

Omsättning av metaller i slamgödslad **Salixodling**

*Ingemar Lundström
Kenth Hasselgren*



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Ola Burström, ordförande

Olof Bergstedt

Roger Bergström

Stefan Marklund

Mikael Medelberg

Peter Stahre

Jan Söderström

Göran Tägtström

Agneta Åkerberg

Skellefteå

Göteborgs VA-verk

Svenskt Vatten AB

Luleå

Roslagsvatten AB

VA-verket Malmö

Sv kommunförbundet

Borlänge

Falkenberg

Steinar Nybruket, adjungerad

Thomas Hellström, sekreterare

NORVAR, Norge

Svenskt Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Omsättning av metaller i slamgödslad Salixodling
Title of the report:	Metal flow in willow biomass plantations fertilised with biosolids
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2003-47
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-85159-13-1
Författare:	Ingemar Lundström och Kenth Hasselgren, SWECO VIAK AB, Malmö
VA-Forsk projekt nr:	22-124
Projektets namn:	Rening av metaller i avloppsslam och mark genom upptag i Salixodling
Projektets finansiering:	VA-Forsk, Landskrona kommun, Helsingborgs kommun, Örebro kommun, Nordvästra Skånes Renhållnings AB
Rapportens omfattning Sidantal:	43
Format:	A4
Sökord:	Avloppsslam, energiskog, fyto Remediering, metallupptag, Salix, slamgödsling
Keywords:	Biosolids, energy forestry, metal extraction, phytoremediation, Salix, sewage sludge, willow
Sammandrag:	Metaller har karterats i slamgödslade Salixodlingar i Skåne och Örebro län. Kadmium och även zink tas upp i stamved hos Salix i högre grad än vad som tillförs med slammet, dvs. det sker en nettobortförsel av dessa metaller i den odlade marken. För andra metaller sker en nettoackumulering i marken, dock i mindre omfattning jämfört med odling med konventionella jordbruksgrödor.
Abstract:	Metals were mapped in commercial willow (Salix) biomass plantations fertilised with sewage sludge. Cadmium and also zinc was taken up in Salix stems to a larger extent than was applied with the sludge, i.e. a net withdrawal takes place. Other investigated metals were accumulated in the soil, but to a lesser extent than sludge fertilisation of conventional arable crops.
Målgrupper:	Tjänstemän på kommuner, länsstyrelser och statliga verk inom VA-, miljö-, avfalls- och energiområdet samt jordbrukare, energiskogsodlare, lantbruksorganisationer, forskare och miljöjournalister
Omslagsbild:	Salixkrona, Foto: Stig Larsson, Agrobränsle AB
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2003
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Föreliggande rapport avser delredovisning av ett större projekt som delfinansieras av VA-Forsk. Övriga finansiärer är Landskrona kommun, Örebro kommun, Helsingborgs stad och Nordvästra Skånes Renhållningsbolag (NSR) AB.

Delprojektet syftar till att bidra till ökade kunskaper kring omsättningen av metaller i energiskog (Salixodlingar) som gödslas med kommunalt avloppsslam. Kommersiella slamgödslade Salixodlingar i Skåne län och Örebro län har ingått i undersökningen. Provtagningar för analys av metaller i jord och växt genomfördes under vintern 2002/2003.

Projektgruppen består av Björn Alvéen och Kåre Larsson (Landskrona kommun), Staffan Persson, Lars-Erik Jönsson och Åsa Erlandsson (Helsingborgs stad), Leif Eriksson (Örebro kommun), Jessica Cedervall (NSR AB), Stig Larsson (Agrobränsle AB) samt Ingemar Lundström och Kenth Hasselgren (SWECO VIAK AB). De två sistnämnda har svarat för utvärdering och rapportskrivning.

Projektgruppen vill framföra ett stort tack till de lantbrukare som upplåtit sina odlingar för provtagningar inom projektet. Ett tack riktas också till Hushållnings-sällskapen i Skåne och Örebro samt Rolf Slagbrand (Agrobränsle AB) som svarat för provtagningar och uppgiftsinsamling.

Landskrona i september 2003

Björn Alvéen
Projektledare

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	7
Summary	8
1 Inledning	9
2 Syfte och mål	10
3 Genomförande	10
3.1 Information om aktuella Salixodlingar	10
3.2 Provtagningar och analyser	12
3.2.1 Jord	12
3.2.2 Stamved	12
4 Resultat och diskussion	13
4.1 Metall- och näringstillförsel med avloppsslam	13
4.2 Metallinnehåll i mark	14
4.3 Biomassatillväxt	16
4.4 Metallinnehåll i Salixved	17
4.4.1 Koncentration och areellt upptag	17
4.4.2 Jämförelse med andra grödor	18
4.5 Metallbalanser	19
4.5.1 Generella resultat	19
4.5.2 Kadmiumbudget	23
4.5.3 Blybudget	25
4.5.4 Kopparbudget	26
5 Potentialer	27
5.1 Effektivare växtmaterial	27
5.2 Metallhalter i slam	29
5.3 Salixodling i Sverige och övriga Europa	30
5.4 Avloppsslam som resurs i Salixodling	30
6 Slutsatser	32
7 Referenser	34
Bilagor 1–10	36

Sammanfattning

Merparten av avloppsslammet i Sverige klarar de internationellt sett höga kvalitetskraven för spridning i jordbruket. Trots detta minskar den traditionella åkermarksanvändningen stadigt. Ett undantag utgör energiskog (Salixodling). Ca 10 % av allt avloppsslam från landets kommunala reningsverk (omkring 100 000 ton avvattnat slam/år) tillförs uppskattningsvis drygt hälften av Salixarealen i landet. Ett skäl till det ökade intresset är att Salixbönderna ser goda effekter av slamtillförseln. Ett annat är att Salixgrödan inte ingår i livsmedelsproduktionen.

Tidigare studier har indikerat att Salix verkar ha en naturlig förmåga att omsätta metaller i högre grad än många andra växter. Detta är en betydelsefull bieffekt som kan bidra till att kreditera slamanvändning i energiskog som ett uthålligt och miljövänligt alternativ till annan slamhantering. Det primära målet med projektet har varit att försöka klarlägga den praktiska omfattningen av metallupptag i Salixved genom direkta mätningar i skördemogen slamgödslad energiskog som odlas kommersiellt. Ett 20-tal odlingar i Skåne och Örebro län har ingått i undersökningen.

Upptaget i Salix av de nio undersökta metallerna: silver (Ag), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn) och zink (Zn), var överlag högre än i konventionella jordbruksgrödor. En ökad Salixareal på bekostnad av traditionella jordbruksgrödor innebär således möjligheter att uppnå en minskad ackumulation och minskade halter av metaller i den svenska åkermarken.

Upptaget av Cd i stamveden hos Salix var klart större (ca 10 ggr) än tillförseln av Cd med slammet vid en normal slamgiva. Även om den atmosfäriska depositionen inkluderas sker nettobortförsel av kadmium från jordprofilen. Detta innebär att en Salixgröda kan fungera som reningsfilter för kadmiumbelastad åkermark samtidigt som slammets innehåll av näringsämnen och mullbildande ämnen kan tillgodogöras. Upptaget av Zn i Salix balanserade i stort tillförseln med slammet medan för övriga studerade metaller upptaget i Salixveden var lägre än tillförseln via slammet. Den fortgående förädlingen av Salixkloner mot mer högproducerande plantmaterial leder till ett generellt högre metallupptag i Salixbestånd på sikt.

Slamtillförsel i Salixodling skiljer sig inte nämnvärt från traditionell slamgödsling. Exempelvis är näringsbehovet och därmed slamgivorna av samma storleksordning. En slutsats är att slam från de svenska reningsverken skulle kunna försörja den bedömda framtida energiskogsarealen i landet (100 000-tals ha) fullt ut med fosfor och en del av det övriga näringsbehovet förutom att bidra till ett ökat mullkapital.

Till följd av att metallomsättningen i slamgödslade Salixbestånd uppvisar stora skillnader jämfört med andra jordbruksgrödor föreslås att en översyn initieras avseende nuvarande riktlinjer och regelverk för slamutnyttjande på produktiv mark. I denna översyn bör även inkluderas en värdering av de skillnader i avkastning och därmed närings- och metallomsättning som råder för grödor i allmänhet mellan olika klimatzoner i landet.

Summary

Despite the main part of the sewage sludge (biosolids) production in Sweden meets the high quality requirements set up for recycling in agriculture, amounts of sludge spread to traditional crops are decreasing. This is mainly due to the negative attitude within the food industry to sludge use. However, sludge managers gradually develop other routes of sludge disposal.

For instance, sludge fertilisation of willow (*Salix*) plantations for biofuel production has increased in recent years. Today, ca 10 % of all sludge (ca 100 000 tonnes of dewatered sludge, 20 % DS) from the municipal wastewater treatment plants is recovered and used in commercial willow biomass plantations in the country. One explanation to the increase is that the willow farmers measure positive effects after sludge application. Another reason may be that this energy crop is excluded from the food industry business.

The primary project objective is to clarify the practical extent of uptake of heavy metals in *Salix* wood through direct measurements of commercial willow plantations fertilised with biosolids. Some 20 plantations in Skåne and Örebro counties (south Sweden) were included in the investigation.

In general, uptake rates in the *Salix* crop of the metals silver (Ag), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), lead (Pb), tin (Sn) and zinc (Zn), were high compared to traditional agricultural crops. Hence, increased willow acreage at the expense of conventional crops would result in lower metal accumulation rates and lower concentrations of metals in arable soils.

Uptake of Cd in *Salix* stems was greatly exceeding (ca 10 times) the application of Cd with sludge (general sludge type and application rates), also including atmospheric deposition of Cd. This means that a willow crop fertilised with sludge could work as a biological filter for remediation of Cd contaminated land. Uptake of Zn in *Salix* was fairly well balanced with the Zn application with sludge, whereas for other metals uptake in *Salix* wood was lower than the amount added with biosolids. The continuing Swedish breeding programme of *Salix* towards high-productive plant material will result in higher metal uptake in willow plantations established from now on.

Sludge from the Swedish wastewater treatment plants can potentially supply the future willow-to-energy plantations (100 000's of hectares) in the country with full amounts of phosphorus and with parts of the other nutrient requirement. Further, application of biosolids increases the content of organic matter in the soil.

It is suggested a revision of the regulations and guidelines governing sludge application to land, due to differences of metal uptake patterns between *Salix* and other agricultural crops. Also, the effects of different uptake rates of nutrients and metals depending on various growth rates in different parts of the country should be considered in future guidelines and regulations.

1 Inledning

Kvalitetskraven för avloppsslam i Sverige är bland de hårdaste i världen. Genom kommunernas målmedvetna och effektiva arbete med bl.a. kontroll av industriutsläppen till avloppsnäten och bortkoppling av förorenade dagvatten och lakvatten, är slammet på de allra flesta håll i landet formellt godkänt för spridning inom jordbruket. Den traditionella "slammarknaden" är ändå av olika skäl fortsatt negativ till spridning i det konventionella jordbruket medan däremot slamgödsling av energiskog, Salixodlingar, har en avsevärt högre acceptans.

Idag finns det omkring 15 000 ha Salixodlingar i Sverige och merparten av dessa är sannolikt mottagare av slam. Omkring 10 % av slammängden i landet, ca 100 000 ton avvattnat slam per år, utnyttjas i energiskogsodling (Alvén et al, 2003). Regionalt kan andelen vara ännu högre. I Örebro kommun gick under 2002 omkring 75 % av slammet till Salix, en andel som har ökat till nästan 100 % under 2003. Anledningarna till den positiva inställningen till slamanvändning i Salixodlingar är troligen att:

1. Salix som energigröda ingår inte i livsmedelsproduktionen.
2. Befintliga rutiner för slammets omhändertagande kan bibehållas.
3. Slamresursen ersätter i hög grad annars erforderliga handelsgödselmedel, särskilt fosfor, och bidrar till ökad mullhalt.
4. Slamgödsling av Salix sker på våren efter skörd vilket medför lägre risker för utlakning av näringsämnen och ett högre resursutnyttjande jämfört med traditionell slamspridning.
5. En hållbar återvinning av slam möjliggörs som alternativ till förbränning, deponering eller annan resurskrävande hantering.

I punkten 5 ovan inkluderas potentialen att utnyttja Salixgrödan som metallreningsfilter för slam och mark. Det finns en rad indikationer från försök som visar på förmågan hos Salix att omsätta metaller i förhållandevis hög omfattning (t.ex. Greger och Landberg, 1999; Bertholdsson, 2001; Hasselgren, 2003a). Förmågan hos Salix att ta upp metaller i högre grad än många andra växter har därför börjat utnyttjas på flera håll. För ca 10 år sedan lanserades det engelska begreppet 'phytoremediation' ('phyto' = växt; 'remediation' = ung. rening, sanering, dekontaminering) som i vid mening står för behandling/rening/sanering med hjälp av växter av vatten, jord, slam, sediment eller annat medium som är förorenat/kontaminerat. Ibland används det försvenskade begreppet fytoremediering.

Projektgruppen har bedömt att det finns goda möjligheter att med en behovsanpassad slamgödsling med hänsyn till fosforbehovet uppnå en hållbar nettobortförsel av vissa metaller från marken via den skördade energiskogen, alternativt en

miljömässigt acceptabel tillförsel/ackumulation av andra metaller. En arbetshypotes är därför att slamgödslad Salixodling har utsikter att svara upp mot god uthållighet avseende återvinning av resursinnehållet i slam i kombination med fyto Remediering av metaller i slam och åkermark.

2 Syfte och mål

Undersökningen syftar primärt till att öka kunskaperna kring metallomsättningen i slamgödslad Salixodling. Vid en enkät till landets länsstyrelser och kommunala miljökontor hösten 2001, angående uppfattningen om användning av kommunala restprodukter i energiskogsodling, uttrycktes som ett genomgående önskemål mer kunskap om metallupptag/metallackumulation i ”Restproduktbaserad Salixodling” (Hasselgren, 2003b).

Hittills har i allt väsentligt genomförda undersökningar baserats på mätningar i laboratoriet och mindre försöksfält varvid metallaspekten ofta utgjort en mindre del i ett större projekt. En övergripande metallkartering i kommersiella Salixbestånd som slamgödslats motiveras av det faktum att en stor andel av landets slamproduktion går ut som gödselmedel i energiskog och att denna andel tenderar öka.

Det primära målet med undersökningen är att genom fältmätningar skapa underlag för bedömningar av betydelsen av Salix som ackumulerare av tungmetaller.

3 Genomförande

3.1 Information om aktuella Salixodlingar

Ett tjugotal Salixodlingar i Skåne och Örebroområdet som gödslats med kommunalt avloppsslam har vintern 2002/2003 undersökts med avseende på metallstatus i mark och stamved. Underlagsdata från odlingarna som ingått i undersökningen framgår av Bilaga 1.

Odlingarna valdes ut med hänsyn till god kännedom kring slamgödslingen avseende slammets sammansättning och den totalt tillförda mängden slam. Vidare

finns dokumenterat aktuell areal, planteringstidpunkt, aktuella kloner, tidpunkt för slamspridning, skördetidpunkter samt skördeutfall.

Markstatusen kan betecknas som något under ”normal” åkermark med medelgod vattentillgång. Dock är variationen stor mellan de undersökta odlingarna. Den totala odlingsarealen som representeras i undersökningen uppgår till drygt 140 ha med den genomsnittliga skiftesstorleken ca 8 ha i Skåne och ca 5 ha i Örebro.

Salix har planterats under perioden 1989–2000. De flesta av odlingarna är dock planterade mellan 1990 och 1996. Odlingarna i Skåne är något yngre än odlingarna i Örebro. Planteringsår i Skåne är i allmänhet 1995/1996 medan majoriteten av odlingarna i Örebro är planterade 1990/1991. De flesta av odlingarna var vid provtagningstidpunkten inne på slutet av det andra omdrevet (skördade en gång) i Skåne och det tredje omdrevet (skördade två gånger) i Örebro. Skottåldern varierade mellan 1 och 8 år med ett medel på ca 4 år. Tillväxtperioden mellan varje skörd har varierat mellan 4 och 8 år beroende på främst tillväxttakten.

Uppgifter om vilka kloner som planterats är okänt i en del fall. I vissa fall har kloner blandats inom samma skifte. Undersökningsmaterialet är för litet och osäkert för att utvärdera eventuella skillnader mellan klonerna med avseende på tillväxt, metallupptag, mm. Presenterade resultat skall snarare ses som generella och med stor sannolikhet representativa för slamgödslad Salixodling i Sverige. Klonerna som finns representerade inom de aktuella skiftena är vanligt förekommande i etablerade odlingar och listas nedan.

-Jorunn
-Jorr
-Orm
-Rapp
-78:021
-78:101
-78:102
-78:112
-78:183
-78:198



Många av dagens
förädlade kloner
härrör från korgvide,
Salix viminalis.

Kloner med namn är förädlade medan äldre numrerade kloner härrör från växtmaterial som samlats in och endast uppförökats.

3.2 Provtagningar och analyser

Under vintern 2002/2003 uttogs prov avseende jord och stamved på de olika skiftena för analys av i huvudsak metallerna Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn och Zn. För jord analyserades såväl "växttillgänglig" som "total" fraktion samt pH-värde.

3.2.1 Jord

På varje skifte togs med jordskruvborr minst 20 delprov på nivåerna 0–30 cm respektive 30–60 cm. Provpunkterna slumpades ut någorlunda jämnt fördelade över skiftet inom representativa delar. Förekommande delytor med kraftigt avvikande förhållanden, t.ex. där tillväxten okulärt bedömdes extrem (mycket bra eller mycket dålig) exkluderades i provtagningen. Det översta jordlagret med bladrester etc. skrapades av försiktigt och ingick ej i proven. Delprover från varje nivå slogs samman till ett blandprov, varvid lika mycket från varje delprov ingick. Blandproverna transporterades utan dröjsmål till laboratorium.

Jordproverna analyserades enligt följande:

- pH: SS ISO 10390.
- TS: ugn 105°C, 16 h.
- Metaller: SS 028150-52, 028157, 028160, växttillgängligt innehåll enligt AL-metoden, SS 028310. ICP-OES.

3.2.2 Stamved

För varje skifte valdes slumpmässigt ut 3 dubbelrader av Salix varav en sträcka på 10 m per dubbelrad, dvs. ca 40–50 plantor, kapades med röjsåg eller motsvarande. Kapade/skördade plantor vägdes omedelbart, antingen i omgångar med hjälp av fältvåg eller transporterades till vägning på gård eller liknande. Detta gav således 3 st. viktresultat för Salixved i friskt tillstånd per odling. Fördelen med skörd av delar av löpande rader är att döda eller utgångna plantor "inkluderas" i beräkningen av den areella tillväxten, vilket ger den mest realistiska beräkningen av skördeutfall.

Från vardera av de tre delmängderna med skördat och vägt material togs slumpmässigt ut omkring 20 stambitar, ca 10 cm långa. Stambitarna transporterades till laboratoriet dels för torkning för beräkning av stamvedens torrsubstansinnehåll (TS-halt) och tillväxten i det skördade materialet (ton TS/ha) och dels för analys av metallinnehåll.

Analys av växtmaterial skedde enligt följande:

- TS: ugn 85°C, 72 h.
- Metaller: SS 028150-52, 028157, 028160. ICP-OES.

4 Resultat och diskussion

4.1 Metall- och näringstillförsel med avloppsslam

Slamgivor med metall- och näringsinnehåll för aktuella partier, alternativt årsmedelvärde/månadsmedelvärde från levererande avloppsreningsverk, har erhållits från 16 av totalt 19 odlare (Tabell 1). För de resterande tre odlarna har värden uppskattats baserat på en tillförsel av slam motsvarande 22 kg P/ha/år varvid årsmedelvärde för det levererade slammets kvalitet har använts. Medelvärdena är beräknade utifrån samtliga odlare exklusive de tre där slamgivan antagits.

Tabell 1. Årlig tillförsel av slam med närings- och metallinnehåll.

Odlare	TS t/ha	P kg/ha	K kg/ha	Tot-N kg/ha	NH ₄ -N kg/ha	Ca kg/ha	Pb g/ha	Cd g/ha	Cu g/ha	Cr g/ha	Hg g/ha	Ni g/ha	Zn g/ha
S1a	0,8	22	4,0	41	9	22	69	1,3	186	63	0,7	17	570
S1b	0,8	22	4,0	41	9	22	69	1,3	186	63	0,7	17	570
S2	0,8	35	1,7	43	7		38	1,3	602	30	1,2	17	685
S3	1,0	20	4,7	58	10	13	10	0,5	130	13	0,4	10	220
S4	1,0	35		46	10		39	1,6	396	20	1,7	29	688
S5	0,3	9	2,7	17	3	7	24	0,6	71	11	0,3	4	181
S6a	0,3	9	2,7	17	3	7	24	0,6	72	11	0,3	4	182
S6b	0,3	9	2,7	17	3	7	24	0,6	72	11	0,3	4	182
S6c	0,4						29	0,7	106	10	0,4	4,9	233
S7	0,9	28	1,8	53	13	16	15	0,6	175	17	0,7	10	350
S8	0,7	20		39	7		24	0,6	306	23	0,7	9	445
S9	0,8	32	1,0	35	7		19	0,8	497	17	0,9	9	442
S10	0,9	24		45	9		28	0,7	359	27	0,8	11	522
Ö1 ¹⁾	1,0	22	1,2	36	12	76	31	1	256	17	1	12	362
Ö2	0,9	22	1,2	36	12	75	31	0,9	254	17	1,0	12	359
Ö3	1,2	22		44	13		33	1,0	268	18	1,0	15	378
Ö4	1,0	21	1,2	36	9,7		30	0,7	234	14	0,6	11	390
Ö5	1,2	26	2,1	44	12		36	0,8	283	17	0,7	14	472
Ö6 ¹⁾	1,4	22	7,3	32	7,0	14	41	2,2	363	75	0,5	34	715
Ö7	0,9	21	1,2	36	9,6		29	0,7	232	14	0,6	11	387
Ö8	1,2	26	2,1	44	12		36	0,8	283	17	0,7	14	472
Ö9 ¹⁾	1,0	22	1,9	37	9,9		30	0,7	239	15	0,6	12	398
Medel	0,8	23	2,4	38	8,8	21	32	0,8	250	22	0,7	12	410

¹⁾ Slamgivan antagen.

Slamgivorna är överlag ”normala”. Tillförseln av metaller översteg för en del av odlingarna nu gällande gränsvärden för Cu, Pb och Cd. Beträffande Cr och Zn överstegs gränsvärdena hos en respektive två odlare medan gränsvärdena för Hg och Ni understeg nu gällande gränsvärden i alla odlingarna. Slamspridningen ägde i huvudsak rum före år 2000 då gränsvärdena var högre.

Det kan konstateras att slamgivorna för de aktuella odlingarna har varit av samma storleksordning som de skulle ha varit om skiftena odlats med konventionella grödor för human konsumtion.

4.2 Metallinnehåll i mark

För varje jordprov utfördes dels totalanalys och dels AL-analys. Den senare ger ett mått på hur stor andel av respektive metall som är växttillgänglig. Med hjälp av jordanalyserna beräknades mängderna per hektar för de olika metallerna. Analysresultaten framgår av Bilagor 2–5.

pH-värdena varierade i allmänhet mellan 5 och 6, vilket är lägre än genomsnittet för svensk åkermark, pH = 6,3 (Eriksson et al, 1997). Ett lågt pH innebär i regel att metallerna är mer biotillgängliga.

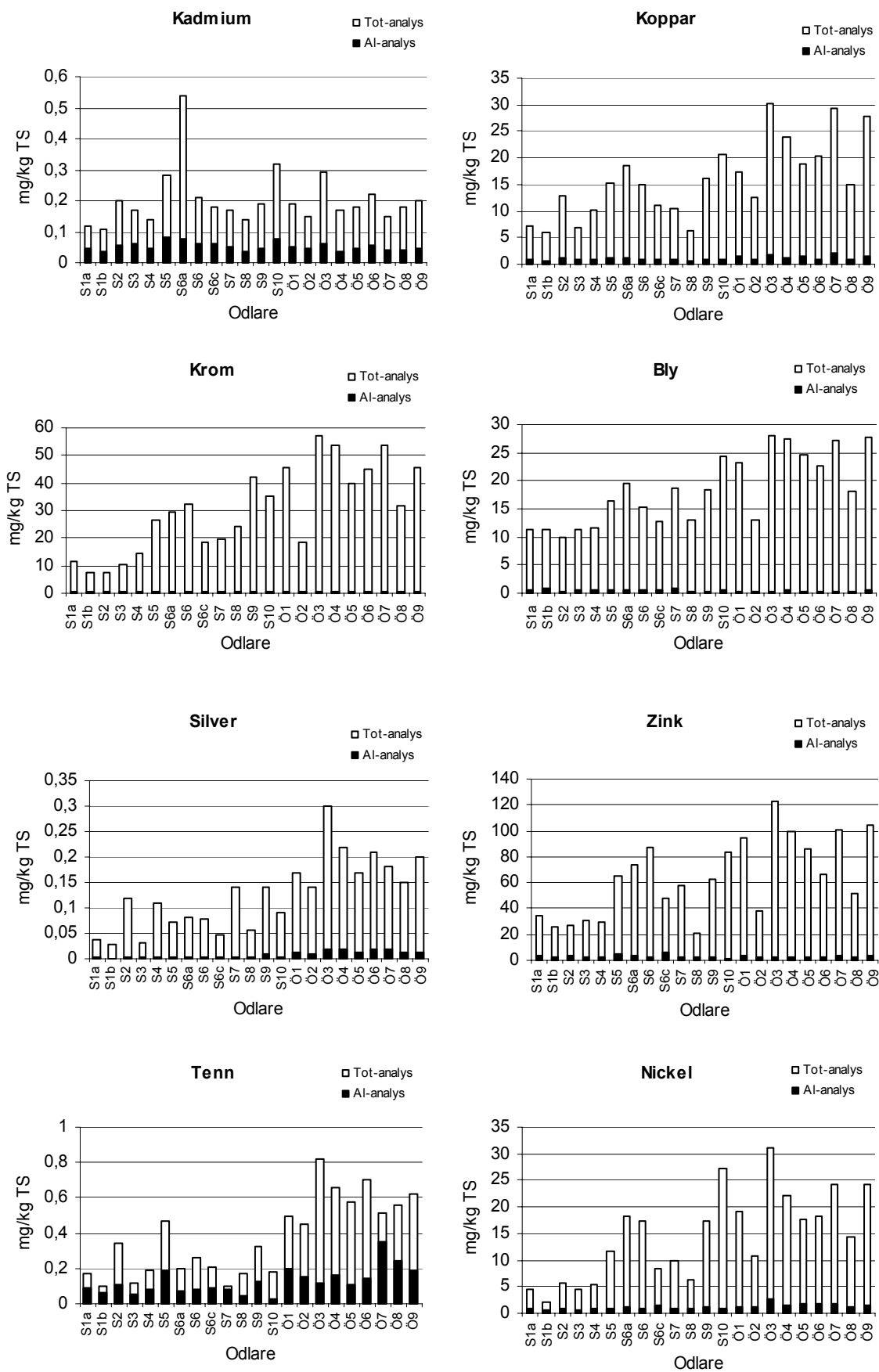
Halterna av metallerna varierade mellan odlingarna i Skåne och Örebro län. Generellt var halterna högre vid de undersökta markerna i Örebro län. Skillnaderna var störst för Sn och Ag medan Cd-halterna låg på i stort sett samma nivåer. För Sn och Ag var halterna i medeltal knappt 3 ggr högre i matjorden och i alven ca 4 ggr högre i Örebro jämfört med Skåne.

Relationen mellan andel växttillgänglig del av den totala mängden för åtta metaller visas i Figur 1 nedan och i sammanställd form i Tabell 2. Cd är den metall jämte Sn som visar högst andel växttillgänglig del, 21–27 % resp. 35–37 %. För de övriga ämnena utgör den växttillgängliga andelen enbart en liten del av den totala mängden. För Pb utgör t.ex. den växttillgängliga delen drygt 2 % och för Cu drygt 5 %. För Cr är den växttillgängliga andelen ännu mindre.

Jämför man halterna i matjorden med halterna i alven är det i regel inga större skillnader. För Cd, Pb och Hg var halterna dock överlag lägre i alven än i matjorden. Orsaken till detta är förmodligen en relativt stor historisk belastning via den atmosfäriska depositionen och för kadmium även gödsling med handelsgödsel fosfor. Analysresultaten visar inte på någon tydlig skillnad mellan den växttillgängliga andelen i alv och matjord. I alven förefaller dock de växttillgängliga halterna av Pb, Cd och även Zn vara något lägre än i matjorden.

Tabell 2. Medelvärden av totalt metallinnehåll, växttillgängligt metallinnehåll och andel växttillgängligt metallinnehåll av totala innehållet i matjord och alv.

Metall	Nivå 0–30 cm, matjord			Nivå 30–60 cm, alv		
	Totalt	Växttillgängligt		Totalt	Växttillgängligt	
	(mg/kg TS)	(mg/kg TS)	(%)	(mg/kg TS)	(mg/kg TS)	(%)
Cr	30	0,55	1,8	31	0,51	1,7
Ni	15	1,2	8,0	17	1,2	7,1
Cu	16	1,1	6,9	16	1,0	6,3
Zn	64	3,0	4,7	62	2,1	3,4
Ag	0,13	0,0084	6,5	0,13	0,01	7,7
Cd	0,20	0,053	27	0,15	0,031	21
Sn	0,37	0,13	35	0,41	0,15	37
Hg	0,048	<0,02	-	<0,02	<0,02	-
Pb	18	0,47	2,6	15	0,37	2,5



Figur 1. Relation mellan total mängd och växttillgänglig mängd för respektive metall i matjord.

4.3 Biomassatillväxt

Den genomsnittliga tillväxten av Salixved antogs gälla för hela odlingen och dividerades med skottåldern för att få en årlig tillväxt. Tillväxten varierade stort mellan skiftena – mellan 1,3 och 13,2 ton TS/ha/år – med ett medelvärde på drygt 7 ton TS/ha/år (Tabell 3). Detta är normala tillväxtnivåer för de aktuella Salixklonerna (jfr. Larsson, 1998; Jonsson, 1997).

Man ser en tydlig skillnad på tillväxten i Skåne och Örebro län med medelvärden kring 8,5 resp. 5,5 ton TS/ha/år. Orsakerna till detta kan vara flera men de två dominerande tros vara det gynnsammare klimatet i Skåne med en något längre växtsäsong samt skillnader till följd av de kloner som används. Odlingarna i Örebro är över lag äldre och planterade med kloner som har en lägre tillväxt än nyare och mer förädlade kloner.

Svalöf Weibull AB, som sedan 1987 svarat för det nationella förädlingsprogrammet avseende Salix (sedan 2001 övertaget av Agrobränsle AB), har förädlat fram kloner som ger en betydligt högre avkastning än de äldre sorterna. Jämfört med den gamla klonen 78183 – som brukar användas som referens – ger t.ex. Orm och Rapp drygt 10 % högre avkastning och Jorr drygt 20 % högre avkastning. Det finns nyare sorter såsom Tora och Olof – ej representerade här – som visat sig ge mer än 60 % högre skörd än klon 78183.

Tabell 3. Tillväxt av stamved i undersökta Salixodlingar.

Odlare	Skottålder	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Medel	TS-halt	Total tillväxt	Årlig tillväxt
	år	kg	kg	kg	kg	%	ton TS/ha	ton TS/ha/år
S1a	4	142	156	148	149	48	32,5	8,1
S1b	4	113	156	182	150	46	31,4	7,8
S2	6	142	264	180	195	49	43,8	7,3
S3	1	34	46	31	37	43	7,2	7,2
S4	3					42	23,0 ¹⁾	7,7
S5	3	113	122	96	110	50	24,9	8,3
S6a	5	293			293	50	66,1	13,2
S6b	3	130	106	133	123	55	30,9	10,3
S6c	1	52	43	46	47	44	9,4	9,4
S7	3	83	61	66	70	48	15,1	5,0
S8	3	124	133	83	113	47	24,4	8,1
S9	2	98	73	97	89	44	17,9	9,0
S10	3	146	148	127	140	43	27,6	9,2
Ö1	8	42	42	46	43	52	10,3	1,3
Ö2	4	121	142	134	132	45	27,1	6,8
Ö3	5	110	106	116	111	51	25,7	5,1
Ö4	5	100	154	118	124	53	29,9	6,0
Ö5	4	71	90	108	90	49	19,8	4,9
Ö6	4	85	85	53	74	51	17,4	4,3
Ö7	5	149	155	157	154	50	34,7	6,9
Ö8	4					51	25,0 ¹⁾	6,3
Ö9	3	82	81	77	80	48	17,1	5,7
Medel	4	112	114	105	116	48	25,6	7,2

¹⁾ Kommersiellt skörderesultat

Avkastningen hos 78183 har i medeltal i Svalöf Weibulls försök legat på 8,8 och 9,1 ton TS/ha/år vid andra resp. tredje skörden (Larsson, 2001).

Jämför man tillväxten med resultat från Svalöf Weibull ligger tillväxten här i allmänhet något lägre. Skillnaden kan förklaras av att energiskogsodlingar hittills ofta planterats på något sämre åkermark som är mindre lämplig för andra grödor samt att försöksodlingar som regel ger högre skördeutfall beroende på noggrannare kontroll av tillväxtfaktorer, som t.ex. gödsling, bevattning och ogräsbehandling.

4.4 Metallinnehåll i Salixved

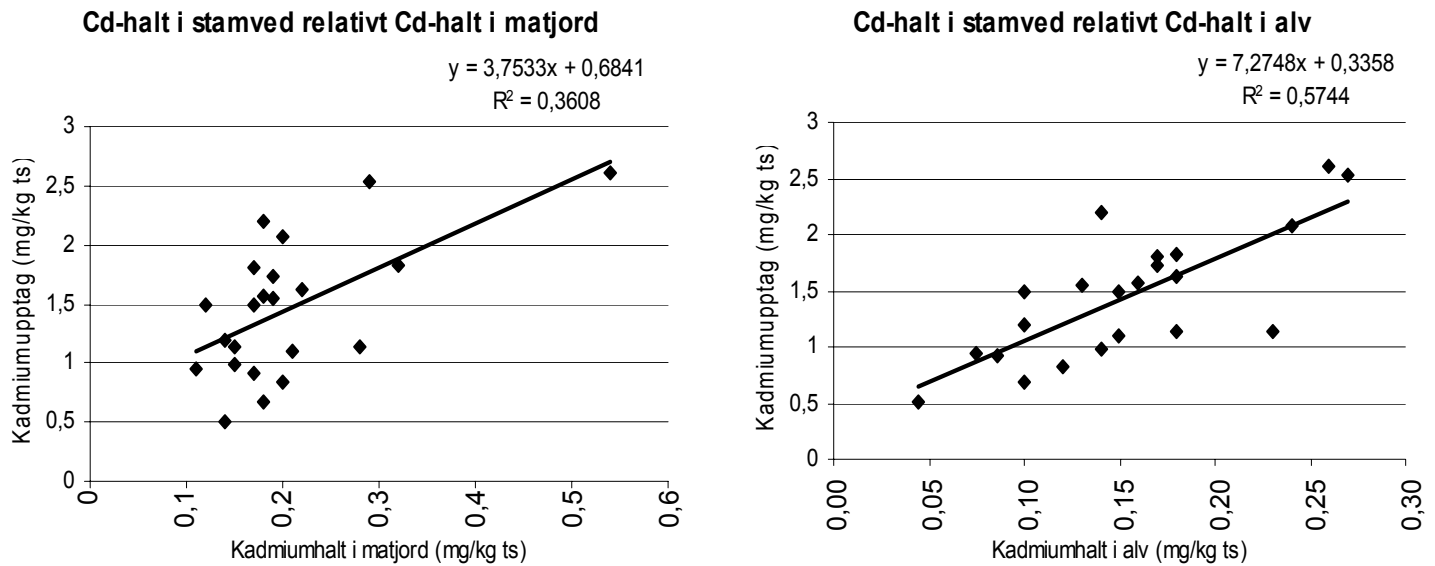
4.4.1 Koncentration och areellt upptag

Resultaten ger en bild av metallupptaget från Salixodlingar med vitt skilda förutsättningar med avseende på bl.a. planteringsår, skottålder, markegenskaper, kloner och slamgivor, jfr Bilaga 1. Upptaget i Salixveden redovisas i Bilagor 6–7 för samtliga odlingar och sammanfattas i Tabell 4. Om växtupptaget jämförs med halterna i matjord och alv ser man för samtliga metaller undantaget Cd inget tydligt samband. För Cd förefaller upptaget öka med halten i jorden (Figur 2).

Tabell 4. Växtupptag i stamved (n = 22). Det areella växtupptaget är tillväxten enligt Tabell 3 multiplicerat med respektive halt nedan.

Metall	Växtupptag (mg/kg TS)				Areellt växtupptag (g/ha)			
	medel	max	min	stdav	medel	max	min	stdav
Ni	0,47	0,72	0,25	0,15	3,4	6,6	0,8	1,6
Cu	2,7	4,4	1,7	0,66	19	40	3,4	8,5
Zn	62	94	36	15	430	850	110	140
Ag	0,0093	0,03	0,003	0,007	0,057	0,17	0,008	0,044
Cd	1,5	2,6	0,5	0,57	10	34	2,2	6,4
Sn	0,08	0,22	0,03	0,048	0,6	1,6	0,06	0,4
Pb	0,36	0,87	0,11	0,23	2,9	8,2	0,15	2,3
Cr¹	0,19	0,39	0,10	0,078	1,5	3,6	0,1	0,87

¹n = 12



Figur 2. Halten av kadmium i Salixved plottad mot halten i matjord respektive alv.

I synnerhet halten i alven verkar påverka kadmiumupptaget i stamved. Detta antyder att upptaget av Cd från alven utgör en relativt stor del av det totala upptaget. Exempelvis redovisar Perttu et al (2002) att ca 30 % eller mer av det Cd som återfinns i blad och stam kan komma från alven. För övrigt är korrelationen låg mellan tillförsel av metaller med slam och upptaget av metaller i stambiomassa. Inte heller pH-skillnader i marken verkar påverka upptaget av metaller nämnvärt.

4.4.2 Jämförelse med andra grödor

Som framgår av redovisningen ovan erhålls såväl nettobortförsel som nettoackumulation av metaller i slamgödslad Salixodling beroende på vilken metall det gäller.

I jämförelse med några vanliga grödor är det generella mönstret att upptaget och bortförseln från odlingsytan är högre för Salix, exemplifierat med kadmium (Tabell 5) och för några olika metaller beträffande vete (Tabell 6). I det senare fallet utgör koppar undantag.

Storleken av metallupptaget kan givetvis variera för såväl Salix som andra grödor men i allmänhet är potentialen för nettobortförsel av metaller med Salix alternativt minskad nettoackumulation av metaller i Salixodling stor jämfört med andra grödor.

Tabell 5. Upptag av kadmium i Salix samt sju andra jordbruksgrödor.

Gröda	Halt mg/kg TS	Upptag g/ha/år	Relativt upptag Salix = Index 100
Salix	1,5	10	100
Höstvete ¹	0,044	0,23	2,3
Havre ¹	0,036	0,13	1,3
Vårkorn ¹	0,019	0,065	0,7
Rågvete ¹	0,046	0,23	2,3
Potatis ¹	0,053	0,47	4,7
Oljeväxter ¹	0,082	0,21	2,1
Morot ¹	0,28	1,5	15

¹Källa: Johannesson och Nielsen (2003)

Tabell 6. Upptag av metaller i Salix jämfört med vete.

Metall	Upptag g/ha/år		Relativt upptag Salix/vete
	Salix	Vetekärna ¹	
Ni	3,4	1	3,4
Cu	19	28	0,68
Zn	430	160	2,7
Ag	0,057	<0,003	>20
Cd	10	0,21	48
Sn	0,58	0,5	1,2
Pb	2,6	0,044	59
Cr	1,5	0,066	23

¹Källa: Eriksson (2002)

4.5 Metallbalanser

4.5.1 Generella resultat

Vid upprättande av metallbalanser finns många olika faktorer att ta hänsyn till. Flödena av metaller i åkermarken varierar kraftigt beroende på t.ex. marktyp, gödsel-användning och atmosfäriskt nedfall. Dessutom sker en omfördelning av metaller i jordprofilen mellan alv och matjord. Omfördelningen sker till största delen genom nedfallna löv men även från rotsystemet om detta inte avlägsnas då odlingen avslutas och bryts (Perttu *et al*, 2002).

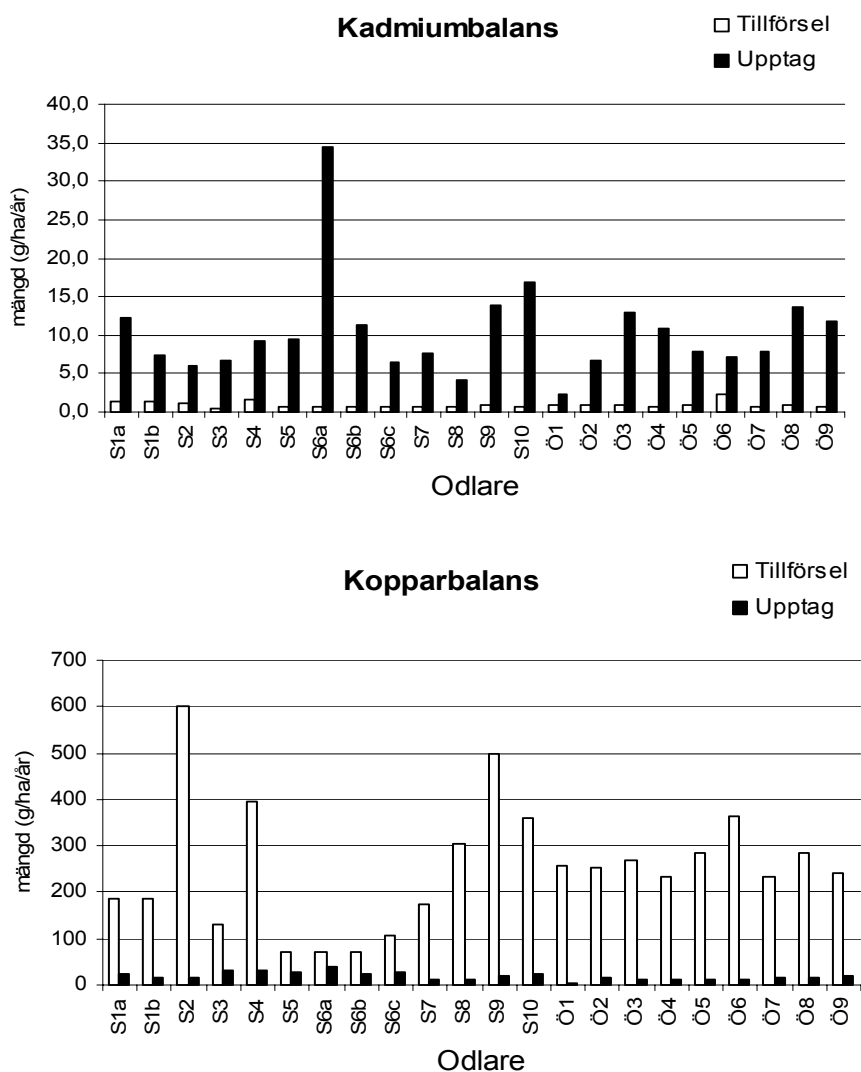
På grund av faktorer såsom närings- och vattentillgång samt jordens struktur varierar rot djupet hos Salix, vilket gör det svårt att förutsäga från vilket djup metallerna tas upp. Om Salixplantorna har god tillgång på näring och vatten i matjorden tenderar rötterna inte att söka sig ned i djupare jordlager. Detta påverkar hur stort det totala upptaget från matjorden blir, både pga. av omfördelning av metaller och det direkta upptaget från matjorden.

I Figur 3 visas upptaget i stamved i relation till tillförseln via slam. För Cd är upptaget i stamved betydligt högre än tillförseln via slam, storleksordningen 10

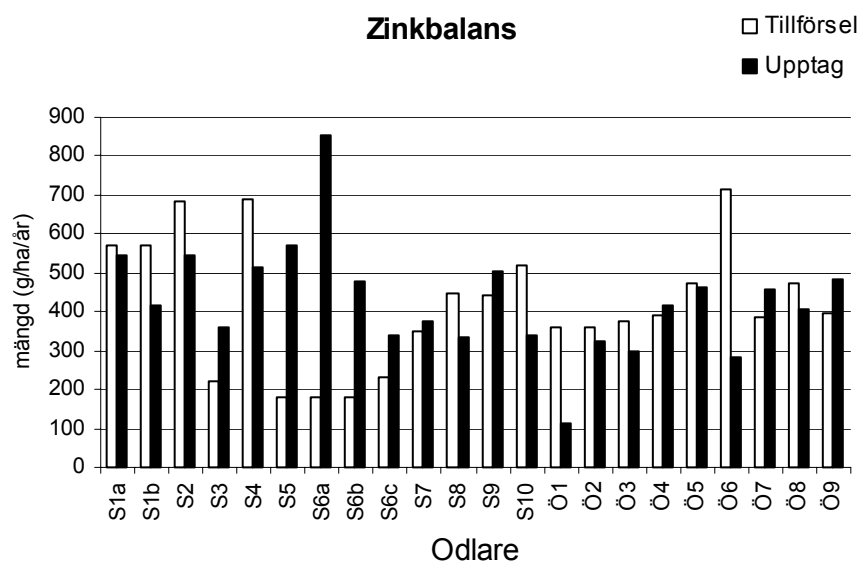
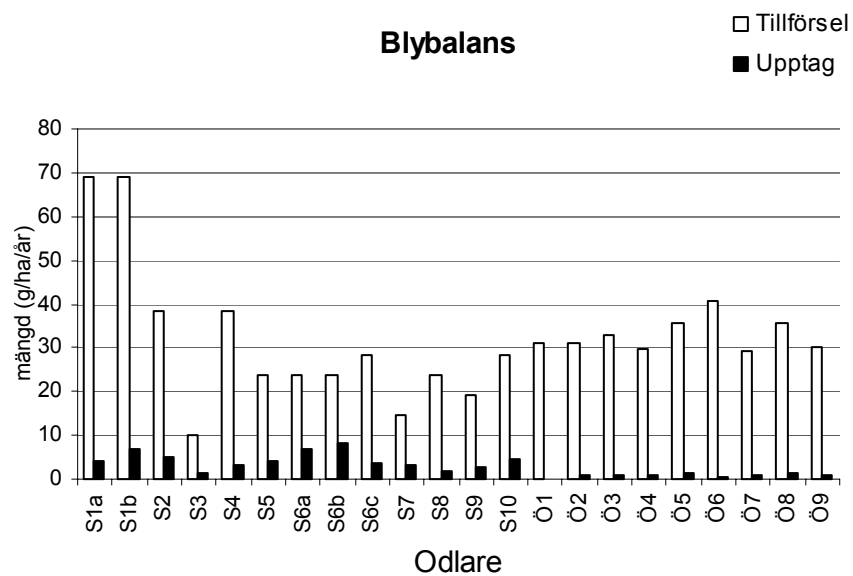
gångar som ett genomsnittligt värde. Uptaget av Zn balanserar i stort sett tillförseln medan för Cu och Pb tillförseln med slammet är högre än upptaget i Salixveden.

I Tabell 7 inkluderas även Ni samtidigt som tillförseln sätts i proportion till den totala mängden av respektive metall i matjorden. Den årliga tillförseln av Pb och Ni utgör enbart en mycket liten del – 0,06 % resp. 0,04 % – av det totala innehållet i matjorden. För Cu, Zn och Cd är motsvarande andelar ca 0,5 %, 0,2 % resp. 0,1 %. Detta skall sättas i relation till resp. metallers växttillgänglighet samt att vissa av metallerna, särskilt Cu, Zn, Ni och Cr, är essentiella spårämnen för grödors tillväxt.

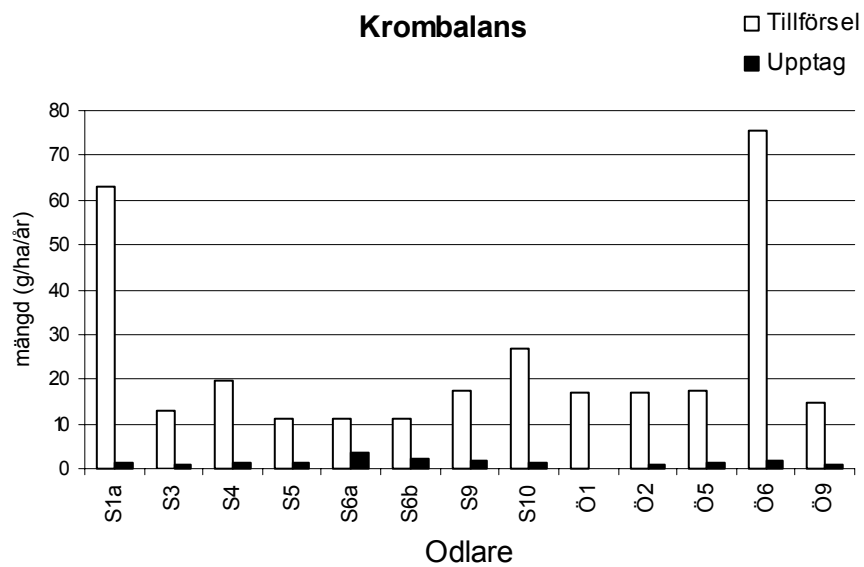
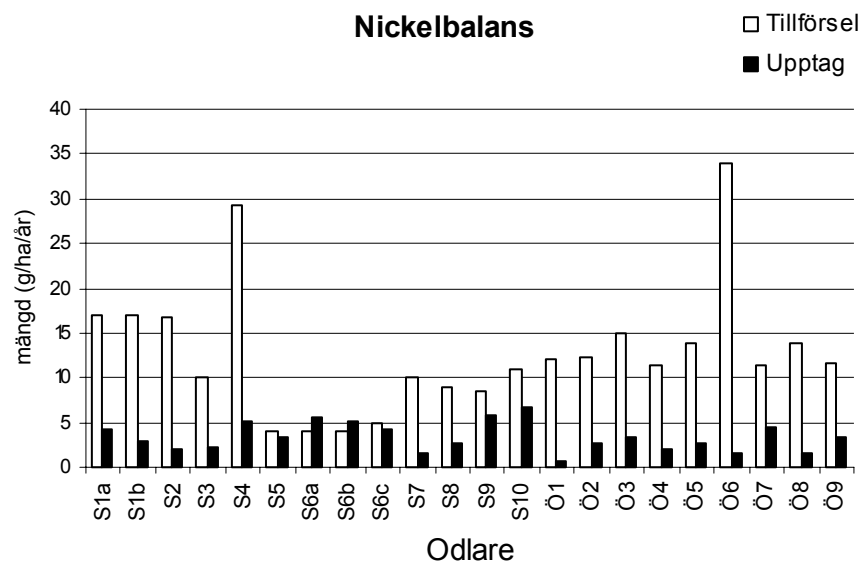
Krom inkluderas inte i Tabell 7 eftersom analysresultaten av Cr-halten i stamved enbart representerar 12 av de 19 odlingarna. Dock kan man ur dessa resultat utläsa att upptaget av Cr är lågt i förhållande till tillförseln, ca 6 %, samtidigt som mängden i matjorden är hög. Tillförseln via slam utgör årligen ca 0,02 % av det totala Cr-innehållet i matjorden. En stor andel av Cr föreligger i ej växttillgänglig form.



Figur 3. Relationer mellan tillförd mängd metaller via slam och upptag av metaller i stamved för kadmium, koppar, bly, zink, nickel och krom.



Figur 3. (forts.)



Figur 3. (forts.)

Tabell 7. Metallbalanser med avseende på tillförsel med slam och bortförsel vid skörd. Medelvärden för kolumner A, B och D innefattar inte värden från odlare Ö1, Ö6 och Ö9 eftersom slamgivan för dessa odlingar är antagen.

Odlare	Ni				Cu				Zn				Cd				Pb			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
S1a	17	0,1	4,3	13	186	0,7	23	163	570	0,4	544	26	1,3	0,3	12	-11	69	0,2	3,9	65
S1b	17	0,2	3,0	14	186	0,8	17	169	570	0,6	419	151	1,3	0,3	7	-6	69	0,2	6,8	62
S2	17	0,08	2,0	15	602	1,3	16	586	685	0,7	544	142	1,3	0,2	6	-5	38	0,1	5,0	33
S3	10	0,06	2,2	7,8	130	0,5	32	98	220	0,2	359	-139	0,5	0,1	7	-6	10	0,02	1,4	9
S4	29	0,1	5,1	24	396	1,0	31	366	688	0,6	514	175	1,6	0,3	9	-8	39	0,09	3,1	35
S5	4	0,01	3,3	0,7	71	0,1	27	44	181	0,07	570	-389	0,6	0,1	9	-9	24	0,04	4,0	20
S6a	4	0,01	5,7	-1,7	72	0,1	40	32	182	0,07	853	-671	0,6	0,03	34	-34	24	0,03	6,9	17
S6b	4	0,01	5,0	-1,0	72	0,1	24	48	182	0,06	477	-295	0,6	0,1	11	-11	24	0,04	8,2	16
S6c	5	0,02	4,3	0,6	106	0,3	29	77	233	0,1	341	-108	0,7	0,1	6	-6	29	0,06	3,5	25
S7	10	0,03	1,6	8,5	175	0,4	14	161	350	0,2	378	-28	0,6	0,1	8	-7	15	0,02	3,4	11
S8	9	0,04	2,6	6,4	306	1,3	14	292	445	0,6	332	113	0,6	0,1	4	-4	24	0,05	1,9	22
S9	9	0,01	5,8	2,7	497	0,8	20	477	442	0,2	505	-63	0,8	0,1	14	-13	19	0,03	2,7	17
S10	11	0,01	6,6	4,4	359	0,5	25	334	522	0,2	338	184	0,7	0,1	17	-16	28	0,03	4,5	24
Ö1	12	0,02	0,8	11	256	0,4	3	253	362	0,1	111	251	1,0	0,1	2	-1	31	0,04	0,2	31
Ö2	12	0,03	2,6	9,7	254	0,5	14	240	359	0,3	322	37	0,9	0,2	7	-6	31	0,06	0,7	31
Ö3	15	0,01	3,3	12	268	0,2	11	257	378	0,08	301	77	1,0	0,1	13	-12	33	0,03	0,8	32
Ö4	11	0,01	2,1	9,3	234	0,3	13	222	390	0,1	417	-27	0,7	0,1	11	-10	30	0,03	1,0	29
Ö5	14	0,02	2,8	11	283	0,4	13	270	472	0,1	463	9	0,8	0,1	8	-7	36	0,04	1,3	35
Ö6	34	0,05	1,5	33	363	0,5	12	351	715	0,3	284	431	2,2	0,3	7	-5	41	0,05	0,5	40
Ö7	11	0,01	4,5	6,9	232	0,2	14	218	387	0,1	458	-71	0,7	0,1	8	-7	29	0,03	0,9	29
Ö8	14	0,03	1,6	12	283	0,5	16	267	472	0,2	406	65	0,8	0,1	14	-13	36	0,05	1,4	34
Ö9	12	0,01	3,3	8,4	239	0,2	20	220	398	0,1	484	-86	0,7	0,1	12	-11	30	0,03	1,1	29
Medel	12	0,04	3,4	8,2	250	0,5	19	227	410	0,2	428	-45	0,8	0,1	10	-10	32	0,06	2,9	29

Förklaringar:

A: Tillförsel av metaller med slam (g/ha/år)

B: Tillförsel av slam/mängd i matjord x 100 (%)

C: Upptag i stamved (g/ha/år)

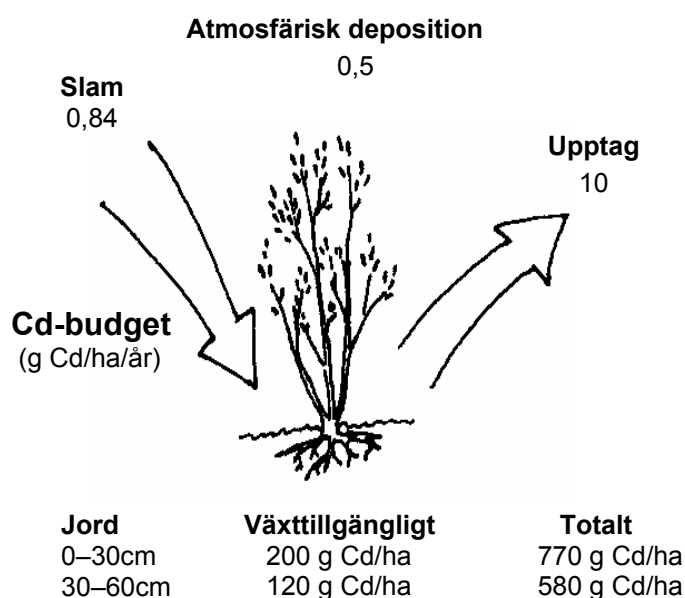
D: Tillförsel-upptag (g/ha/år)

4.5.2 Kadmiumbudget

Enligt Perttu *et al* (2002) kan andelen Cd i stam och blad som härrör från alven vara upp till 30 % eller mer. Detta innebär att det sker en omfördelning av kadmium från alv till matjord genom nedfallna löv samt till viss del från rötter om dessa inte avlägsnas vid avslutad Salixodling. Perttu *et al* (2002) redovisar att för 10 olika odlingar uppgår återförseln av Cd via blad inom intervallet 2–9 g/ha. I medeltal är förhållandet mellan återförseln via blad och upptag i stamved 1:2. Av mängden som återförs marken via löv antas 30 % härstamma från alven. Detta ger ett tillskott till matjorden på ca 1,5 g/ha/år och motsvarande bortförsel från alven. Enligt Johannessson och Nielsen (2002) är våt- och torrdepositionen ca 0,5 g/ha/år. Utlakningen uppskattas till 0,3 g/ha/år. En sammanställning av data från de undersökta odlingarna framgår av Bilaga 8.

Kadmiummängden i matjorden reduceras i medeltal med ca 4,5 g/ha/år ($10 \times 0,7 - 1,5 - 0,5 - 0,8 + 0,3$) för de undersökta odlingarna. Utöver detta reduceras Cd-innehållet i alven med ca 4,5 g/ha/år. Detta ger en total nettobortförsel på ca 9 g Cd/ha/år. Av de undersökta odlingarna varierar upptag minus tillförd mängd kadmium via slam mellan ca 33 och 3,5 g Cd/ha/år. En odling uppvisar dock ännu lägre upptag (2,1 g Cd/ha/år), men här saknas uppgifter om slamgivan. Det låga upptaget berodde i detta fall på en extremt låg tillväxt (ca 1,3 ton TS/ha/år).

Beräkningarna ger vid handen att efter 25 år med förutsättningarna ovan mer än halveras (ca 57 %) den växttillgängliga Cd-mängden i matjorden. Under samma tidsintervall minskar den totala Cd-mängden i matjorden med 1/7 (ca 14 %). Denna mängd, dvs. drygt 100 g Cd/ha, är i samma storleksordning som tillförts den svenska åkermarken via fosforgödselmedel och atmosfäriskt nedfall under 1900-talet (Åbyhammar, 1993)



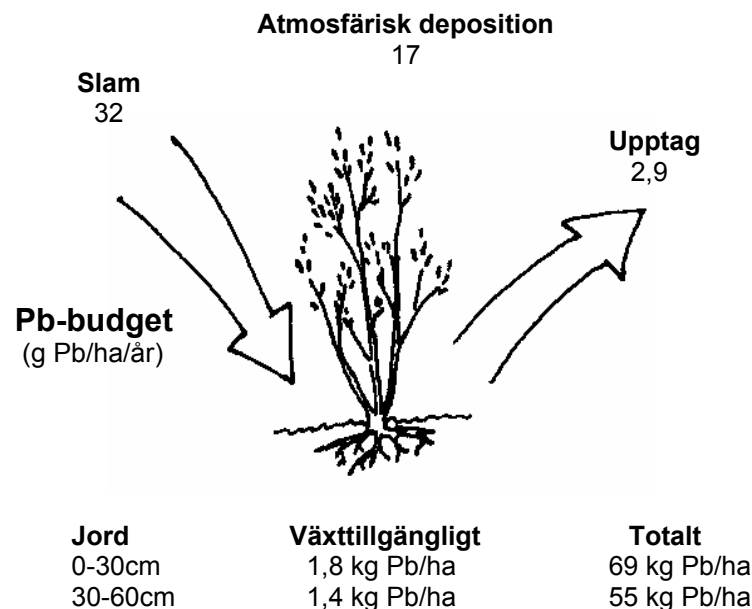
Vid jämförelse av odlingarna i Skåne och Örebro ser man inga större skillnader beträffande nettobortförseln av kadmium. Man kan notera en något högre bortförsel av Cd i Skåne, vilket sannolikt beror på en kraftigare tillväxt. Det areella upptaget var ca 11 g Cd/ha/år i Skåne och 9 g Cd/ha/år i Örebro län. Däremot var upptaget av kadmium per kg TS i stamveden störst i Örebro län (1,7 jämfört med 1,3 mg/kg TS). Om de två extremvärdena, 34 resp. 2,1 g Cd/ha/år, exkluderas får man i stort sett samma värde på kadmiumupptaget för Skåne och Örebro län varför ett upptag i stamveden hos Salix på ca 10 g Cd/ha/år indikerar ett representativt medelvärde för de båda regionerna.

4.5.3 Blybudget

Upptaget av bly i stamved är relativt lågt. Vid plantering av de kloner som används idag kommersiellt vid Salixodling erhålls inte balans mellan tillförd och bortförd mängd Pb vid normala slamgivor. Upptaget är även betydligt lägre än tillskottet via nederbörd och man får således en ackumulering av bly i marken oavsett gröda även utan slamtillförsel.

Fördelningen mellan upptaget från alv och matjord antas vara samma för bly som för kadmium. Mängden Pb som återförs marken via bladnedfall utgör en mindre andel av det totala upptaget än Cd. Med data från Hasselgren (2003a) görs antagandet att förhållandet mellan återförsel via blad och upptag i stamved är 1:5, vilket ger ett tillskott av Pb som härrör från alven på ca 0,2 g/ha/år till matjorden via bladnedfall. Tillskottet via nederbörden antas vara 17 g/ha/år vilket grundar sig på mätningar från Eriksson et al (1997). I medeltal skulle således nettotillskottet av Pb bli ca 47 g/ha/år ($32 + 17 + 0,2 - 2,9 \times 0,7$).

Eftersom halterna av bly i marken är relativt höga blir dock förändringarna i marken små. För de odlingarna som är representerade i undersökningen uppskattas ökningen i matjorden till omkring 2 % efter 25 år, se [Bilaga 9](#), varav den atmosfäriska depositionen står för en tredjedel. I ett långliggande fältförsök med slamgödslade odlingar av vanliga jordbruksgrödor har inte halterna av metaller, däribland bly, i växtbiomassan påvisbart förändrats efter 20 års slamtillförsel (Andersson, 2002). Det bedöms därför som osannolikt att man riskerar ett förhöjt upptag av bly i växtbiomassan ens på längre sikt.

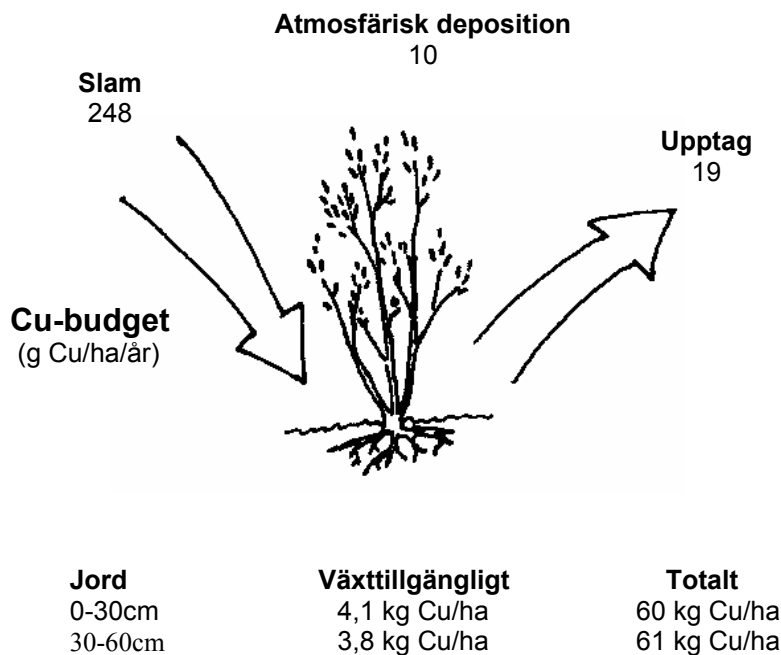


4.5.4 Kopparbudget

Det areella upptaget av koppar i stamved uppgår i medeltal till 20 g/ha/år, vilket är ca 10 och 2 ggr högre än upptaget av Pb resp. Cd. Den atmosfäriska depositionen antas till 10 g/ha/år enligt Eriksson (2001). Upptaget av Cu i stamved är således dubbelt så stort som den atmosfäriska depositionen vilket innebär att markinnehållet av Cu i regel minskar i en ogödslad Salixodling. Slamtillförsel innebär dock en nettotillförsel av koppar. De aktuella odlingarna har tillförts ca 250 g Cu/ha/år med slammet.

Fördelningen mellan upptaget från alv och matjord antas även vara samma för Cu som för Cd. Med data från Hasselgren (2003a) görs antagandet att förhållandet mellan återförsel via blad och upptag i stamved är ca 1:3. Detta ger ett tillskott av Cu som härrör från alven på ca 2 g/ha/år till matjorden via bladnedfall. Tillskott via nederbörd antas till 10 g Cu/ha/år (Eriksson et al, 1997). Nettotillskottet av koppar kan därmed överslagsmässigt beräknas till 247 g Cu/ha/år ($248 + 10 + 2 - 19 \times 0,7$).

Detta innebär att med antagen omfördelning och tillskott via nederbörd kan man grovt säga att ackumuleringen av koppar i en Salixodling motsvarar tillskottet via slam. Tillförseln av Cu motsvarar årligen ett procentuellt tillskott på ca 0,4 % i förhållande till mängden i matjord och enligt samma resonemang som för bly innebär detta med stor sannolikhet inte förhöjda kopparhalter i grödor som eventuellt odlas efter att Salixodlingen brutits. En sammanställning av data från alla odlingarna beträffande Cu-budgeten framgår av Bilaga 10.



5 Potentialer

5.1 Effektivare växtmaterial

Ett sätt att belysa Salix' potential för fyto Remediering kan vara att redovisa vilken slamgiva som "krävs" för att balansera upptaget av resp. metall i Salixved (Tabell 8). Med dagens slamkvalitet, enligt den senaste publicerade statistiken (SCB, 2002) och med uppmätt upptag i här aktuella odlingar, framgår beträffande kadmium att det teoretiskt går att tillföra 9 à 11 ton TS slam/ha/år till en Salixodling utan att det sker nettoackumulation av Cd i jorden. De metaller som relativt innehållet i slam tas upp i minst omfattning i Salix är Cu och Pb följt av Ni och Zn.

Tabell 8. Beräkning av mängd tillförd slam för att balansera tillförseln av respektive metall enligt medelvärden för svenskt avloppsslam.

Metall	A mg/kg TS	B mg/kg TS	C g/ha/år	D kg TS/ha/år	E kg TS/ha/år
Pb	34	29	2,9	85	98
Cd	1,1	0,9	10	9400	11000
Cu	370	280	19	52	70
Ni	17	12	3,4	200	270
Zn	550	460	430	780	940

Förklaringar:

A: Medelvärden i slam från kommunala reningsverk år 2000 (SCB, 2002)

B: Medelvärden i slam från kommunala reningsverk med pe<20 000 år 2000 (SCB, 2002)

C: Upptag av respektive ämne i de undersökta odlingarna

D: Mängd tillförd slam då upptag av metallen = tillförsel via slam (halter enligt kolumn A)

E: Mängd tillförd slam då upptag av metallen = tillförsel via slam (halter enligt kolumn B)

Om innehållet av kadmium (normalt den parameter som med dagens slamkvalitet och gällande regelverk är styrande för slamspridning på åkermark) begränsar mängden slam som tillförs en Salixodling erhålls att upptaget av kadmium skulle kunna uppgå till en faktor 14 ggr högre än vad som tillförs med slammet (Tabell 9). Även för Zn blir upptaget högre än tillförseln medan för Pb, Cu och Ni upptaget blir lägre än tillförseln via slammet.

Uppgifterna i tabellerna baseras på aktuell slamkvalitet enligt den senaste officiella statistiken (SCB, 2002) och resultat från metallanalyser i projektet. Det kan förväntas att framtida odlingar ger högre avkastning till följd av det fortlöpande förädlingsarbetet, se Kap 4.3, vilket även torde ge ett högre metallupptag.

Slamspridning i Salixodling är primärt ett sätt att utnyttja slammets resurser i produktivt syfte och där fyto Remediering avseende metaller utgör en sekundär effekt. Salixodling – utan slamgödsling – möjliggör nettobortförsel av metaller och lägre ackumulering av vissa metaller jämfört med konventionella jordbruksgrödor.

Tabell 9. Tillförd mängd metaller och relativt upptag. Slavgivan motsvarar 0,75 g Cd/ha/år, vilket innebär 0,7 resp. 0,8 ton ts/ha/år. Fosforgivan uppgår till 19 resp. 18 kg P/ha/år.

Ämne	A g/ha/år	B g/ha/år	C %	D %
Pb	23	24	12	12
Cd	0,75	0,75	1400	1400
Cu	260	230	7,6	8,5
Ni	11	10	30	32
Zn	375	381	114	112

Förklaringar:

A: Tillförd mängd baserat på medelvärden i slam från kommunala reningsverk, 2000 (SCB, 2002)

B: Tillförd mängd baserat på medelvärden i slam från kommunala reningsverk, med pe<20 000, 2000 (SCB, 2002)

C: Andel upptag av tillförda mängder enligt kolumn A

D: Andel upptag av tillförda mängder enligt kolumn B

Med slamgödsling sker fortfarande nettobortförelse av vissa metaller – framförallt Cd och Zn – medan andra ackumuleras, dock i lägre omfattning än vid slamgödsling av andra grödor (Tabell 10). För Cr, Ni och Pb ger Salix en viss förlängning av fördubblingstiderna jämfört med en vetegröda medan för Ag, Cu och Sn skillnaderna är marginella. I överslagsberäkningen har antagits ett konstant årligt upptag oavsett halten av metallen i marken. Detta är givetvis en grov förenkling varför värdena i Tabell 10 ska uppfattas som en indikativ jämförelse mellan Salix och vete resp. mellan olika metaller och inte som absoluta tal.

Tabell 10. Hypotetiskt antal år vid slamgödsling av veteodling resp. Salixodling för fördubbling resp. halvering av metallinnehåll i jord (matjord 0,3 m + alv 0,3 m). Metallupptag i vetekärna och metalldeposition efter Eriksson (2001).

Metall	Vete				Salix			
	Exkl. deposition		Inkl. deposition		Exkl. deposition		Inkl. deposition	
	Total	Växttillg.	Total	Växttillg.	Total	Växttillg.	Total	Växttillg.
Ag	185	13	175	12	190	14	175	12
Cd	2 400	580	1 400	340	70	17	75	18
Cr	9 200	160	8 300	140	9 700	170	8 800	150
Cu	520	34	500	33	500	33	480	31
Ni	12 000	900	8 800	660	16 000	1 200	11 000	800
Pb	5 400	140	3 100	79	6 200	160	3 300	85
Sn	200	72	39	14	200	73	39	14
Zn	2 200	89	1 500	59	5 300	220	19 000	770

Vidare har inte hänsyn tagits till olika omsättningshastigheter hos metallerna mellan den icke växttillgängliga fraktionen och den växttillgängliga fraktionen. Den största säkerheten i beräkningen torde gälla de metaller som har högst mobilitet och störst andel växttillgänglig fraktion, dvs. Cd, Sn och Zn.

Vissa studier har visat på variationer i metallupptag mellan olika Salixkloner (Greger och Landberg, 1999). Även om dessa indikationer än så länge är osäkra så bedöms det finnas en potential att förädla Salixmaterial mot ett selektivt metallupptag. Exempelvis rapporterade Bertholdsson (2001) från fältförsök med 88 Salixkloner maxhalterna 56 mg Cd/kg TS, 18 mg Pb/kg TS, 12 mg Cu/kg TS, 230 mg Zn/kg TS och 8 mg Sn/kg TS. Dessa resultat visar således på ett avsevärt högre metallupptag jämfört med resultaten för de kommersiella kloner som redovisas här, se Kap. 4.4.1.

Härvid kan förväntas att de fortsatta förädlingsinsatserna avseende såväl högre tillväxt som högre metallomsättning kan leda till kommersiella Salixkloner med högre areellt metallupptag som således kan få till följd en hållbar nettobortförsel av flera av metallerna. Dock måste man förutsätta att det finns ett uthålligt behov på marknaden att utnyttja slam i Salixodling för att stimulera utvecklingen och förädlingen av Salixmaterialet.

5.2 Metallhalter i slam

Sedan 1970-talet har reningsverken i landet arbetat målmedvetet med att reducera tillförseln av metaller i avloppssystemet. Arbetet har varit framgångsrikt och idag är metallhalterna internationellt sett låga. Trots det goda resultatet fortsätter kvalitetsarbetet och under 1990-talet har metallinnehållet i slam minskat med ytterligare några procentenheter per år (Balmér, 2002). Hur långt det går att nå är osäkert men ytterligare förbättringar överlag kan sannolikt förväntas.

Ur metallbudgetsynpunkt i slamgödslad Salixodling är det – som framgår av Kap. 4.5 – sannolikt viktigast att arbeta med att reducera Cu- och Pb-innehållet i slammet. För koppar är det framförallt kopparledningarna i fastighetsbeståndet som bidrar till slammets Cu-innehåll. Ca 2/3 av kopparmängden uppskattas härröra från denna källa (Söderberg et al, 2003). Samma referens anger att 35 % av blymängden i slam kommer från landets bilvårdsanläggningar. Här krävs således förutom det kontinuerliga miljö- och kvalitetsarbetet riktade insatser mot respektive branscher.

5.3 Salixodling i Sverige och övriga Europa

Uppskattningar av den framtida energiskogsarealen har redovisats av flera bedömare. Naturvårdsverket redovisade bl.a. i en framtidsstudie ett scenario, benämnt ”vägvinnaren”, en möjlig energiskogsareal om ca 380 000 ha år 2021 (NV, 1997). Ytterligare ca 270 000 ha åkermark skulle enligt studien kunna avsättas för energigräs. Prognosen baserades på fallande livsmedelspriser och stigande energipriser i kombination med fortsatt minskade subventioner till jordbruksnäringen.

Gustavsson et al. (1994) rapporterade att 800 000 ha kan avsättas till biobränsleproduktion på åkermark år 2015. LRF har i olika sammanhang uppskattat att omkring 600 000–1 000 000 ha inte kommer att behövas för den framtida livsmedelsproduktionen i Sverige. Av denna areal bedöms ca 300 000 ha kunna avsättas för Salixodling (Johannesson och Nielsen, 2002).

EU-kommissionen har angivit i vitboken från 1997 att bioenergiandelen inom unionen ska öka från 3,3 % till 8,5 % av den totala energitillförseln under perioden 1995–2010 (Energimyndigheten, 2003). Detta motsvarar 900 TWh. Hälften härav har bedömts rimligt för odlade biobränslen, en andel som motsvarar den aktuella överskottsarealen – 10 miljoner ha – i Europa. Efter den närliggande utvidgningen av unionen från 15 till 25 länder beräknas överskottsarealen öka till omkring 30 miljoner ha. I grönboken från 2000 konstateras att andelen bioenergi inte ökat utan snarare minskat. Användningen av fossil energi förfaller ha ökat något. Problembilden med utsläpp av växthusgaser och överskottsarealerna har således inte förbättrats.

5.4 Avloppsslam som resurs i Salixodling

Näringsinnehållet i avloppsslammet i Sverige uppgår till ca 8 000 årston kväve, 6000 årston fosfor och 1000 årston kalium (Jönsson, 2002). Med utgångspunkten att fosfortillförseln är styrande för slamgivan kan det svenska avloppsslammet teoretiskt försörja 400 000–600 000 ha Salixodling. Härvid antas att fosforbehovet är 10–15 kg P/ha/år (t.ex. Hasselgren, 2003a). Vid en fosforgiva som är styrande tillgodoses samtidigt kväve- och kaliumbehovet hos Salix till ca 25 % resp. ca 7 %.

Med ett handelsgödselpris för kväve, fosfor och kalium på 7, 12 resp. 3 kr/kg (Nordberg och Edström, 1997) kan man beräkna ett värde för landets slamproduktion till ca 130 miljoner kronor. Detta motsvarar ett värde på ca 600 kr per ton torrs substans i slam. Till detta bör adderas värdet av tillförseln av mullbildande ämnen.

Mot bakgrund av svårigheterna med avsättning av slam i det konventionella jordbruket sedan LRFs och livsmedelsindustrins ”slamstopp” hösten 1999, kan det förväntas att den slamgödslade Salixarealen kan komma att öka. Motståndet till

konventionell slamspridning är tämligen kompakt och verkar hålla i sig. LRF intar dock en positiv hållning till slamgödsling av energiskog.

Som exempel på utvecklingen de senaste åren stod slamspridningen i det konventionella skånska jordbruket år 2000 för drygt hälften av slammängden. År 2001 minskade den till 25 % för att under år 2002 endast uppgå till ca 3 % av den totala slammängden. År 2002 mottog Salixodlingarna i Skåne omkring 12 % av den skånska slamproduktionen (Hasselgren, 2002).

Kommunernas alternativ till slamspridning på åkermark är i princip deponering, behandling i slamvassbäddar, jordtillverkning eller slamförbränning.

Deponering kan endast ske under begränsad tid eftersom det blir förbjudet enligt lag att deponera organiskt avfall från år 2005. Slamvassbäddar finns redan i 20-talet kommuner och är ett fullt gångbart och kostnadseffektivt alternativ. Den färdigbehandlade slamprodukten måste kunna utnyttjas eller disponeras när bäddarna töms efter en cykel om vart 10:e år ungefär. Här finns både konventionella jordbruksgrödor och Salixodling som möjliga avnämare. Vidare är det möjligt att slutprodukten kan utnyttjas som konstruktionsmaterial vid deponiåterställning. För närvarande är jordtillverkning och även kompostering ett viktigt alternativ för utnyttjande av slamresursen och kommer sannolikt att vara detta även i framtiden.

Förbränning av slam är vanligt på kontinenten och kommer sannolikt igång också i Sverige. Den rådande diskussionen kretsar kring i vilken grad slammet skall avfosforiseras före förbränningen, alternativt fosfor kan extraheras från askan. Fosforåtervinning ur slam på kemisk väg betraktas inte som någon hållbar eller ekonomisk metod, bl.a. till följd av den stora kemikalieförbrukningen. För närvarande finns ett ökat intresse för fosforåtervinning med biologiska metoder bl.a. därför att kemikalieåtgången är mindre. Vid slamförbränning, med eller utan fosforutvinning, förloras andra näringsämnen, särskilt kväve, och även slammets organiska innehåll.

Idag utgör som regel inte Salixflis någon dominerande andel av bränslemixen i energiproduktionsanläggningarna varför metallhalterna i askan är tämligen låga. Ifall omfattningen av Salixodling ökar kraftigt och upptaget av metaller uppnår extrema nivåer, kan halterna öka och avskiljning av metaller i askan erfordras vid askåterföring, alternativt askan deponeras. Analogt med vad som diskuteras vid slamförbränning är också avfosforisering av deponerad aska en möjlighet i framtiden beroende på utvecklingen på gödselmedelsmarknaden.

En sammanfattande bedömning är att det torde finnas goda möjligheter att kunna ”inveckla” mera slam i den framtida energiskogsodlingen. Slammet från de svenska reningsverken kan tillgodose den framtida bedömda energiskogsarealen fullt ut med fosfor och delar av det övriga näringsbehovet. Dessutom ger slammet ett tillskott av mullbildande ämnen. I ett europeiskt perspektiv finns ett uttalat behov av alternativa jordbruksgrödor för att möta problemen med de växande överskottsarealerna förutom generella mål att minska användningen av fossila energiresurser för att minska koldioxidutsläppen. Sverige är än så länge unikt med odlade biobränslen

på åkermark men länder som t.ex. England, Frankrike, Holland och Polen har startat upp konkreta energiskogsodlingsprogram. Möjligheten till ett hållbart utnyttjande av slam i Salixodlingar kan förväntas bidra till en ytterligare ökning av biobränslearealen i flera länder i Europa.

6 Slutsatser

Baserat på undersökningar av metallomsättningen i kommersiella och skördemogna Salixodlingar som gödslats med avloppsslam drar projektgruppen följande slutsatser:

- Upptaget av de nio undersökta metallerna (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn och Zn) i Salix var överlag högre än i konventionella jordbruksgrödor. En ökad Salixareal innebär således möjligheter att uppnå en minskad ackumulation av metaller i åkermark.
- Upptaget av Cd i stamveden hos Salix var klart större (ca 10 ggr) än tillförseln av Cd med slammet (normal slamgiva). Även inkluderat den atmosfäriska depositionen sker nettobortförsel av kadmium från jordprofilen. Detta innebär att en Salixgröda kan fungera som reningsfilter för kadmiumbelastad åkermark samtidigt som slammets innehåll av näringsämnen och mullbildande ämnen kan tillgodogöras.
- Upptaget av Zn i Salix balanserade i stort tillförseln med slammet medan för övriga studerade metaller upptaget i Salixveden var lägre än tillförseln via slammet. De undersökta odlingarna är ca 10 år gamla och består av ett relativt lågförädlad Salixmaterial. Den fortgående förädlingen av Salixkloner mot mer högproducerande plantmaterial leder långsiktigt till ett generellt högre metallupptag i Salixbestånd.
- En översyn av nuvarande riktlinjer och regelverk för slamutnyttjande på produktiv mark bör ske. Skälet är dels att metallomsättningen i slamgödslade Salixbestånd uppvisar stora skillnader jämfört med andra jordbruksgrödor, dels de geografiska/klimatiska skillnaderna i avkastning för grödor i allmänhet och därmed skillnader i närings- och metallomsättning hos växten.

- Överlag noterades att tillväxten i de undersökta slamgödslade Salixbestånden var jämförbar med tillväxten i konventionellt gödslad Salixodling. Avloppsslam kan således utgöra ett gott komplement till handelsgödselanvändningen i den svenska energiskogsodlingen.
- Slamtillförsel i Salixodling skiljer sig inte nämnvärt från traditionell slamgödsling. Exempelvis är näringsbehovet och därmed slamgivorna av samma storleksordning. Slam från de svenska reningsverken kan potentiellt försörja den bedömda framtida energiskogsarealen i landet fullt ut med fosfor förutom en del av det övriga näringsbehovet och ett ökat mullkapital.
- I ett europeiskt perspektiv finns ett uttalat behov av alternativa jordbruksgrödor för att möta problemen med de växande överskottsarealerna. Vidare finns en grundmurad målsättning att minska användningen av fossila energiresurser för att bl.a. minska koldioxidutsläppen. Här intar bioenergin en central roll. Sverige är än så länge unikt med odlade biobränslen på åkermark men flera länder har startat upp konkreta energiskogsodlingsprogram enligt det svenska konceptet. Möjligheten till ett hållbart utnyttjande av slam i Salixodlingar kan förväntas bidra till en ytterligare ökning av biobränslearealen i flera länder i Europa.

7 Referenser

- Alvén, B., Eriksson, L., Persson, S. och Hasselgren, K. (2003). "Salix som metallsanerare – en spännande utmaning." *Svenskt Vatten*, Nr 1/2003:32-33.
- Andersson, P-G. (2002). "Slamspridning på åkermark". Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981–2001. Hushållningssällskapens rapportserie, Rapport 11/2002.
- Balmér, P. (2002). "Allt bättre slam från moderna reningsverk". I: Urban växtnäring i kretslopp. Seminarium 2002-11-05, Stockholm. Rapport MAT 21 nr 4/2002, s.19–20. SLU, Uppsala.
- Bertholdsson, N-O. (2001). "Fytoremediering av tungmetaller med hjälp av Salix". *Sveriges Utsädesförenings Tidskrift* 2/2001: 84–90.
- Energimyndigheten (2003). "Uppdrag att utvärdera förutsättningarna för fortsatt marknadsintroduktion av energiskogsodling". Slutrapport till Näringsdepartementet 2003-04-28. (79 s.)
- Eriksson, J. (2001). "Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda". Naturvårdsverket Rapport 5148. (66 s.)
- Eriksson, J., Andersson, A. och Andersson, R. (1997). "Tillståndet i svensk åkermark". Naturvårdsverket Rapport 4778.
- Greger, M och Landberg, T (1999). "Use of willow in phytoextraction". *Int. J. Phytorem.* 1(2):115–124.
- Gustavsson, L., Börjesson, P., Johansson, B., Svenningsson, P. och Johansson, T. B. (1994). "Användning av biobränslen för att minska utsläppen av koldioxid i Sverige". SOU 1994:138, Bilaga 3, Stockholm.
- Hasselgren, K (2002). "Urban växtnäring på icke livsmedelsproducerande mark". I: Urban växtnäring i kretslopp. Seminarium 2002-11-05, Stockholm. Rapport MAT 21 nr 4/2002, s. 17–18. SLU, Uppsala.
- Hasselgren, K. (2003a). "Use and treatment of municipal waste products in willow biomass plantations". Rapport 3242, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet. (67 s.)
- Hasselgren, K. (2003b). "Utnyttjande och behandling av restprodukter i Salixodling – Erfarenheter från kommunala anläggningar". Rapport till Energimyndigheten, mars 2003, SWECO VIAK AB, Malmö. (80 s.)

- Johannesson, M. och Nielsen, B. (2003). "Värdering av möjligheten att rena svensk åkermark från kadmium med hjälp av Salix". ER 11:2003, Energimyndigheten, Eskilstuna. (112 s.)
- Jonsson, H. (1997). "Ramprogram energiskog 1992–1995". R 1997:3, NUTEK, Stockholm.
- Jönsson, H. (2002). "Urban växtnäring i kretslopp". I: Urban växtnäring i kretslopp. Seminarium 2002-11-05, Stockholm. Rapport MAT 21 nr 4/2002, s. 21–23. SLU, Uppsala.
- Klang-Westin, E. och Perttu, K. (2002). "Effects of nutrient supply and soil cadmium concentration on cadmium removal by willow". *Biomass and Bioenergy*, 23(6):415–426.
- Larsson, S. (1998). "Produktion – Salix". I: Bioenergi från jordbruket – Salix, stråbränslen och biogas. SLF Rapport Nr 31, s.17–23. Stiftelsen Lantbruksforskning, LRF, Stockholm.
- Larsson, S. (2001). "Förädling av Salix". *Sveriges Utsädesförenings Tidskrift* 2/2001: 91–97.
- Nordberg, Å. och Edström, M. (1997). "Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor". JTI rapport Kretslopp och avfall nr 11, JTI, Uppsala (48 s.)
- NV (1997). "Det framtida jordbruket". Naturvårdsverket Rapport 4755, Stockholm.
- Perttu, K., Eriksson, J., Greger, M., Blombäck, K., Klang-Westin, E. och Landberg, T. (2002). "Förråd och flöden av kadmium i systemet mark-Salix" Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- SCB (2002). "Utsläpp till vatten och slamproduktion 2000". Sveriges officiella statistik. Statistiska meddelanden, MI 22 SM 0101.
- Söderberg, H., Lindqvist, A. och Sörme, L. (2003). "VA-verken råder inte över metallerna". *Svenskt Vatten*, Nr 2/2003:26–27.
- Åbyhammar, T., Fahlin, M. och Holmroos, S. (1993). "Kadmium i biobränslesystemet". Rapport från samarbetsprojekt mellan Vattenfall Bioenergi och LRF/SLR. Rapport UB 1993/13, Vattenfall Utveckling, Stockholm.

Bilagor 1–10

Bilaga 1. Sammanställning över undersökta odlingar med information om kloner, planteringsår, slamspridning, tidigare skördar, etc.

Odlare	Antal ha	Kloner	Planteringsår	Slam-spridningsår	Slamgiva	Tidigare skördeår	Skördeutfall
Skåne län	(ha)	(klon)	(år)	(år)	(ton TS/ha)	(år)	(ton TS/ha)
S1 a och b	1,7	Jorunn och Jorr	1995	2000	3,9	1999	19,7
S2	4,1		1996	1996	5,9	2003	31
S3	8,3		1996	2002	7	2002	17,4
S4	9	Jorunn och Jorr	1996	1997	5,2	2000 resp 2002	21 resp 23
S5	3,6	Jorunn mm	1994	2000	2,1	2000	
S6 a, b och c	10,5	Orm, Jorr och Rapp	1995, 1996 och 2000	1996 och 2000	2,2	2000	20
S7				1998	4,6	2003	14
S8	8	Orm, Jorr och Rapp	1995	2000	3,6	2000	17,2
S9	23		1995	1996 och 2001	4,2	2001	23,7
S10	15	Orm, Rapp, Jorr och Jorunn	1995	2000	4,3	2000	7,8
Örebro län							
Ö1	7,1		1989	1994		1994	
Ö2	2,4	78:183	1991	1996	6,6	1995 resp 1999	
Ö3	4,9	78:198, 78:101 och 78:021	1991	1998	1,2	1997	14,8
Ö4	5	Blandat	1992	1998	6,7	1997	15
Ö5	5,4	78:101, 78:102 samt 78:183	1990 samt 1991	1999	8,1	1995 resp 1999	6,7 resp 13,8
Ö6	4		1989	1994 ,1995 , 1999 och 2000		1993, 1998 resp 2003	3; 10,1 resp 11,4
Ö7	16	78:101, 78:112 samt 78:183	1992	1998	4,7	1998 resp 2003	10 resp 22
Ö8	10		1992-1993	1998	8,1	1998 resp 2002	8,5 resp 25
Ö9	3		1990			1995 resp 2000	

Bilaga 2. Totalanalys av jord, nivån 0-30 cm.

Odlare	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Sn	Hg	Pb	TS-halt	pH
	mg/kg TS									%	
S1a	12	4,6	7,3	35	0,037	0,12	0,17	<0,02	11	99,3	5,5
S1b	7,5	2,2	5,9	26	0,028	0,11	0,10	0,031	11	91,8	4,9
S2	7,6	5,7	13	27	0,120	0,20	0,34	0,07	9,9	85,9	6,3
S3	10	4,4	6,9	30	0,031	0,17	0,12	<0,02	11	99,0	5,8
S4	15	5,5	10	29	0,11	0,14	0,19	0,058	12	97,9	5,6
S5	26	12	15	65	0,071	0,28	0,47	0,088	16	93,9	7,1
S6a	29	18	19	74	0,080	0,54	0,20	0,071	20	89,8	6,1
S6b	32	18	15	88	0,078	0,21	0,26	0,044	15	96,4	5,9
S6c	18	8,3	11	48	0,048	0,18	0,21	0,028	13	97,5	5,8
S7	19	10	10	58	0,14	0,17	0,10	0,06	19	83,7	5,2
S8	24	6,3	6,3	21	0,057	0,14	0,17	0,057	13	84,2	5,6
S9	42	17	16	63	0,14	0,19	0,32	0,054	18	85,2	6,2
S10	35	27	21	83	0,091	0,32	0,18	0,057	24	85,5	6,0
Ö1	46	19	18	94	0,17	0,19	0,50	0,037	23	76,2	5,4
Ö2	18	11	13	38	0,14	0,15	0,45	< 0,02	13	97,1	5,7
Ö3	57	31	30	123	0,30	0,29	0,82	0,04	28	79,0	5,8
Ö4	53	22	24	100	0,22	0,17	0,66	< 0,02	27	95,0	5,4
Ö5	40	18	19	86	0,17	0,18	0,58	0,027	25	84,4	5,2
Ö6	45	18	20	66	0,21	0,22	0,70	0,032	23	78,4	5,8
Ö7	54	24	29	101	0,18	0,15	0,51	< 0,02	27	77,9	5,2
Ö8	32	15	15	51	0,15	0,18	0,56	0,037	18	86,8	6,0
Ö9	46	24	28	104	0,20	0,20	0,62	0,026	28	94,7	6,0
Medel	30	15	16	64	0,1	0,2	0,4	0,05	18	89	5,8

Bilaga 3. AL-analys (växttillgänglig andel) av jord, nivån 0-30 cm.

Odlare	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Sn	Hg	Pb
	mg/kg TS								
S1a	0,42	1,0	0,91	3,2	0,002	0,045	0,092	< 0,02	0,56
S1b	0,44	0,74	0,60	2,3	0,001	0,035	0,067	< 0,02	0,91
S2	0,35	1,0	1,2	3,9	0,002	0,058	0,11	< 0,02	0,28
S3	0,38	0,71	0,76	2,5	0,003	0,061	0,050	< 0,02	0,44
S4	0,44	0,84	1,0	2,8	0,002	0,047	0,079	< 0,02	0,51
S5	0,42	1,0	1,1	4,8	0,004	0,084	0,19	< 0,02	0,53
S6a	0,52	1,1	1,1	3,8	0,004	0,076	0,070	< 0,02	0,44
S6b	0,55	1,0	0,82	2,5	0,003	0,059	0,083	< 0,02	0,48
S6c	0,42	1,4	1,0	6,0	0,002	0,062	0,092	< 0,02	0,44
S7	0,59	0,84	0,88	2,1	0,002	0,051	0,084	< 0,02	0,75
S8	0,57	0,94	0,51	2,3	0,003	0,037	0,048	< 0,02	0,39
S9	0,50	1,2	0,91	2,6	0,008	0,048	0,13	< 0,02	0,39
S10	0,53	0,90	0,85	1,5	0,003	0,076	0,030	< 0,02	0,67
Ö1	0,70	1,3	1,5	3,5	0,013	0,050	0,20	< 0,02	0,38
Ö2	0,44	1,1	0,75	2,1	0,008	0,044	0,15	< 0,02	0,33
Ö3	0,64	2,6	1,8	2,8	0,020	0,060	0,12	< 0,02	0,36
Ö4	0,77	1,5	1,1	2,5	0,019	0,038	0,16	< 0,02	0,44
Ö5	0,66	1,7	1,5	2,8	0,014	0,046	0,11	< 0,02	0,40
Ö6	0,74	1,8	1,0	2,6	0,018	0,055	0,14	< 0,02	0,41
Ö7	0,82	1,8	2,2	3,3	0,020	0,039	0,35	< 0,02	0,35
Ö8	0,53	1,1	0,82	2,6	0,013	0,041	0,24	< 0,02	0,37
Ö9	0,57	1,5	1,5	3,1	0,013	0,046	0,19	< 0,02	0,49
Medel	0,5	1,2	1,1	3,0	0,01	0,05	0,1	<0,02	0,5

Bilaga 4. Totalanalys av jord, nivån 30-60 cm.

Odlare	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Sn	Hg	Pb	TS-halt	pH
	mg/kg TS									%	
S1a	9,4	4,5	5,7	29	0,020	0,10	0,10	<0,02	6,8	99,5	5,7
S1b	6,0	1,6	2,5	20	0,011	0,075	0,081	<0,02	3,1	97,4	5,3
S2	8,5	3,8	6,5	16	0,033	0,12	0,12	0,038	6,1	90,4	6,5
S3	10	3,8	4,0	31	0,014	0,086	0,10	<0,02	5,6	99,4	6,3
S4	17	7,1	8,2	27	0,041	0,10	0,15	0,035	8,5	98,2	5,6
S5	30	16	30	67	0,074	0,23	0,58	0,039	17	94,7	7,3
S6a	29	22	19	51	0,068	0,26	0,18	0,034	10	95,6	6,4
S6b	32	21	16	53	0,045	0,15	0,24	<0,02	12	98,6	6,8
S6c	16	8,4	8,2	38	0,029	0,10	0,10	<0,02	7,4	99,0	6,3
S7	22	16	13	52	0,056	0,15	0,18	0,033	12	90,4	5,1
S8	23	6,1	3,0	29	0,034	0,044	0,28	0,025	7,2	90,7	5,6
S9	43	14	12	86	0,083	0,13	0,23	0,025	13	85,6	6,2
S10	29	27	18	78	0,071	0,18	0,15	< 0,02	15	89,3	5,5
Ö1	51	24	18	97	0,22	0,17	0,76	< 0,02	22	85,1	5,9
Ö2	21	13	12	41	0,15	0,14	0,49	< 0,02	13	97,2	6,2
Ö3	61	39	35	120	0,37	0,27	0,78	< 0,02	27	80,1	6,5
Ö4	57	26	28	102	0,23	0,17	0,79	< 0,02	26	95,1	5,6
Ö5	41	20	21	81	0,21	0,16	0,72	< 0,02	19	87,6	5,7
Ö6	50	21	25	76	0,28	0,18	0,70	< 0,02	22	82,5	6,0
Ö7	62	36	30	115	0,29	0,18	0,74	< 0,02	27	81,7	5,5
Ö8	28	15	15	55	0,24	0,14	0,85	< 0,02	17	89,3	6,5
Ö9	45	23	26	100	0,19	0,24	0,60	< 0,02	26	94,7	5,9
Medel	31	17	16	62	0,1	0,2	0,4	<0,02	15	92	6,0

Bilaga 5. AL-analys (växttillgänglig andel) av jord, nivån 30-60 cm.

Odlare	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Sn	Hg	Pb
	mg/kg TS								
S1a	0,39	1,4	0,91	2,3	0,002	0,029	0,050	< 0,02	0,25
S1b	0,38	0,72	0,39	1,4	0,001	0,016	0,064	< 0,02	0,44
S2	0,32	0,79	0,64	1,8	0,002	0,031	0,061	< 0,02	0,20
S3	0,41	0,71	0,69	2,2	0,002	0,020	0,029	< 0,02	0,16
S4	0,49	0,86	0,67	1,3	0,003	0,030	0,11	< 0,02	0,40
S5	0,56	1,3	1,8	5,1	0,007	0,089	0,31	< 0,02	1,1
S6a	0,46	1,5	1,0	2,4	0,004	0,035	0,037	< 0,02	0,18
S6b	0,50	1,1	0,87	2,0	0,003	0,046	0,081	< 0,02	0,35
S6c	0,44	1,5	0,74	2,1	0,002	0,027	0,044	< 0,02	0,18
S7	0,51	0,72	0,57	1,0	0,002	0,019	0,042	< 0,02	0,40
S8	1,1	0,96	0,70	1,7	0,005	0,019	0,034	< 0,02	0,30
S9	0,45	1,0	0,61	1,4	0,007	0,032	0,071	< 0,02	0,31
S10	0,44	0,87	0,79	1,2	0,003	0,029	0,048	< 0,02	0,36
Ö1	0,54	1,1	1,1	2,3	0,014	0,022	0,16	< 0,02	0,33
Ö2	0,35	1,0	0,69	1,4	0,012	0,027	0,22	< 0,02	0,31
Ö3	0,44	1,5	1,4	1,6	0,024	0,025	0,42	< 0,02	0,45
Ö4	0,63	1,3	1,1	1,9	0,020	0,025	0,16	< 0,02	0,38
Ö5	0,52	1,4	1,4	2,4	0,015	0,025	0,22	< 0,02	0,41
Ö6	0,61	1,6	1,5	2,6	0,023	0,036	0,38	< 0,02	0,43
Ö7	0,65	2,0	2,0	3,1	0,020	0,026	0,15	< 0,02	0,37
Ö8	0,42	1,1	1,5	2,9	0,025	0,022	0,35	< 0,02	0,36
Ö9	0,65	1,3	1,2	2,4	0,014	0,048	0,18	< 0,02	0,43
Medel	0,5	1,2	1,0	2,1	0,01	0,03	0,1	<0,02	0,4

Bilaga 6. Upptag av metaller i Salix (stamved)

Odlare	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Sn	Hg	Pb
	mg/kg TS								
S1a	0,17	0,53	2,8	67	0,01	1,5	0,12	<0,02	0,48
S1b	<1	0,38	2,2	53	0,012	0,95	0,12	<0,02	0,87
S2	<1	0,28	2,1	75	0,017	0,83	0,22	<0,02	0,68
S3	0,13	0,31	4,4	50	0,004	0,92	0,061	<0,02	0,2
S4	0,16	0,66	4,0	67	0,011	1,2	0,062	<0,02	0,41
S5	0,15	0,40	3,3	69	<0,002	1,13	0,13	<0,02	0,48
S6a	0,27	0,43	3,0	65	<0,002	2,6	0,059	<0,02	0,52
S6b	0,22	0,49	2,3	46	0,014	1,1	0,094	<0,02	0,8
S6c	<1	0,46	3,1	36	0,004	0,68	0,069	<0,02	0,37
S7	<1	0,32	2,7	75	0,034	1,5	0,079	<0,02	0,68
S8	<1	0,32	1,7	41	0,004	0,51	0,063	<0,02	0,24
S9	0,21	0,65	2,3	56	0,004	1,55	0,097	<0,02	0,3
S10	0,16	0,72	2,7	37	0,009	1,83	0,079	<0,02	0,49
Ö1		0,60	2,7	86	0,010	1,73	0,048	<0,02	0,12
Ö2	0,10	0,38	2,1	47	0,006	0,98	0,038	<0,02	0,11
Ö3	0,14	0,64	2,1	59	0,003	2,53	0,035	<0,02	0,16
Ö4	<1	0,35	2,1	70	0,010	1,8	0,036	<0,02	0,16
Ö5	<1	0,56	2,7	94	0,011	1,57	0,162	<0,02	0,26
Ö6	0,23	0,34	2,8	65	0,005	1,63	0,033	<0,02	0,12
Ö7	0,39	0,65	2,1	66	0,005	1,13	0,0427	<0,02	0,12
Ö8	<1	0,25	2,6	65	0,008	2,2	0,039	<0,02	0,23
Ö9	<1	0,58	3,4	85	0,006	2,07	0,039	<0,02	0,193
Medel	0,12¹	0,47	2,7	62	0,009	1,5	0,08	<0,02	0,36

¹Krom analyserades vid två tillfällen. Vid det första tillfället låg detektionsgränsen på 1 mg/kg TS. För 12 av odlingarna gjordes analysen om med ny metod och lägre detektionsgräns. Medelvärden grundar sig enbart på analyserade värden från det andra analystillfället.

Bilaga 7. Areellt upptag av metaller i Salix (stamved).

Odlare	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Sn	Pb
	g/ha/år							
S1a	1,4	4,3	23	544	0,08	12	0,98	3,9
S1b		3,0	17	419	0,09	7,4	0,94	6,8
S2		2,0	16	544	0,12	6,1	1,60	5,0
S3	0,9	2,2	32	359	0,03	6,7	0,44	1,5
S4	1,2	5,1	31	514	0,08	9,2	0,48	3,1
S5	1,2	3,3	27	570	0,01	9,4	1,08	4,0
S6a	3,6	5,7	40	853	0,01	34,4	0,78	6,9
S6b	2,3	5,0	24	477	0,14	11,3	0,97	8,2
S6c		4,3	29,	341	0,04	6,4	0,65	3,5
S7		1,6	14	378	0,17	7,6	0,40	3,4
S8		2,6	14	332	0,03	4,1	0,51	2,0
S9	1,9	5,8	20	505	0,04	13,9	0,87	2,7
S10	1,5	6,6	25	338	0,08	16,8	0,73	4,5
Ö1		0,8	3,4	111	0,01	2,2	0,06	0,15
Ö2	0,1	2,6	14	322	0,04	6,6	0,26	0,75
Ö3	0,9	3,3	11	301	0,01	13,0	0,18	0,81
Ö4		2,1	13	417	0,06	10,8	0,22	0,96
Ö5		2,8	13	463	0,05	7,8	0,80	1,3
Ö6	1,1	1,5	12	284	0,02	7,1	0,14	0,53
Ö7	1,7	4,5	14	458	0,04	7,8	0,30	0,85
Ö8		1,6	16	406	0,05	13,8	0,24	1,44
Ö9		3,3	20	484	0,03	11,8	0,22	1,10
Medel	0,7	3,4	19	428	0,06	10	0,58	2,9

Areellt upptag har ej beräknats för de halter som understiger detektionsgränsen, enligt Bilaga 6.

Bilaga 8. Förändring av kadmiummängder i mark.

Odlare	A g/ha	B g/ha	C g/ha/år	D g/ha/år	E g/ha/år	F g/ha/år	G %	H %
S1a	450	169	1,3	12	-5,2	-10,7	-29	-77
S1b	413	131	1,3	7,4	-2,6	-6,0	-16	-50
S2	750	218	1,3	6,1	-1,9	-4,6	-6	-22
S3	638	229	0,5	6,7	-3,0	-6,0	-12	-33
S4	525	176	1,6	9,2	-3,3	-7,4	-16	-47
S5	1050	315	0,6	9,4	-4,4	-8,6	-10	-35
S6a	2025	285	0,6	34	-18,1	-33,6	-22	-159
S6b	788	221	0,6	11	-5,4	-10,5	-17	-61
S6c	675	233	0,7	6,4	-2,7	-5,5	-10	-29
S7	638	191	0,6	7,6	-3,3	-6,7	-13	-43
S8	525	139	0,6	4,1	-1,5	-3,3	-7	-26
S9	713	180	0,8	14	-6,6	-12,9	-23	-92
S10	1200	285	0,7	17	-8,3	-15,9	-17	-73
Ö1	713	188	1,0	2,2	0,0	-1,0	0	0
Ö2	563	165	0,9	6,6	-2,5	-5,5	-11	-38
Ö3	1088	225	1,0	13	-6,0	-11,8	-14	-66
Ö4	638	143	0,7	11	-5,0	-9,9	-20	-88
Ö5	675	173	0,8	7,8	-3,2	-6,7	-12	-47
Ö6	825	206	2,2	7,1	-1,5	-4,6	-4	-18
Ö7	563	146	0,7	7,8	-3,4	-7,0	-15	-59
Ö8	675	154	0,8	14	-6,5	-12,7	-24	-106
Ö9	750	173	0,7	12	-5,6	-10,9	-19	-81
Medel	767	197	0,8	10	-4,5	-9,2	-14	-57

Förklaringar:

A: Total mängd i matjord

B: Växttillgänglig mängd i matjord

C: Påförd mängd via slam

D: Upptag i stamved

E: Årlig förändring av mängd i matjord

F: Årlig förändring av mängd i mark (matjord + alv)

G: Andel tillförd respektive bortförd mängd (–) av total mängd i matjord efter 25 år

H: Andel tillförd respektive bortförd mängd (–) av växttillgänglig mängd i matjord efter 25 år

Beräkningarna i kolumn E och F grundar sig på följande antaganden: 70 % av upptaget i stamveden är från matjorden. Återförseln via blad motsvarar 50 % av upptaget i stamved. Av återförseln härrör 30 % från alven. Tillförseln från våt och torr deposition är 0,5 g/ha/år. Utlakningen är 0,3 g/ha/år.

Bilaga 9. Förändring av blymängder i mark.

Odlare	A	B	C	D	E	F	G	H
	g/ha	g/ha	g/ha/år	g/ha/år	g/ha/år	g/ha/år	%	%
S1a	42800	2100	69	3,9	84	82	4,9	99
S1b	42400	3400	69	6,8	82	79	4,8	60
S2	37100	1050	38	5,0	52	50	3,5	124
S3	42800	1650	10	1,4	26	26	1,5	40
S4	43500	1900	39	3,1	54	52	3,1	70
S5	61500	2000	24	4,0	38	37	1,6	48
S6a	73100	1650	24	6,9	37	34	1,3	55
S6b	57000	1800	24	8,2	36	33	1,6	50
S6c	47300	1650	29	3,5	43	42	2,3	66
S7	69800	2800	15	3,4	30	28	1,1	26
S8	49100	1450	24	1,9	40	39	2,0	68
S9	69000	1450	19	2,7	35	34	1,3	59
S10	90800	2500	28	4,5	42	41	1,2	42
Ö1	87400	1450	31	0,2	48	48	1,4	84
Ö2	49100	1250	31	0,7	48	48	2,4	97
Ö3	105000	1350	33	0,8	49	49	1,2	92
Ö4	103000	1650	30	1,0	46	46	1,1	70
Ö5	92300	1500	36	1,3	52	52	1,4	87
Ö6	85100	1550	41	0,5	58	57	1,7	94
Ö7	102000	1300	29	0,9	46	46	1,1	87
Ö8	67500	1400	36	1,4	52	51	1,9	94
Ö9	104000	1850	30	1,1	47	46	1,1	63
Medel	69100	1750	32	2,9	47	46	2,0	72

Förklaringar:

A: Total mängd i matjord

B: Växttillgänglig mängd i matjord

C: Påförd mängd via slam

D: Upptag i stamved

E: Årlig förändring av mängd i matjord

F: Årlig förändring av mängd i mark (matjord + alv)

G: Andel tillförd mängd av total mängd i matjord efter 25 år

H: Andel tillförd mängd av växttillgänglig mängd i matjord efter 25 år

Beräkningarna i kolumn E och F grundar sig på följande antaganden: 70 % av upptaget i stamveden är från matjorden. Återförseln via blad motsvarar 20 % av upptaget i stamved (uppskattat från Hasselgren, 2003a). Av återförseln härrör 30 % från alven. Tillförseln från våt och torr deposition är 17 g/ha/år. Utlakningen försummas.

Bilaga 10. Förändring av kopparmängder i mark.

Odlare	A	B	C	D	E	F	G	H
	g/ha	g/ha	g/ha/år	g/ha/år	g/ha/år	g/ha/år	%	%
S1a	27400	3400	186	23	183	173	17	134
S1b	22100	2250	186	17	186	179	21	207
S2	48000	4500	602	16	602	596	31	335
S3	25900	2850	130	32	121	108	12	106
S4	37900	3750	396	31	388	376	26	259
S5	57000	4150	71	27	65	54	3	39
S6a	69400	4150	72	40	58	42	2	35
S6b	56300	3100	72	24	68	58	3	55
S6c	41300	3750	106	29	99	87	6	66
S7	39000	3300	175	14	177	171	11	134
S8	23600	1900	306	14	308	302	33	402
S9	61100	3400	497	20	495	487	20	363
S10	77300	3200	359	25	354	344	11	278
Ö1	65600	5650	256	3,4	264	263	10	117
Ö2	46900	2800	254	14	255	250	14	227
Ö3	113000	6750	268	11	272	267	6	101
Ö4	90000	4150	234	13	237	232	7	144
Ö5	70900	5650	283	13	285	280	10	127
Ö6	76100	3750	363	12	366	361	12	244
Ö7	110000	8250	232	14	234	228	5	71
Ö8	56300	3100	283	16	283	277	13	230
Ö9	104000	5650	239	20	238	230	6	106
Medel	59900	4050	248	19	252	244	13	172

Förklaringar:

A: Total mängd i matjord

B: Växttillgänglig mängd i matjord

C: Påförd mängd via slam

D: Upptag i stamved

E: Årlig förändring av mängd i matjord

F: Årlig förändring av mängd i mark (matjord + alv)

G: Andel tillförd mängd av total mängd i matjord efter 25 år

H: Andel tillförd mängd av växttillgänglig mängd i matjord efter 25 år

Beräkningarna i kolumn E och F grundar sig på följande antaganden: 70 % av upptaget i stamveden är från matjorden. Återförseln via blad motsvarar 35 % av upptaget i stamved (uppskattat från Hasselgren, 2003a). Av återförseln härrör 30 % från alven. Tillförseln från våt och torr deposition är 10 g/ha/år. Utlakningen försummas.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

ISBN: 91-85159-13-1