroskopiskt vatten till viktförlusten. Därför blir halterna organiskt material i lerjord något överskattade med denna metod (J. Eriksson, muntl).

### 6.4.3. Totalhalt kadmium i jord

1 g prov upplösts i 10 ml konc. salpetersyra (HNO<sub>3</sub>) i mikrovågsugn. Därefter tillsattes 3 ml 30 % väteperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Provet späddes till 50 ml med destillerat vatten. Provlösningarna analyserades på flamlös (grafitugn) atomabsorptionsspektrometer med avseende på kadmium. Dubbelanalys genomfördes för varje prov. Antalet signifikanta siffror indikerar precisionen i analysen.

### 6.4.4. Växttillgängligt kadmium i jorden

En internationellt erkänd metod för bestämning av växttillgängliga tungmetaller i jordprover användes (SLL).

10 g jord skakades i 30 minuter i 50 ml extraktionslösning (0,02 M EDTA och 0,5 M ammoniumacetat, pH 4,65).

Proven stod i en timme varefter de filterades och lösningarna analyserades på flamlös (grafitugn) atomabsorptionsspektrometer med avseende på kadmium.

#### 6.4.5. Kadmium i Salix

Analys enligt metod framtagen av Vattenfall Utveckling.

0,15 g berett prov upplösts i 6 ml 65 % salpetersyra (HNO<sub>3</sub>), 2 ml 40 % fluorvätesyra (HF) och 2 ml 37 % saltsyra (HCl) under tryck i mikrovågsugn. 20 ml borsyra tillsattes för att komplexbinda fluorvätesyran och proven upphettades ytterligare en gång i mikrovågsugnen.

Provlösningarna analyserades med avseende på kadmium på flamatombabsorptionsspektrometer. Dubbelanalys genomfördes för varje prov. Antalet signifikanta siffror indikerar precisionen i analysen.

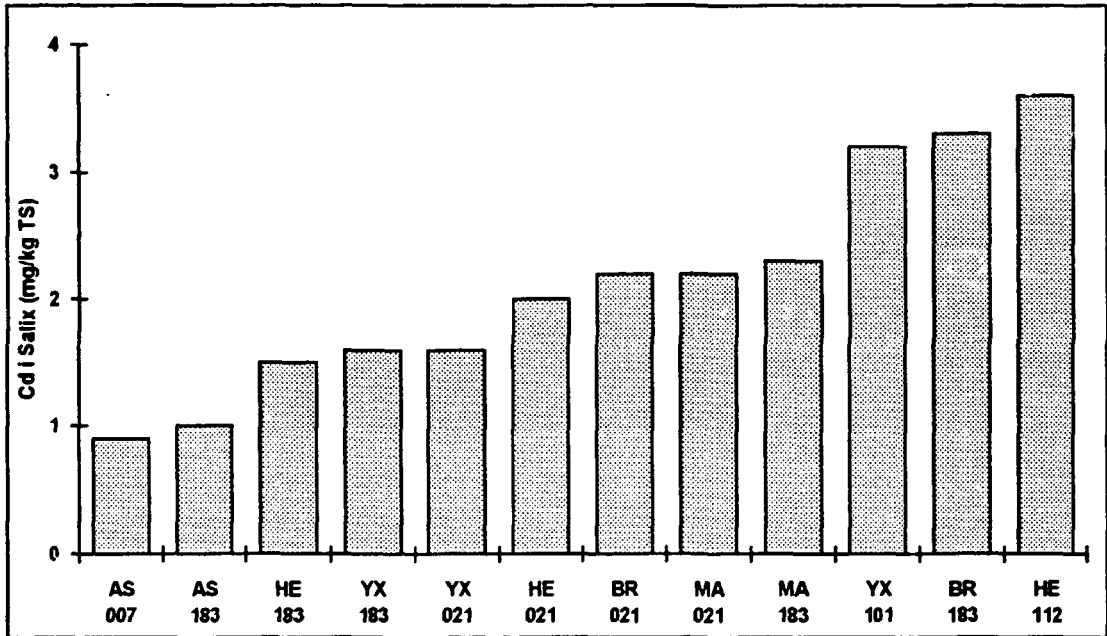
## 7. RESULTAT OCH DISKUSSION

### 7.1. MÄTRESULTAT

Plats	Klon	pH-jord		pH-jord		Cd-jord		Cd-Salix	Org. ma.
		H <sub>2</sub> O	(matjord)(alv)	0,01 M CaCl <sub>2</sub>	(matjord)(alv)	mg/kg TS	mg/kg TS		
						totalhalt	växttillgängligt		
						(matjord)(alv)	(matjord)		
Asker	183	5,5	(3,8)	5,1	(3,8)	0,68 (0.06)	0,37	1,0	62,8
	007	5,7	(4,1)	5,3	(3,9)	0,55 (0.09)	0,35	0,9	53,1
Hede- mora	183	6,2	(6,9)	5,7	(6,0)	0,13 (0.17)	0,06	1,5	5,0
	021	7,0	(8,2)	6,6	(7,5)	0,27 (0.14)	0,11	2,0	7,5
	112	5,7	(6,4)	5,1	(5,5)	0,11 (0.05)	0,05	3,6	5,9
Brunnby	183	6,5	(6,8)	5,9	(6,1)	0,24 (0.11)	0,10	3,3	10,8
	021	6,2	(6,6)	5,8	(6,4)	0,17 (0.07)	0,08	2,2	9,4
Malmön	183	5,0	(4,6)	4,3	(4,1)	0,21 (0.17)	0,06	2,3	8,6
	021	4,9	(4,4)	4,4	(4,1)	0,16 (0.18)	0,05	2,2	7,3
Yxtorp	183	6,3	(5,9)	5,8	(5,2)	0,16 (0.07)	0,07	1,6	5,1
	101	6,1	(6,3)	5,8	(5,3)	0,17 (0.03)	0,11	3,2	12,3
	021	6,3	(5,8)	5,6	(5,0)	0,15 (0.01)	0,10	1,6	9,7

*Tabell 7.1. Mätvärden över pH, växttillgängligt och totalhalt kadmium i jord samt kadmium i Salix och halt organiskt material vid de olika provplatserna. Värdena inom parentes är uppgifter på alven (40-60) medan de övriga är från matjorden (0-20 cm).*

## 7.2. SALIX UPPTAG AV KADMIUM



Figur 7.2. Spridning av kadmiumupptag i Salix.

AS=Asker, HE=Hedemora, BR=Brunnby, MA=Malmö, YX=Yxtorp.

Stapeldiagrammet i figur 7.2. visar kadmiumupptaget i de olika Salixklonerna från de olika växtplatserna. Kadmiumupptaget varierade från 0,9-3,6 mg per kg TS. Även det lägsta värdet på 0,9 mg per kg TS påvisar ett högt upptag av kadmium i jämförelse med andra grödor (se nedan).

Medelvärdet av kadmiumupptaget var 2,1 mg per kg TS. Vid en genomsnittlig skörd av 10 ton TS per ha och år medför det en årlig bortförsel av 21 g kadmium per ha. Under en 20-årig Salixodling blir det 420 g förutsatt att upptaget är lika högt hela tiden.

Under 1992 beräknades 150 ha Salix skördas i Sverige vilket betyder att den totala bortförslen av kadmium från åkermarken skulle ha uppgått till 3,15 kg.

### 7.2.1. Jämförelse med andra grödor

Upptaget 2,1 mg kadmium per kg TS för Salix kan jämföras med 0,06 mg per kg TS för halm och energigräs (rörflen) (Åbyhammar m fl 1993).

21 000 mg kadmium per ha och år bortförs med Salix jämfört med 120 resp. 330 mg kadmium per ha och år som förs bort med halm och energigräs.

Kadmiuminnehållet i kärnor av höstvetete och havre uppges vara ca 0,05 resp. 0,03 mg per kg (SLV-Försurningens påverkan på kadmiumupptag i grödan, 1989).

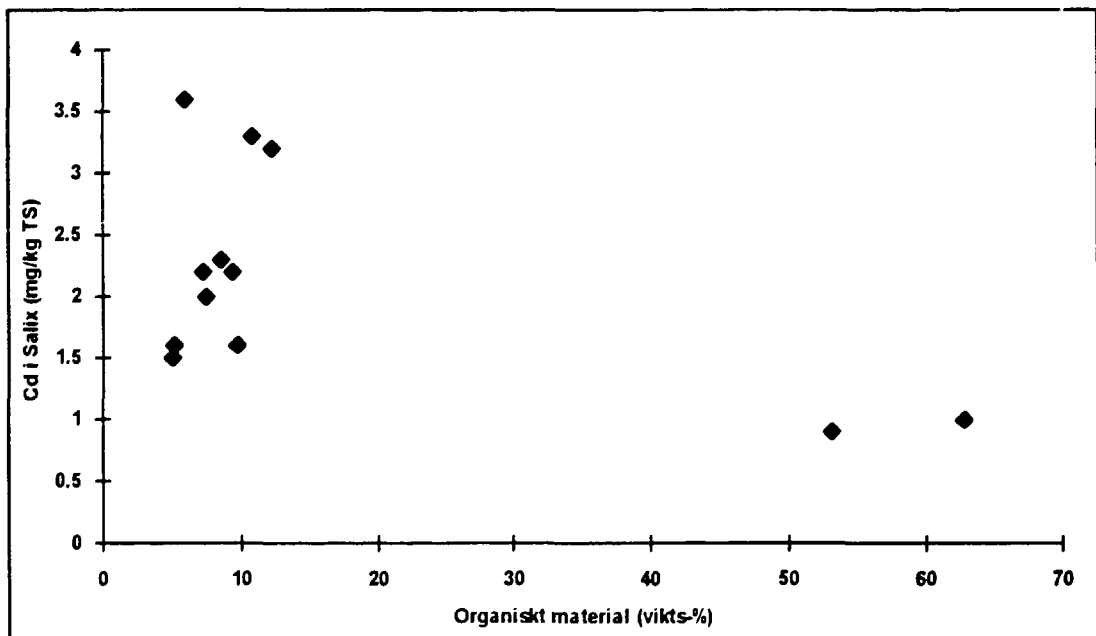
### 7.2.2. Framtida bortförel av kadmium via Salix

Potentialen för energiskogsodling i Sverige anges till 25 TWh per år och kräver en areal av 560 000 ha. Detta skulle innebära en bortförel av 12 ton kadmium per år istället för de 3 kilo som i nuläget tas upp från våra Salixodlingar. Jämför detta med hela åkerarealens tillförel av kadmium som är 3 ton. Jämför den nuvarande ökningen av kadmium till åkermark som är 1 g per ha med bortföreln vid Salixodling vilken är 21 g per ha och år. En ökad odling av Salix är ett mycket effektivt sätt att minska kadmiummängden i åkermark.

## 7.3. UPPTAGETS BEROENDE AV OLIKA MARKFAKTORER

### 7.3.1. Organiskt material i jorden

Organiska jordar har en hög jonbytes och bindningsförelåga. Detta medför att lösligheten i jorden minskar, och med minskad löslighet minskar även växtupptaget av kadmium (Eriksson 1990). Det finns därför anledning att vänta sig ett lägre upptag av kadmium vid en högre halt organiskt material. Resultaten stämmer till synes med förväntningarna, men det är rimligare att relatera upptaget till Cd-tillgången per ha.



Figur 7.3.1. Kadmiumupptag vid olika halt organiskt material.

Rena mulljordar har en mycket hög halt organiskt material (ca 50-60 %). Övriga åkerjordar vilka oftast är väl-dränerade och väl-luftade har en halt organiskt material på ca 4-5 %. Jordar med en halt av organiskt material mellan mulljord och jordar med låg halt organiskt material förekommer sällan.

Vid beräkning av den procentuella bortförelsen av kadmium från åkermarken har följande densitetsvärden använts:

mulljord: 0,1-0,5 kg / dm<sup>3</sup>

övrig jord (icke mulljord): 1,25 kg / dm<sup>3</sup>

Eftersom den stora mängden Salixrötter ligger ytligt (ner till 30 cm) och en större mängd kadmium ligger i matjordsskiktet än i alven har det antagits att kadmiumupptaget sker endast från matjordsskiktet (0-20 cm).

### 7.3.2. Bortförelse av Cd med Salix från åkermark (icke mulljord):

Växttillgängligt Cd: 0,079 mg / kg TS

Densitet: 1,25 kg/dm<sup>3</sup>

Mängd Cd i jorden: 0,079 mg/kg x 1,25 kg/dm<sup>3</sup>

$$\approx 99 \text{ mg Cd/m}^3$$

$$\approx 200 \text{ g Cd/ha}$$

Årligt Cd-upptag: 23 g Cd/ha år

**Procentuell kadmiumbortförelse!**

$$(23 \text{ g Cd/ha år}) / (200 \text{ g / ha}) = 0,115 = 11,5 \% \text{ per år}$$

### 7.3.3. Bortförelse av Cd med Salix från åkermark (mulljord):

Bortförelsen av Cd med Salix från åkermark (mulljord) varierar mellan 3-14 % enligt nedanstående beräkningar:

Växttillgängligt Cd: 0,36 mg/kg TS

Densitet: 0,1-0,5 kg/m<sup>3</sup>

Mängd Cd i jorden (Vid densiteten 0,1kg/dm<sup>3</sup>):

$$0,36 \text{ mg/kg TS} \times 0,1 \text{ kg/dm}^3$$

$$= 36 \text{ mg Cd/m}^3 \approx 72 \text{ g Cd/ha}$$

Mängd Cd i jorden (Vid densiteten 0,5 kg/dm<sup>3</sup>):

$$0,36 \text{ mg/kg TS} \times 0,5 \text{ kg/dm}^3$$

$$= 180 \text{ mg Cd/m}^3 \approx 360 \text{ g Cd/ha}$$

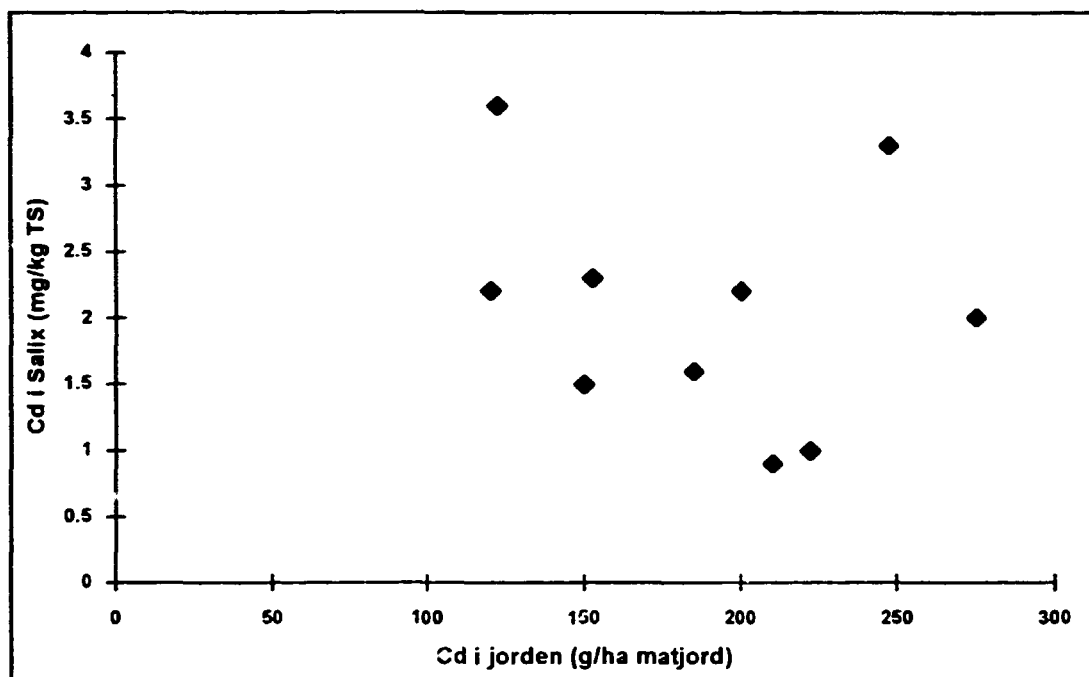
Årligt Cd-upptag: 10 g/ha år

**Procentuell kadmiumbortförelse!**

$$(10 \text{ g Cd/ha år}) / (360 \text{ g Cd/ha}) = 0,03 = 3 \% \text{ per år}$$

$$(10 \text{ g Cd/ha år}) / (72 \text{ g Cd/ha}) = 0,14 = 14 \% \text{ per år}$$

### 7.3.4. Växttillgänglig mängd kadmium i jorden



Figur 7.3.4. Kadmiumupptag vid olika mängd växttillgängligt kadmium i jorden.

Figur 7.3.4. visar hur mängden upptaget kadmium varierar med den växttillgängliga mängden kadmium i jorden. De två lägsta värdena på Salix kadmiumupptag (0,9 resp. 1,0 mg/kg TS) representerar jordar med mycket hög halt organiskt material vilket har en förmåga att binda kadmium. Detta kan förklara det låga upptaget trots den höga mängden kadmium i jorden. I övrigt är det svårt att dra några slutsatser ur diagrammet.

### 7.3.5. pH i jorden

Matjordens pH varierade från 4,9 upp till 7,0 (tabell 7.1.).

Salix klon 183 provtogs på varje provplats. Men inget samband mellan Cd-upptag och pH i matjorden kunde ses (tabell 7.3.5.)

Plats	pH i matjord (H <sub>2</sub> O) (0,01 M CaCl <sub>2</sub> )	Cd- Salix (klon 183) (mg/kg)	
Asker	5,5	5,1	1,0
Hedemora	6,2	5,7	1,5
Brunnby	6,5	5,9	3,3
Malmön	5,0	4,3	2,3
Yxtorp	6,3	5,8	1,6

Tabell 7.3.5. Kadmiumupptag vid olika pH

#### 7.4. ÅTERFÖRING ELLER DEPONERING AV ASKAN ?

Flygaska producerad vid förbränning av Salix innehåller höga halter kadmium och andra giftiga tungmetaller varför den inte får återföras till åkermark avsedd för odling av livsmedel. Återföring av askan till Salixodlingen kan däremot diskuteras. Askan innehåller för åkermarken viktiga mineralnäringsämnen. En återföring av dessa ämnen till åkermarken är önskvärd. Mindre gödsel behöver då tillföras odlingen, mindre mängd aska behöver deponeras, kretsloppet frångås inte och någon nettotillförsel av kadmium sker ej.

Möjligen kan askan återföras till Salixodlingen under några skördeomgångar för att slutligen deponeras. Denna återföringsprocess bör dock studeras noggrant så att kadmium inte via aska överförs till en mer lättillgänglig form i åkerjorden.

I framtiden är sameldning av Salix med andra biobränslen (t ex skogsflis) aktuell vilket medför att den producerade flygaskan vid sameldning kommer att innehålla högre halter kadmium än vid förbränning av enbart skogsflis. Ska denna aska spridas på skogsmarken ?

En spridning av askan på skogsmarken skulle innebära att kadmium flyttas från åker till skog utspädd över en större areal.

## 8. SLUTSATSER

Salix har en god förmåga, relativt andra grödor, att ta upp kadmium från åkermark. Kadmiumupptaget räknat per kg TS är 35 ggr större med Salix än med halm och energigräs. Salix kadmiumupptag varierar mellan 3-14 % av det växttillgängliga kadmiuminnehållet i marken. Den nuvarande ökningen av kadmium till åkermarken är 1 g/ha år medan bortförelsen vid Salixodling är hela 21 g/ha år.

Om Cd-upptaget är lika högt varje år förs sammanlagt 420 g Cd/ha bort när Salix odlas under en 20-års period. Detta är en mycket stor del av matjordens totala kadmiuminnehåll som i genomsnitt är 550 g/ha. Upptaget kan dock väntas minska med tiden och mängd bortförd kadmium.

I denna undersökning syns inga tydliga samband varken mellan Salix kadmiumupptag och jordens Cd-halt, halt organiskt material i jorden eller pH i jorden. Men om data bearbetas för varje klon separat och respektive jordtyp för sig kan ytterligare samband ses. Ytterligare forskning behövs för att klargöra hur Salix kadmiumupptag varierar vid olika jordförhållanden. En studie som följer Salix kadmiumupptag under en längre tidsperiod och som visar hur upptagningsförloppet ser ut, t ex om upptaget minskar med minskad Cd-halt i marken, vore intressant. En annan viktig fråga som kräver forskning är om Salix frigör kadmium som för andra växter är otillgängligt.



## **9. REFERENSER**

Agrobränsle, Informationsskrift. Örebro 1992.

Bingman, I. Tungmetaller-förekomst och omsättning i naturen. Helsingborg 1987.

Birgerson, B., Sterner, O., Zimerson, E., Kemiska hälsorisker. Toxikologi i kemiskt perspektiv. Stockholm 1989. ISBN 91-23-92593-0.

Diedrich, H. Slam och aska i energiodlingar. Vattenfall FUD- rapport U (B) 1992/16 ISSN 1100-5130. Stockholm 1992.

Eriksson, J. Personlig kontakt 1993.

Eriksson, J. Factors influencing Adsorption and Plant Uptake of Cadmium from Agricultural Soils. Uppsala 1990. ISBN 91-576-4111-0.

Freij, L. Rapport 8, Kemikalieinspektionen. Stockholm 1991. ISSN 0284-1185.

Greger, M. Energiskog som vegetationsfilter för slam, avloppsvatten, lakvatten och aska. Rapport från seminarium den 14:e november 1991, Ultuna, Uppsala (sid 51-57).

Greger, M. Miljö och hälsa nr.2. Stockholm 1989

Hägg, G. Allmän och oorganisk kemi. Uppsala 1989. ISBN 91-20-09015-3.

Industridepartementet. Energi, Hälso- miljö- och säkerhetsrisker. SOU 1978:49

Johansson, H. Personlig kontakt 1993.

Johansson, H., Sennerby-Forsse, L., Energiskog - handbok i praktisk odling. 1989.

Jordbruksdepartementet. Naturresursers nyttjande och hävd. SOU 1983:56.

Kilberg, Y. Personlig kontakt 1993.

Ledin, S. Personlig kontakt 1993.

SLV Rapport. Försurningens påverkan på kadmiumupptag i grödan - hälsorisker och behov av kalkning. En rapport från statens livsmedelsverk, lantbruksstyrelsen. 1989

SNV Rapport. Miljöprogram för kadmium. Naturvårdsverket 1987.

SNV Rapport. PM 1692. Statens naturvårdsverk. Solna 1983.  
ISBN 91-7590-130-7.

Tyler, G. Critical concentrations of heavy metals in the mor horizon of Swedish forests. Swedish Environmental Protection Agency, report 4078. 1992.

Ung Forskning nr 4, Tidsskrift, 1990.

Åbyhammar, T., Fahlin, M., Holmroos, S., Kadmium i biobränslesystemet.  
Vattenfall Utveckling. Rapport GU:V 92:83, 1992.

20 juni 1994

Tidigare utgivna rapporter inom  
Vattenfall - projekt Bioenergi

- Titel** : Trädbränsle och skogsekologi  
: **Projekt skogskraft rapport nr 1**  
**Förf.** : Lundborg A  
**FUD-nr** : U(B) 1990/38 Datum: 90-10-16 Sidantal: 33
- Titel** : Kolbalansberäkningar för bränsleuttag i skogsbruk  
: **Projekt skogskraft rapport nr 3**  
**Förf.** : Ågren G  
**FUD-nr** : U(B) 1990/39 Datum: 90-10-19 Sidantal: 14
- Titel** : Inventeringsstudie biobränslepotential i södra Sverige  
: **Projekt skogskraft rapport nr 2**  
**Förf.** : Danielsson B-O, Eriksson H, Eriksson M m fl  
**FUD-nr** : U(B) 1990/40 Datum: 90-10-18 Sidantal: 193
- Titel** : Förstudie av trädbränsleeldade demonstrationsanläggningar  
: **Projekt skogskraft rapport nr 4**  
**Förf.** : Westermark M  
**FUD-nr** : U(B) 1990/43 Datum: 90-10-19 Sidantal: 118
- Titel** : Tillvaratagande av skogsbränsle som träddeklar och slutavverkningsrester  
: **- system, maskiner, metoder och kostnader**  
**Förf.** : Brunberg B  
**FUD-nr** : U(B) 1991/17 Datum: 91-02-25 Sidantal: 56
- Titel** : **Bränsle från skogen**  
**Förf.** : Andersson B  
**FUD-nr** : U(B) 1991/18 Datum: 91-02-25 Sidantal: 41
- Titel** : Ny avverknings teknik för lägre skogsbränslekostnader  
: **Projekt skogskraft nr 5**  
**Förf.** : Jörgenson K G  
**FUD-nr** : U(B) 1991/21 Datum: 91-03-06 Sidantal: 67

- Titel : Trädbränsle till Nässjö KVV  
(Kraftvärmeverk)**  
**Förf. : Johansson R, Lindblom A**  
**FUD-nr : U(B) 1991/24 Datum: 91-03-26 Sidantal: 55**
- Titel : Biobränslen i det svenska energisystemet, en modellstudie**  
**Förf. : Boman U**  
**FUD-nr : U(B) 1991/33 Datum: 91-05-22 Sidantal: 47**
- Titel : Odling av lövträd på åkermark för energiändamål**  
**Förf. : Johansson T**  
**FUD-nr : U(B) 1991/36 Datum: 91-05-25 Sidantal: 30**
- Titel : Atmosfärisk förgasning - diesel**  
**Förf. : Ekström C**  
**FUD-nr : U(B) 1991/37 Datum: 91-06-13 Sidantal: 23**
- Titel : Bränslekaraktärisering - Kväveföreningar  
Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf. : Johansson J**  
**FUD-nr : U(B) 1991/39 Datum: 91-06-04 Sidantal: 34**
- Titel : Alkali och klor i biomassa - ett problem vid elgenerering  
Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf. : Gärdenäs S**  
**FUD-nr : U(B) 1991/40 Datum: 91-06-04 Sidantal: 43**
- Titel : Halm som bränsle för framtida elproduktion - en samman-  
fattning av dagsläget. Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf. : Axenbom Å, Kristensen D, Praks O**  
**FUD-nr : U(B) 1991/44 Datum: 91-08-01 Sidantal: 84**
- Titel : Kraftvärme från energigrödor.  
Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf. : Sieurin J, Augustinsson H**  
**FUD-nr : U(B) 1991/45 Datum: 91-05-30 Sidantal: 45**

- Titel : Vedaska i skogen.**  
**Förf. : Eriksson J, Börjesson**  
**FUD-nr : U(B) 1991/46 Datum: 91-08-29 Sidantal: 77**
- Titel : Trädbränsle från sågverk.**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 6.**  
**Förf. : Thörnqvist T, Kyrkjeeide A**  
**FUD-nr : U(B) 1991/52 Datum: 91-08-23 Sidantal: 18**
- Titel : Transportsystem för bibränslen.**  
**Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf. : Staland P, Westerberg D**  
**FUD-nr : U(B) 1991/53 Datum: 91-09-04 Sidantal: 85**
- Titel : Fjärrvärme i Fellingsbro.**  
**Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf : Alsén L, Swahn H**  
**FUD-nr : U(B) 1991/54 Datum: 91-06-07 Sidantal: 33**
- Titel : Ekonomi och projektredovisning**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 7.**  
**Förf : Olsson A**  
**FUD-nr : U(B) 1991/55 Datum: 91-09-12 Sidantal: 67**
- Titel : Biobränsleaskans sintringsegenskaper, bedömning**  
**med hjälp av tillståndsdigram.**  
**Förf : Ryding B**  
**FUD-nr : U(B) 1991/57 Datum: 91-08-14 Sidantal: 47**
- Titel : Produktion och förädling av bränslen vid skogs-**  
**industrin - möjligheter och förutsättningar.**  
**Förf : Magnusson L**  
**FUD-nr : U(B) 1991/58 Datum: 91-08-23 Sidantal: 50**
- Titel : Biogas för värme, el-, och drivmedelsproduktion.**  
**Förf : Ström E, Ekeborg T**  
**FUD-nr : U(B) 1991/59 Datum: 91-09-23 Sidantal: 110**

**Titel : Vegaprojektet**  
**Förf : Aronsson I**  
**FUD-nr : U(B) 1991/62** Datum: 91-10-25 Sidantal: 27

**Titel : Resultatrapport december 1991**  
**Förf : UB**  
**FUD-nr : U(B) 1991/64** Datum: 91-12-31 Sidantal: 50

**Titel : Biobränslebaserad metanol och etanol som bränsle.**  
**Förf : Ekström C, Ström E, Bengtsson A, Brandberg Å**  
**FUD-nr : U(B) 1991/66** Datum: 91-11-25 Sidantal: 59

**Titel : Teknik för gröndelsavskiljning samt näringsinnehållet i gröndelarna.  
Projekt skogskraft rapport nr 8**  
**Förf : Hedman G, Westerberg I, Lindquist H**  
**FUD-nr : U(B) 1991/69** Datum: 91-12-15 Sidantal: 30

**Titel : Närvärme från energiskog - En affärsidé för lantbruksföretaget.  
Samarbete med LRF/SLR.**  
**Förf : Rosenkvist H, Uhlin H E**  
**FUD-nr : U(B) 1992/2** Datum: 92-01-07 Sidantal: 116

**Titel : Gränsdiameterns inverkan på skogsbränsletillgången.  
Projekt Skogskraft rapport nr 9.**  
**Förf : Danielsson B-O**  
**FUD-nr : U (B) 1992/5** Datum: 92-02-26 Sidantal: 19

**Titel : Avverkning i lövbestånd anlagda på jordbruksmark.**  
**Förf : Björheden R**  
**FUD-nr : U(B) 1992/6** Datum: 92-02-22 Sidantal: 30

**Titel : Plantöverlevnad och tillväxt efter helträdsutnyttjande  
- sammanställning av fältförsök.**  
**Förf : Sinclair E, Leijon B, Albrektson A**  
**FUD-nr : U(B) 1992/7** Datum: 92-02-28 Sidantal: 113

- Titel : Råvarubalans och logistik för kraftvärmeverk i Skövde.**  
**Förf : Eriksson Ola**  
**FUD-nr : U(B) 1992/11 Datum: 92-05-04 Sidantal: 56**
- Titel : Slam och aska i energiodlingar.**  
**Förf : Diedrich Helena**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**FUD-nr : U(B) 1992/12 Datum: 92-04-08 Sidantal: 77**
- Titel : Beräkningar av näringsbalanser och kväveförluster vid helträdsutnyttjande.**  
**Förf : Wikström Fredrik**  
**FUD-nr : U(B) 1992/16 Datum: 92-05-18 Sidantal: 19**
- Titel : Granulerade vedaskors upplösning i skogsmark.**  
**Förf : Börjesson Pål**  
**FUD-nr : U(B) 1992/17 Datum: 92-06-26 Sidantal: 30**
- Titel : Biobränslets roll i Skaraborgs energisystem.**  
**Förf : Boman Ulf, Rosell Maria**  
**FUD-nr : U(B) 1992/18 Datum: 92-04-30 Sidantal: 53**
- Titel : Förbränningsanläggningar för trädbränsle - en databas.**  
**Förf : Gustafsson Bernt**  
**FUD-nr : U(B) 1992/19 Datum: 92-06-17 Sidantal: 34**
- Titel : Odling av lövträd på åkermark för energiändamål - del 2. Torrsubstansproduktion hos 10-120 mm grova träd av al, asp och björk.**  
**Förf : Johansson Tord**  
**FUD-nr : U(B) 1992/21 Datum: 1992-06-23 Sidantal: 25**
- Titel : Bioflex. Ett geografiskt informationssystem för analys av regional biobränslemarknader. Exempel Västerbotten.**  
**Förf : Nordlander S, Staffansson H, Westholm E**  
**FUD-nr : U(B) 1992/22 Datum: 1992-06-09 Sidantal: 57**

Titel : **Från åkermark till elektricitet.**  
Förf : Sundell P, Ekeborg T  
FUD-nr : U(B) 1992/23 Datum: 1992-06-03 Sidantal: 126

Titel : **Tekniker och metoder att i fält mäta fukthalt i bränsleflis.**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 10**  
Förf : Andersson C, Yngvesson M  
FUD-nr : U(B) 1992/26 Datum: 1992-09-15 Sidantal: 28

Titel : **INGA-projektet**  
Förf : Bergman J  
FUD-nr : U(B) 1992/27 Datum: 1992-09-16 Sidantal: 20

Titel : **Skogsenergens konsekvenser för floran.**  
Förf : Kruuse A  
FUD-nr : U(B) 1992/29 Datum: 1992-09-24 Sidantal: 37

Titel : **Biobränslebaserat metanol-/elkombinat - översiktlig studie**  
Förf : Ekström C, Kopp F  
FUD-nr : U(B) 1992/30 Datum: 1992-08-31 Sidantal: 29

Titel : **Trädjordbruk**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
Förf : Falk B  
FUD-nr : U(B) 1992/31 Datum: 1992-07-13 Sidantal: 41

Titel : **Trädbränslen i Sverige 1800-1990 - användning och prisutveckling.**  
Förf : Schön L  
FUD-nr : U(B) 1992/32 Datum: 1992-09-30 Sidantal: 41

Titel : **Miljöeffekter vid biobränsletorkning**  
Förf : Nyrén C  
FUD-nr : U(B) 1992/33 Datum: 1992-09-30 Sidantal: 81

Titel : **Teknik för tillvaratagande av röjningsvirke**  
**Projekt Skogskraft nr 11**  
Förf : Jonsson M, Kjellberg M, Lindholm D  
FUD-nr : U(B) 1992/34 Datum: 1992-09-30 Sidantal: 162



**Titel : Bränsletorkning eller rökgaskondensering vid kraftvärmeproduktion?**  
**Förf : Odeberg J**  
**FUD-nr : U(B) 1992/35** Datum: 1992-10-01 Sidantal: 79

**Titel : ADA-projektet**  
**Förf : Bergman J, Petsén O**  
**FUD-nr : U(B) 1992/42** Datum: 1992-10-07 Sidantal: 13

**Titel : HYDRA-projektet**  
**Förf : Bergman J**  
**FUD-nr : U(B) 1992/43** Datum: 1992-10-07 Sidantal: 18

**Titel : Svavel- och koldioxidrening**  
**Förf : Lindberg A**  
**FUD-nr : U(B) 1992 /44** Datum: 1992-11-23 Sidantal: 77

**Titel : Komprimering av trädrester vid transport**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 12**  
**Förf : Nordén B, Jonsson T**  
**FUD-nr : U(B) 1992/45** Datum: 1992-11-27 Sidantal: 38

**Titel : Långväga transport av biobränsle till VEGA**  
**Förf : Brunberg B**  
**FUD-nr : U(B) 1992/46** Datum: 1992-12-01 Sidantal: 61

**Titel : Förädlade biobränslen - En inventering av den svenska marknaden**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**Förf : Sieurin J**  
**FUD-nr : U(B) 1992/47** Datum: 1992-11-06 Sidantal: 26

**Titel : Karakterisering av vedaska**  
**Förf : Eriksson J**  
**FUD-nr : U(B) 1992/48** Datum: 1992-12-21 Sidantal: 38

**Titel : Prisbildning på biobränslen - förstudie**  
**Förf : Hedman J**  
**FUD-nr : U(B) 1992/50** Datum: 1992-12-22 Sidantal: 35

- Titel** : **Energigrödor för biogas**  
**Förf** : **Thyselius L, Johansson W, Mattsson L, Wallgren B**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**FUD-nr** : **U(B) 1992/51**                      **Datum:** 1992-11-23                      **Sidantal:**63
- Titel** : **Bioenergins miljö- och hälsoeffekter.**  
**Förf** : **Rosén-Lidholm S, Sundell P, Dahlberg H**  
**Welander L, Miljökonserterna**  
**FUD-nr** : **U(B) 1992/52**                      **Datum:** 1992-06-30                      **Sidantal:** 141
- Titel** : **Prisbildning på biobränslen i Västsverige**  
**Förf** : **Åstrand Å**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/1**                      **Datum:** 1993-01-12                      **Sidantal:** 18
- Titel** : **Fallförna samt mängd organiskt material i skogsmark**  
**Förf** : **Reurslag A, Berg B**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/2**                      **Datum:** 1993-01-20                      **Sidantal:** 116
- Titel** : **Biobränsleeldad kraftvärme i ett stort fjärrvärmesystem - systemstudier med energisystemmodellen Martes**  
**Förf** : **Ryding B**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/3**                      **Datum:** 1993-01-25                      **Sidantal:** 41
- Titel** : **Salixflis- eller oljeenergisystem - en samhällsekonomisk jämförelse.**  
**Förf** : **Olandersson B**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/6**                      **Datum:** 1993-01-29                      **Sidantal:** 70
- Titel** : **Konkurrenssituationer för biobränsle i USA**  
**Förf** : **Järmyr A-K**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/7**                      **Datum:** 1993-03-01                      **Sidantal:** 34
- Titel** : **Arbetsmiljön vid uttag, hantering och förbränning av biobränslen**  
**Förf** : **Dahlberg H**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/8**                      **Datum:** 1993-03-11                      **Sidantal:** 59
- Titel** : **Poppelplantager som biomassaproducenter**  
**Förf** : **Telenius B, Elowson S, Christersson L**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/9**                      **Datum:** 1993-03-12                      **Sidantal:** 20

- Titel : Skogsbränsle minskar kvävebelastningen**  
**Förf : Lundborg A**  
**FUD-nr : U(B) 1993/10 Datum: 1993-03-12 Sidantal: 76**
- Titel : Modifierad totalstegskalkyl**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**Förf : Rosenkvist H**  
**FUD-nr : U(B) 1993/11 Datum: 1993-03-12 Sidantal: 138**
- Titel : Beräknad betalformåga för förädlade fasta bränslen från jordbruket.**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**Förf : Hadders G, Ekeborg T, Sieurin J**  
**FUD-nr : U(B) 1993/12 Datum: 1993-03-04 Sidantal: 77**
- Titel : Kadmium i biobränslesystemet**  
**Förf : Åbyhammar T, Fahlin M, Holmroos S**  
**FUD-nr : U(B) 1993/13 Datum: 1993-03-22 Sidantal: 106**
- Titel : Regional energisystemstudie i Mälardalen**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**Förf : Rosell M**  
**FUD-nr : U(B) 1993/14 Datum: 1993-03-25 Sidantal: 90**
- Titel : Vågutrustning på flisare**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 13**  
**Förf. : Nordén B**  
**FUD-nr : U(B) 1993/15 Datum: 1993-05-07 Sidantal: 31**
- Titel : Statliga styrmedel på marknader för biobränslen i ett historiskt perspektiv**  
**Förf. : Schön L**  
**FUD-nr : U(B) 1993/16 Datum: 1993-05-13 Sidantal: 43**
- Titel : Skogsbränsleuttag vid gallring**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 14**  
**Förf. : Brunberg B, Persson J**  
**FUD-nr : U(B) 1993/17 Datum: 1993-06-16 Sidantal: 75**
- Titel : Miljökonsekvensbeskrivning: "Från vaggan till graven - fallstudie VEGA"**  
**Förf. : Setzman E, Brännström-Norberg B M, Rosén-Lidholm S**  
**FUD-nr : U(B) 1993/18 Datum: 1993-06-09 Sidantal: 120**

- Titel :** **Import av biobränslen och torv.**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 15**  
**Förf. :** Albertsson N  
**FUD-nr :** U(B) 1993/19                      **Datum:** 1993-06-30                      **Sidantal:** 50
- Titel :** **Resultatrapport 1992**  
**Förf. :** Projekt Bioenergi  
**FUD-nr :** U(B) 1993/20                      **Datum:** 1993-06-30                      **Sidantal:** 90
- Titel :** **Terminallagring av bränsleflis**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 16**  
**Förf. :** Jiris R, Lehtikangas P, Oskarsson R  
**FUD-nr :** U(B) 1993/21                      **Datum:** 1993-06-30                      **Sidantal:** 45
- Titel :** **Lagring av buntade hyggesrester av barrträd**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 17**  
**Förf. :** Lehtikangas P, Jirjis R  
**FUD-nr :** U(B) 1993/22                      **Datum:** 1993-08-31                      **Sidantal:** 23
- Titel :** **Småträdsbränsle i sydsvensk slutavverkning**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 18**  
**Förf. :** Laestadius L  
**FUD-nr :** U(B) 1993/23                      **Datum:** 1993-09-15                      **Sidantal:** 65
- Titel :** **Fukthaltsbestämning i avverkningsrester**  
**Projekt Skogskraft rapport nr 19**  
**Förf. :** Yngvesson M  
**FUD-nr :** U(B) 1993/24                      **Datum:** 1993-10-20                      **Sidantal:** 53
- Titel :** **Lagerstudier med Salixbränsle - Kraftvärmeverk som kund.**  
**Samarbete med LRF/SLR**  
**Förf. :** Gärdenäs S  
**FUD-nr :** U(B) 1993/25                      **Datum:** 1993-10-26                      **Sidantal:** 56
- Titel :** **Tungmetallanalyser av mossor och bäckvattenväxter i norra Estland.**  
**Förf. :** Wikberger C, Palm H  
**FUD-nr :** U(B) 1993/26                      **Datum:** 93-11-08                      **Sidantal:** 37

**Titel** : **Biobränslebaserade bränsleceller**  
**Förf.** : **Ramsköld A**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/27**                      **Datum:** 93-07-05                      **Sidantal:** 57

**Titel** : **Mängd trädrester efter trädbränsleskörd**  
**Förf.** :  
**FUD-nr** : **U(B) 1993/28**                      **Datum:**                      **Sidantal:**

**Titel** : **Regional försörjning av flis från åker och skog - En systemanalys**  
**Förf.** : **Hans Erik Uhlin, Dan Westerberg, Bertil Johansson, Birgitta Olandersson**  
**FUD-nr** : **U(B) 1993-29**                      **Datum:** 1994-03-08                      **Sidantal:** 39

**Titel** : **Metanol och etanol ur träråvara - Huvudrapport**  
**Förf.** : **Nils Elam, Clas Ekström, Anders Östman, Erik Rensfelt**  
**FUD-nr** : **1994/1**                      **Datum:** 1994-06-02                      **Sidantal:** 80

**Titel** : **Metanol och etanol ur träråvara - Bilagor**  
**Förf.** : **Nils Elam, Clas Ekström, Anders Östman, Erik Rensfelt**  
**FUD-nr** : **1994/2**                      **Datum:** 1994-06-02                      **Sidantal:** 128

**Titel** : **Analys av miljökonsekvenser för ett kraftvärmeverk eldat med Salix  
- Jämförelse med miljökonsekvenserna för kol och skogsbränsle**  
**Förf.** : **Britt-Marie Brännström-Norberg, Susanne Rosén-Lidholm,  
Cecilia Tärnström**  
**FUD-nr** : **1994/3**                      **Datum:** 1994-06-06                      **Sidantal:** 93

**Titel** : **Biobränsle från skog till panna**  
**Förf.** : **Sebastian Örjenfelt**  
**FUD-nr** : **1994/4**                      **Datum:** 1994-06-07                      **Sidantal:** 48

**Titel** : **Kadmium i Salix**  
**Förf.** : **Gölin Östman**  
**FUD-nr** : **1994/5**                      **Datum:** 1994-06-16                      **Sidantal:** 22

**Titel** : **Skogsbränsle, aska och ekologi**  
**Förf.** : **Anna Lundborg**  
**FUD-nr** : **1994/6**                      **Datum:** 1994-06-20                      **Sidantal:** 49

