



HÖGSKOLAN
TROLLHÄTTAN · UDDEVALLA
Institutionen för informatik och matematik

2003:MV04

Examensarbete

**Energiskogsodling på bädd av kommunalt
avloppsslam**

**Cultivation of energy forest on a foundation
of municipal sludge**

Lise-Lotte Boldt och Cecilia Stridh

2003-11-07

*Högskolan Trollhättan/Uddevalla
Institutionen för informatik och matematik
Box 957, 461 29 Trollhättan
Tel: 0520-47 53 30 Fax: 0520-47 53 99*

Sammanfattning

I denna studie undersöker vi olika aspekter på användning av kommunalt avloppsslam som gödselmedel vid odling av energigrödor. Vi undersöker dessutom om plantering av energiskog (*Salix*) i en bädd av slam och flis kan vara ett bra alternativ till de metoder som används idag. Målsättningen är att skapa ett fungerande kretslopp för avloppsslam, energiskog och askåterföring. Detta hoppas vi ska minska mängden slam som går på deponi och öka intresset för energiskogsodling.

Avloppsslammet innehåller tungmetaller och organiska föreningar, vilket hindrar att slammet används som gödselmedel för spannmål. Det har dock ett värdefullt näringsinnehåll av främst fosfor, kväve och en del mikronäringsämnen som går till spillo om slammet deponeras. *Salix* visar sig ha en stor förmåga att ta upp olika ämnen. Denna förmåga kan användas i syfte att koncentrera de föroreningar som finns i slammet.

Efter förbränning av *Salix* kan olämpliga ämnen tas ur kretsloppet innan askan återförs till åkermarken. *Salix* ovanligt höga kadmiumupptag jämfört med andra skogsbränslen kan användas i syfte att rena åkermark från kadmium. På detta sätt kan även kadmium tas ur kretsloppet.

Metoden att odla energiskog på en slambädd är ny och obeprövad. Viss kunskap på området kan inhämtas från fältförsök där energiskog gödslats genom slamspridning men metoderna skiljer sig på vissa punkter och därför bör slambäddsmetoden undersökas vidare. En fortsatt undersökning bör innefatta studier av slambäddens läckage av näringsämnen och andra föroreningar samt aspekter på hur *Salix* kaliumbehov tillfredställs vid odling på slambädd.

Abstract

In this study we examine different aspects on municipal sludge use as a nutrient in cultivation of energy crops. We also study if plantation of energy forest on a foundation of sludge and woodchips is a good alternative compared to methods common today. The purpose is to achieve a functional circulation system concerning sewage sludge, energy crops and returning the ashes after combustion. This we hope will decrease the amount of sludge being deposited and will lead to an increased interest in energy forest cultivation.

The sewage sludge contains heavy metals and organic compounds which impedes the use of sludge as fertilizer for grain. The valuable content of fertilizers, foremost phosphorus, nitrogen and some micro nutritive substances, are wasted if the sludge are deposited. *Salix* has a high potential of uptake of different substances. This potential can be used to concentrate the sludge pollutants.

After combustion of *Salix*, unsuitable substances can be removed from the biological cycle before returning the ashes to the arable land. The unusual high uptake of cadmium in *Salix*, compared to other forest fuels, may be used as a means of cleaning cadmium from arable land. In this way cadmium is also removed from the biological cycle.

The method, cultivation of energy forest on a foundation of sludge and wood chips, is new and untried. Some knowledge about this area can be found in results from projects where energy forest has been manured by spreading sludge. The methods differ at some points which makes it necessary to investigate this aspect further. A coming study will have to concern leakage of fertilizers and other pollutants as well as if *Salix* demand for potassium can be satisfied when it is cultivated on a foundation of sludge and wood chips.

Innehållsförteckning

1	<u>INLEDNING</u>	1
2	<u>AVLOPPSSLAM</u>	2
3	<u>ENERGISKOG</u>	5
3.1	<u>Energiskogsproduktion</u>	6
4	<u>EXEMPEL PÅ FÖRSÖKSODLINGAR I SVERIGE</u>	7
	<u>Tabell 3</u>	8
5	<u>NÄRINGS- OCH METALLUPPTAG AV SALIX</u>	9
6	<u>SALIX-ODLING PÅ SLAMBÄDD</u>	11
7	<u>RÖKGASERNAS INNEHÅLL VID FÖRBRÄNNING</u>	11
8	<u>ASKANS INNEHÅLL EFTER FÖRBRÄNNING</u>	12
8.1	<u>Termisk kadmiumrening</u>	14
9	<u>RISKER MED ODLING AV SALIX PÅ AVLOPPSSLAM</u>	15
10	<u>DISKUSSION</u>	16
11	<u>SLUTSATS</u>	19
12	<u>EXEMPEL PÅ FORTSATT LÄSNING OCH FORTSATTA STUDIER</u>	21
13	<u>REFERENSER</u>	22
14	<u>BILAGOR</u>	25
	<u>Bilaga 1</u>	25
	<u>10. Produktion av slutbehandlat slam (ton TS) vid kommunala reningsverk 2000 samt slammets innehåll av näringsämnen, tungmetaller och organiska miljögifter (kg), efter storleksklass</u>	25
	<u>Bilaga 2</u>	26
	<u>Metallhalter i bränslen och askor enhet mg/kg TS</u>	26
	<u>Energiinnehåll i olika Biobränslen</u>	26
	<u>Energiinnehåll och bränsleförbrukning med olika bränslealternativ:</u>	26

1 Inledning

Det svenska avloppsslammet har en relativt god kvalitet mätt med globala mått, eftersom vi har de hårdaste kvalitetskraven i världen. Kommunerna och länsstyrelserna arbetar som tillsynsmyndigheter och kontrollerar därför utsläpp till avlopps nätet. Därigenom minskar föroreningarna som inkommer till avloppsreningsverken. Bättre avloppsreningsteknik medför också att slammet i slutändan inte innehåller lika mycket organiska miljögifter och metaller som det gjort tidigare år. De allra flesta avloppsreningsverk klarar att rena slammet tillräckligt mycket för att klara de gällande gränsvärdena för metallinnehåll i slam. Däremot används inte slammet på åkermark för livsmedelsproduktion för säkerhets skull, på grund av sitt innehåll av tungmetaller och svårnedbrytbara organiska föreningar.

Lantbrukarnas riksförbund (LRF), Svenska Vatten, Avloppsverksföreningen och Naturvårdsverket har tagit fram frivilliga försiktighetsåtgärder för slam användning i jordbruket med tanke på olika svårnedbrytbara organiska föreningar (LRF, 2002). Denna överenskommelse har lett till att mätningar utförs regelbundet av organiska indikatorämnen i slam eftersom det fortfarande är osäkert hur dessa ämnen bryts ned i marken och hur dessa påverkar mark och växtlighet. Slam vars indikatorämnen är högre än fastställda gränser får spridas i *Salix*-odlingar men det måste därefter sedan gå fem år innan en foder- eller livsmedelsgröda får odlas på åkermarken (Diedrich & Bramryd, 1995).

Avloppsslammet ska användas på ett sådant sätt att kvaliteten hos jorden samt yt- och grundvattnet inte försämras. Dessutom ska avloppsslammet behandlas innan det kan användas i jordbruket. Obehandlat avloppsslam får dock användas om det brukas ned senast inom ett dygn från spridningen och användningen inte leder till olägenheter för närboende (SNFS 1994:2).

Energiskog har länge ansetts olönsam att odla jämfört med andra markanvändningsalternativ. På marknaden ökar nu efterfrågan på biobränsle vilket gör energiskog intressant. Det utförs försök i flera svenska kommuner där olika typer av avloppsslam ersätter konventionella gödselmedel i energiskogsodlingar.

Denna studie syftar till att få en bra teoretisk grund som kan användas vid ett eventuellt försöksprojekt i en lämplig kommun. Det tycks vara vanligt med fältförsök i Sverige där energiskog bevattnas med avloppsvatten. Däremot ska vi i detta projekt studera om det är lämpligt att odla energiskog på en bädd av avvattnat avloppsslam och på så sätt uppmärksamma nya användningsområden för slammet. Goda resultat kan dessutom öka intresset för energiskogsodling och därmed leda till en större produktion av biobränslen.

Detta arbete är en litteraturstudie som ska belysa olika aspekter på odling av energiskog kopplat till det kommunala avloppsslammet. Vi söker svar på följande frågor: Vilka ämnen innehåller det avvattnade avloppsslammet? Vilka av dessa tar energiskogen upp? Kan man använda detta för att koncentrera föroreningarna i slammet i *Salix* biomassa? Kan tungmetallerna ha en begränsande inverkan på energiskogens tillväxt? Tillgodoses energiskogens näringsbehov? Vilka risker finns med odling av *Salix* på avloppsslam. Vilka ämnen hamnar i rök och aska vid förbränning av den slamodlade energiskogen? Hur ska aska tas omhand och vilken rökgasrening ska användas för att minimera utsläpp av skadliga ämnen? Slutligen ska vi undersöka om energiskogsodling på bädd av kommunalt avloppsslam kan vara ett bra odlingsalternativ jämfört med de odlingsformer som är vanliga idag.

I projektet ska vi även undersöka om den ersättning kommunerna ger till mottagaren av slammet kan göra energiskogsodlingen mer attraktiv.

2 Avloppsslam

Avloppsslammet är den restprodukt som speglar vårt samhälle och vi kan se en mängd olika kemikalier som används i olika verksamheter. Avloppsvatten från tätorter innehåller hushållens dricksvatten men också organiskt avfall från hushåll, handel och industrier. Avloppsreningsverken behandlar detta avloppsvatten som ger upphov till ett fosforrikt slam. Detta slam kan användas i flera olika syften, men graden av föroreningar i slammet är avgörande för användningsområdet.

Avloppsslammet kan användas för tillverkning av jordsetsättnings- och jordförbättringsprodukter för grönytor och i olika typer av markbyggnadsprojekt. Det finns många parker, golfbanor, vägslänter med mera som behöver underhållas. Här

kan slam eller slambaserade produkter användas för att tillföra organiskt mullbildande material och näring. Energiproduktion genom förbränning, är ett annat användningsområde, som är mer vanligt förekommande i Europa. Däremot ökar intresset i Sverige eftersom slammet har ett energivärde som är jämförbart med biobränslen. Förbränning av slammet möjliggör deponering av restprodukterna eftersom de i huvudsak är oorganiska och därmed inte omfattas av det möjliga förbudet för deponering av organiskt avfall från och med 2005. Rötning av slammet är också en metod som redan används på medelstora och större avloppsreningsverk. Biogasen som uppkommer, utnyttjas i huvudsak för att producera värme eller energi, men kan också användas som drivmedel.

Slam kan även användas som gödselmedel inom jord- och skogsbruk. Tyvärr finns det en stor ovilja mot att använda slammet inom foderproduktion, eftersom slammet innehåller metaller och organiska föreningar. Däremot ökar intresset för att använda slam i skogsbruk. Vid försurning och vid intensiva skogsbruksmetoder, kan torkat slam användas som kvävekompensation och kvävegödsling. Aska från förbränning av slam, antingen separat förbränning eller tillsammans med trädbränsle, kan också användas som kompensation och gödsling av fosfor, inom skogsbruket. Slam tillsammans med aska kan också fungera väl för tätning och täckning av deponier (Camper *et al*, 2000) (Tideström *et al*, 2000).

Reningsverkens produktion av potentiellt användbart slam uppskattades år 2000 till ca 222 000ton i Sverige och ökar något för varje år. Mängden slam som går på deponi, har minskat med 25 % från 1998 till 2000. Minskningen beror främst på uppkomsten av andra användningsområden av slammet, som exempelvis gödningsmedel (SCB, 2000). I regeringens proposition 1996/97:172 finns ett förslag att ett generellt förbud mot deponering av organiskt avfall bör införas från år 2005.

I Sverige har flera försöksodlingar gjorts där energiskog gödslats med avloppsvatten respektive genom slamspridning. Det är också möjligt att gå ett steg längre och plantera energiskog i en bädd av avvattnat slam blandat med sågspån och grönflis. Denna slambäddsodling gödslas sedan med antingen avloppsvatten eller avloppsslam.

Att slam innehåller många näringsämnen är en klar fördel men däremot är ju problemet att det också innehåller metaller och organiska föreningar, vilket försvårar för användningen av det. Slam som uppkommer vid rening av avloppsvatten innehåller organisk substans, kväve- och fosforföreningar, samt i viss mån metaller och svårnedbrytbara organiska föreningar. (Se bilaga 1) Metaller som kan finnas i avloppsslam är bly, kadmium, koppar,

krom, kvicksilver, nickel och zink. Slammet kan även innehålla PAH, polyaromatiska kolväten, som är en samlingsparameter som omfattar många kemiska föreningar, varav flera är cancerogena.

Dessutom kan det innehålla PCB, polyklorerade bifenyler, som är föreningar med stor tendens till bioackumulation och som orsakar fortplantningsstörningar hos däggdjur. Föreningar som också är vanligt förekommande i slam är nonylfenol, $C_6H_5C_9H_{19}$, som är ett svårnedbrytbart, bioackumulerande ämne med giftverkan mot vattenlevande organismer. BOD₇ (biologisk syreförbrukning) samt COD_{Cr} (kemisk syreförbrukning) är parametrar som mäter den biologiska tillgängligheten av kolet.

Naturvårdsverket har fastställt de svenska rikt- och gränsvärdena för slam. Riktvärden är värden för halter av föroreningar som bör underskridas för att uppehålla en god miljö. Dessa värden är vägledande och ej bindande. Gränsvärden däremot, är bindande och får i princip inte överskridas. Om ett gränsvärde överskrids, utan att någon rimlig förklaring kan lämnas, till exempel olyckshändelse eller oavsiktligt tekniskt missöde, anmäler länsstyrelsens miljövårdsenhet normalt överskridandet till åklagare för utredning om eventuellt brott mot miljöskyddslagen.

Nedan visas rikt- och gränsvärden för halterna av metaller och organiska miljöindikatorer i slam som används på åkermark.

Tabell 1

Ämne	Mg/kg torrsubstans			
	Gränsvärde		Riktvärde	
	1994-1997	1998	1994-1996	1997-1998
Bly	200	100		
Kadmium	4	2		
Koppar	1 200	600		
Krom	100	100		
Kvicksilver	5	2,5		
Nickel	50	50		
Zink	800	800		
Nonylfenol			100	50
Toluen			5	5 ¹
PAH			3	3
PCB			0,4	0,4

1) Detta riktvärde är avskaffat från och med 1999 eftersom parametern anses svårtolkad.

(SCB, 2000)

Det finns också gränsvärden (SNFS 1994:2) för årlig tillförsel till åkermark via avloppsslam. I tabellen nedan visas gränsvärden som räknats ut för ett genomsnitt på en sjuårsperiod.

Tabell 2

Metall g /ha och år	Fr.o.m. år 2000
Pb	25
Cd	0.75
Cu	300
Cr	40
Hg	1,5
Ni	25
Zn	600

(Statens Naturvårdsverk, 1994)

Naturvårdsverket gör kontinuerliga mätningar på genomsnittliga halter av metaller och organiska miljögifter i slam. Enligt statistik från SCB (2000) är det 16 procent, som missar minst ett av tio gräns- och riktvärden. För 59 procent av slammet rapporteras godkända halter för samtliga tio gräns- och riktvärden. Resten av underlaget, 24 procent, saknar fullständig information om alla 10 villkoren. Det bör dock noteras att halterna varierade kraftigt mellan enskilda reningsverk. Vid studier av äldre statistik från SCB om överskridanden av gräns- och riktvärden, har vi funnit att trenden går mot långsamt sjunkande halter utom för koppar, och för organiska föreningar har halterna sjunkit något sedan 1998.

3 Energiskog

Biobränslen kan delas in i trädbränslen, åkerbränslen, avlutar och avfall. Avlutar är restprodukter från massatillverkning och trädbränslen består av produkter från skogsindustrin som ved, bark och spån. Torv är också ett biobränsle men återbildas så långsamt att det skiljer sig från de övriga förnyelsebara biobränslena. Åkerbränslen är olika former av energigrödor - till exempel energigräs, halm, raps och energiskog.

Idag utgörs 19 % av Sveriges energitillförsel av biobränslen vilket motsvarar ca 100 TWh (Energimyndigheten, 2000). Under de senaste tio åren har det varit en ökning med 3 TWh per år för biobränslen. Energiskogen upptar idag endast 0.5% av den totala åkermarken i Sverige. Framtidsutsikterna ser ändå goda ut då energiskog inom cirka 20 år tros motsvara en energiproduktion på 15 TWh per år (Svebio, 2002).

Energiskog är bestånd av snabbväxande lövträd eller buskar som är odlade för att användas som energiråvara. Exempel på detta är gråal, poppel, björk, hybridasp och pil.

Det har visat sig att buskformiga pilarter (*Salix*) är mest fördelaktiga på grund av att de har en hög produktion av biomassa samt kan skördas i flera omgångar utan nyplantering (Nutek, 1992). De dominerande pilarterna i energiskog är korgpil (*Salix viminalis*) och vattenpil (*S.dasyclados*).

Energiskogsodlingar upptar idag en yta på cirka 14 000 hektar koncentrerat till jordbruksområdena i södra och mellersta Sverige. Potentiellt kan 10 % av den nuvarande åkerarealen (2,9 miljoner hektar) användas till energiskogsodling (Energimyndigheten, 2000)(Ahlfont,1997).

3.1 Energiskogsproduktion

I boken "Bioenergi del 1" (1994) redogör Ljungblom för hur produktion av energiskog bedrivs. Året före plantering krävs en grundgödsling och bekämpning av roto-gräs. Fältet planteras sedan efter att en jordbearbetning utförts med stamsticklingar av den pilsort som är aktuell. Under etableringsåret krävs ingen gödsling.

Ogräs bekämpas till en början med kemiska eller mekaniska metoder. När pilen börjat växa till sig så konkurrerar den sedan ut ogräset. De efterföljande åren behöver odlingen gödslas för att få en god tillväxt.

Tillväxten i en energiskog avgörs främst av vattentillgången men är också beroende av hur mycket näring som finns tillgänglig. Det långsiktiga behovet av tillförd näring är litet om man jämför med den mängd biomassa som produceras. Det beror på att näringen i en energiskogsodling cirkulerar, när de näringsrika bladen faller av under hösten och sedan bryts ned och används igen (Diedrich, 1995).

Det går åt 5-8 ton torrsbstans slam per hektar för att grundgödsla en åker innan en energiskog planteras. Denna grundgödsling kan även utföras i form av en bädd och i så fall blandas den tidigare uppgivna mängden med sågspån och grönflis. Grundgödsling med slam i någon form ökar samtidigt markens mullhalt (Danfors *et al*, 1997).I *Salix*-odlingar uppgår gödslingskostnaden till cirka 18 % av den totala produktionskostnaden (Diedrich, 1992).

Den period som innefattar tillväxt och slutligen skörd kallas för omdrevstid. Ljungblom hävdar att den ekonomiskt bästa omdrevstiden är 3-5 år. Energiskogen skördas vintertid när

bladen fallit av för att garantera att näring återförs. Vid skörden används skördemaskiner som antingen fäller och buntar ihop energiskogen eller som flisar den direkt. Salixbränsle bryts lätt ned och bör därför inte lagras i flisad form. Efter 20-25 år avtar produktionen och odlingen bryts upp och omplanteras (Ljungblom, 1994).

Humushalten i marken ökar efterhand vid odling av energiskog, eftersom blad och rötter återförs till marken. Detta gynnar markfaunan som får mer organiskt material att leva av. Jordbearbetningen i en energiskogsodling är sparsam och det behövs inte lika mycket bekämpningsmedel som vid spannmålsodling (Nutek, 1992).

Energiskogen kräver en lång vegetationsperiod vilket begränsar odlingarna i Sverige till vissa områden. Områden med ofta förekommande frostnätter är också olämpliga och måste undvikas. Det leder till att det främst är områden som Mälardalen och södra Sverige som är aktuella för odling.

4 Exempel på försöksodlingar i Sverige

I Sverige har ett antal försöksodlingar av bland annat energiskog gjorts. Odlingarna har sedan gödslats med slam eller avloppsvatten.

I Svalöfs kommun, Kågeröd, gjordes 1991 ett 5-årigt pilotprojekt där bevattning av energiskogsodling med avloppsvatten studerades. Det primära målet var att demonstrera alternativ till konventionell avloppsrening, särskilt kväve- och fosforavskiljning. Dessutom avsåg studien att utvärdera biomassaproduktionen av *Salix* (Hasselgren, 1999).

Pilotprojektet visade att produktionen av *Salix* var mycket god. Avloppsvattnet fungerade som ett komplett handelsgödselmedel för kväve, fosfor och kalium. Projektet visade dessutom att *Salixen* fungerar som ett naturligt steg för rening av avloppsvattnet. Halterna av näringsämnen och metaller (koppar, zink, bly, kadmium) minskade i avloppsvattnet i och med att de istället koncentrerades i stamveden. Studien visar också att koncentrationerna av näringsämnen och metaller i stamveden var oberoende av mängden tillfört avloppsvatten (Hasselgren, 1999).

För att studera de långsiktiga effekterna av slamspridning på åkermark gjordes fältförsök på Igelösa gård i Lund och Petersborgs gård i Malmö (Palm *et al*, 2000). Projektet inriktades

på produktion av livsmedel och foder och tillförde slammängder i enlighet med gällande föreskrifter. Slamspridningen skedde med 4 ton torrsbstans/ha vart fjärde år (1 ton torrsbstans/ha och år) samt med trefaldig giva det vill säga 12 ton torrsbstans/ha vart fjärde år (3 ton torrsbstans/ha och år).

Resultatet av fältförsöken visade att slammets halt av metaller minskade betydligt under den tid försöket pågick, samt att slamspridningen gav en skördeökning som motsvarade 500-800 kr/ha. Sockerbetor visade störst skördeökning. Studien visade inget påvisat upptag i mark av metaller vid normal giva men däremot viss ökning av metaller i mark vid trefaldig giva. Analys av organiska ämnen och dioxin gav inte något påvisat upptag (Palm *et al*, 2000).

I Laholms kommun gjordes fältförsök där färskt och lagrat våtslam användes som gödningsmedel vid ekologisk odling av spannmål (Palm *et al*, 2000). Avloppsslammet som utnyttjades kom från Veninge reningsverk och innehöll låga metallhalter. Försöken visade att tillförsel av lagrat slam på våren ökade avkastningen väsentligt och dessutom med förbättrad kvalitet på grödan utan tillförsel av annan gödsel. Slammet skulle därmed kunna utgöra en viktig växtnäringskälla (Palm *et al*, 2000) men Diedrich (1992) påpekar att i de fall slam används till energiskogsodlingar så kan kalium behöva tillsättas, då *Salix* näringsbehov av kalium är större än tillgången i slam.

NPK -relationerna i avloppsvatten respektive avloppsslam varierar. I tabellen nedan ses att mängden kalium i avloppsslam är mycket liten jämfört med mängden kalium i avloppsvatten. I de *Salix*-odlingar där avloppsslam används som gödningsmedel kan alltså mängden kalium vara för liten för *Salix* växtnäringsbehov, vilket då kan orsaka en brist i odlingen. När det gäller mängden fosfor i avloppsslammet tillgodoser det gott och väl *Salix* växtnäringsbehov och även kvävemängden tillgodoser *Salix* växtnäringsbehov.

Tabell 3

Mängdförhållanden mellan olika makronäringsämnen i avloppsslam respektive avloppsvatten och *Salix* näringsbehov

Avloppsvatten	N	P	K
Mekaniskt	100	19	64
Biologiskt	100	15	69
Avloppsslam	N	P	K
Rötat	100	49	4

<u>Salix växtnäringsbehov</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>
082 1-årigt skott	100	15	35
2-årigt skott	100	17	39
086 2-årigt skott	100	19	43

(Diedrich, 1992)

5 Närings- och metallupptag av *Salix*

Salix är en av våra mest vattenkrävande växter. Vid normal tillväxt är transpirationen i genomsnitt 500 mm/år. Detta höga vattenupptag ger en hög genomströmning som i sin tur leder till ett högt upptag av olika ämnen. Därför kan *Salix* ta upp tungmetaller i förhållandevis hög omfattning (Diedrich, 1992). *Salix* kapacitet att ta upp metaller kan till och med vara högre än det totala metallinnehållet som finns i tillfört slam. (Svenskt vatten, 2003) Den största ackumuleringspotentialen har dock *Salix* när föroreningsnivåerna är relativt låga, arealerna stora och tiden för reningsprocessen är av mindre betydelse (Ahlfont, 1997). Vid lågt pH i marken är generellt tungmetallupptaget högre (Diedrich, 1992). Ett lågt pH ökar således *Salix* kadmiumupptag. Det beror på att när mängden vätejoner ökar, sker lätt ett utbyte mellan kadmiumjoner och vätejoner, vilket leder till att mer kadmium frigörs och blir tillgängligt för växten (Östman, 1994).

Kadmium i åkermark är ett miljö- och hälsoproblem, eftersom det till skillnad från exempelvis bly och kvicksilver inte binds särskilt hårt i åkermarken. Det tas därför lätt upp av växterna och kan sedan skada människor som äter av de grödor som odlats på åkermarken. Utlakningen av kadmium går långsamt på grund av åkermarkens relativt höga pH-värde. Det kadmium som finns i åkermarken kommer därför till en mycket stor del att vara kvar tills dess att det tas upp av växterna (Naturvårdsverket, 2001).

Mätningar som gjorts i Enköping visar att *Salix* tar upp 9,8 g kadmium per hektar och år (Svenskt Vatten, 2003), bly 2-3 g/ha och år, koppar 15-30 g/ha och år samt zink 350-700g/ha och år (Hasselgren, 1999).

Energiskog har även förmåga att ta upp större mängder kväve än andra trädgrödor. *Salix* kan vid brist på kväve och fosfor öka sin andel rötter i plantan och på så sätt nå en större mängd jord. Uppstår det brist på kalium, mangan eller magnesium minskar istället rottillväxten och plantans skydd mot angrepp av skadeinsekter och svampsjukdomar försvagas (Diedrich & Bramryd, 1995).

Mängden växtnäring och metaller i marken minskar i takt med *Salix* tillväxt, på grund av att *Salix* under sin tillväxt tar upp många ämnen och koncentrerar dessa i sin biomassa. I tabell 4 ses upptag av näringsämnen och metaller i stam hos 3-åriga skott på 4-åriga rötter. Värdena är uppmätta på *Salix* som gödslats med avloppsvatten.

Tabell 4

Ämne	g/kg TS
N	5,1 – 6,0
P	1,1 – 1,3
K	2,2 – 3,1
Ca	3,2 – 5,5
Ämne	mg/kg TS
Mg	420 - 560
S	370 - 450
Mn	37 - 53
Cu	3,9 – 4,4
Zn	75 - 103
Pb	0,24 - 0,29
Cd	0,75 - 2,5

(Efter Hasselgren, 1999)

Upptaget av olika näringsämnen och metaller varierar i olika delar av *Salix*-plantan. *Salix* kadmiumrika löv kan ställa till problem när de på hösten faller av eftersom metaller och föroreningar då återförs till matjorden. Försök har dock visat att lägre halter växttillgängligt kadmium kunnat påvisas efterhand, vilket tyder på att den markkrenande processen är större än den återförande processen vid bladfällning (Ahlfont, 1997). Dessutom kan olika *Salix*-arter skilja i upptagningsförmåga av näringsämnen och metaller (Hasselgren, 1999).

Organiska föroreningar är en stor grupp med varierande egenskaper. Flyktiga organiska föroreningar avdunstar när slammet sprids och aromatiska ämnen i slammet bryts ner genom fotolys. De flesta organiska föroreningarna adsorberas dock till jordens organiska beståndsdelar. Dessa ämnen bryts ned i marken men det kan dröja mellan ett par dagar och upp till 15 år beroende på vilken förorening som avses (Diedrich, 1992). *Salix*, liksom andra växter, kan inte ta upp svårnedbrytbara organiska föroreningar eftersom molekylerna är för stora. Däremot kan ämnen med hög flyktighet och fettlöslighet, exempelvis ftalater och klorerade kolväten, tränga in i växten genom avdunstning från marken. (Diedrich, 1995).

6 *Salix*-odling på slambädd

Salix kan planteras direkt i en slamkompostbädd gjord av slam, sågspån och grönflis. Därigenom uppnås en bra sammansatt och lucker jord för *Salixen* att växa i, samtidigt som näringsinnehållet i slammet tillvaratas. Slambädden fungerar dessutom som en första förrådsgödsling av näringsämnen, som annars hade behövts göras innan plantering av *Salixen* (Landskrona kommun, 2003).

För att få en komplett bädd för plantering av *Salix*, blandas slam med annat organiskt material. Bädden bör innehålla 40 volymprocent slam med ca 20 % torrsbstanshalt, 40 volymprocent sågspån med ca 90-95 % torrsbstanshalt samt 20 volymprocent grönflis med ca 50 % torrsbstanshalt (Svenskt Vatten, 2003). Dessa komponenter ska blandas väl så att en bra kompost uppnås. I och med att sågspånet är nästan torrt, medför det att komposten bör vila ett par dagar för att dra åt sig vattnet i slammet. När komposten är bra läggs den ut i ett 40-50 cm tjockt skikt. Efter sättning och avdunstning av vatten sker plantering av *Salix* (Landskrona kommun, 2003).

Som vi tidigare visat, har *Salix* en stor förmåga att ta upp metaller och näringsämnen. Ofta till och med större mängder än vad som tillförs genom slammet. Därmed kan *Salix* användas som ett reningssteg för, i första hand, slammet i slambädden, men också för att minska markens befintliga förråd på metaller.

Slambädden ger alltså en utmärkt start för *Salix*-plantan genom en bra jordsammansättning och ett bra näringsinnehåll. Påföljande år bör *Salix*-odlingen på slambädd gödslas med antingen avloppsvatten, eller tillsätts slam, så att *Salixens* näringsbehov fortsättningsvis tillgodoses.

I ett nystartat VA-Forsk projekt i Landskrona kommun kartläggs och dokumenteras *Salix* betydelse som metallackumulerare när den planteras i en slamkompost. Forskningsprojektet studerar hur effektivt och hur snabbt *Salix* kan rena slam från tungmetaller. Men projektet ska även tydliggöra omhändertagandet av slam för att på bästa sätt återanpassa det i kretsloppet. Resultat från detta forskningsprojekt beräknas komma senast 2007 (Svenskt Vatten, 2003).

7 Rökgasernas innehåll vid förbränning

Förbränning av energiskog frigör de ämnen som finns koncentrerade i biomassan. Det innebär att exempelvis kadmium och andra metaller finns i rökgaserna. När energiskog

förbränns är det särskilt viktigt att det finns en bra stoftrening för att bränslets kadmiuminnehåll inte ska följa med rökgaserna ut. Vid otillräcklig stoftrening kan uppemot 50 % av kadmiumet följa med rökgaserna ut. Med bra stoftavskiljning kan detta begränsas till någon enstaka procent och resten blir då kvar i flygaskan (Ahlfont, 1997). I Sverige är dock generellt förbränningsanläggningarna moderna och har en miljögodkänd teknik, vilket ger mycket små utsläpp av tungmetaller och andra föroreningar i rökgaserna. Dessa fastläggs alltså istället i askan.

Förbränning av energigrödor ger inte något nettotillskott av koldioxid till atmosfären och bidrar därför inte till växthuseffekten. Svavelutsläppen vid förbränningen av dessa bränslen är dessutom försumbara (Nutek, 1992). Vid förbränning av biobränslen är för det mesta förbrännings-temperaturen så låg att det inte bildas någon termisk NO_x. Därmed kommer all NO_x från bränslets kväveinnehåll (Karlsson *et al*, 1992).

8 Askans innehåll efter förbränning

Energiskog kan efter skörd och flisning blandas samman med andra biobränslen i en bränslemix. Detta är vanligt i större värmeverk. I mindre anläggningar måste dock energiskogen ha behandlats ytterligare innan den förbränns. Vid behandlingen torkas och mals den flisade energiskogen. Detta ökar bränslets energitäthet och ger ett högre värmevärde, eftersom bränslets energi inte går åt till att förångas vatten (Ljungblom, 1994).

Salix-flis utgör än så länge en mindre andel av bränslemixen i de större värmeverken. Det betyder att metallhalterna i askan efter förbränning är låga. Ökar däremot andelen *Salix*-flis i mixen, så kan metallhalterna bli för höga, och då krävs rening för att senare kunna sprida askan (Notis, 2003). Kadmiumkoncentrationen i askan är därmed mindre när *Salix* blandas med andra bränslen men mängden kadmium är fortfarande den samma.

Askans kemiska sammansättning är densamma som bränslets ursprungliga sammansättning. Det betyder att de näringsämnen och giftiga tungmetaller som fanns i bränslet återfinns i askan. Det enda undantaget är bränslets kväveinnehåll som istället omvandlas till kvävgas eller NO_x vid förbränningen.

De viktigaste beståndsdelarna i aska är makronäringsämnena kalcium, magnesium, kalium och fosfor samt om bränslet förorenats med grus även höga halter av kisel. Kalcium utgör

10-30 % av det totala innehållet medan kalium och magnesium utgör ett par procent. Fosfor står knappt för 1 % av innehållet (Skarp et al, 1996). Askan innehåller även viktiga mikronäringsämnen som bor, koppar, molybden och zink samt giftiga tungmetaller såsom kadmium, kvicksilver och bly (Skarp et al., 1996).

Askhalten varierar för olika trädslag samt för vilka delar av trädet/busken som använts. Det är dock inte bara askhalten i bränslet som avgör hur stor restprodukt förbränningen ger. (Se bilaga 2) I restprodukten återfinns också diverse grusföreningar från skörd och hantering samt oförbränt organiskt material. Restprodukterna återfinns i både botten- och flygaska.

Tungmetallinnehållet i *Salix*-aska motsvarar tungmetallsinnehållet i skogsbränsleaska (se bilaga 2), förutom att innehållet av kadmium är högre. Kadmiumhalten i *Salix*-aska är mellan 40-85 mg/kg torrsubstans (Ahlfont, 1997), vilket gör att denna aska eventuellt måste renas innan den kan återföras.

Fördelningen mellan flyg och bottenaska är jämn när det gäller kalcium, magnesium, fosfor, mangan och järn. Däremot så återfinns kalium och svavel i större grad i flygaskan. Flyktiga metaller kondenserar ut och anrikas i flygaskans små partiklar. Det gör att det kan finnas höga halter av arsenik, kadmium, bly och zink i flygaskan, medan bottenaskan innehåller mycket lite av dessa ämnen. Flygaskan kommer jämfört med bottenaskan också att innehålla en större mängd oförbränt material. I bottenaskan återfinns främst kisel och aluminium (Skarp et al, 1996).

Återföring av askan är viktig för att återföra näringen till den mark där bränslet hämtats. Askan innehåller det *Salix*en behöver, särskilt kalium och fosfor. Dessutom ingår kalcium i höga halter vilket ger ett högt kalkvärde. Det enda som saknas i askan som *Salix* behöver är kväve, eftersom det avgår i rökgaserna (Sjöblom, 2001). Det räcker att aska återförs en gång under energiskogens omloppstid.

Askan formas till kulor innan den sprids ut för att underlätta hanteringen och för att utlösningen av askan ska gå saktare (Diedrich, 1992). Kostnaden för att behandla och sprida ut aska är 0.5 öre/kWh bränsle, vilket är lägre än kostnaden för att deponera aska (Energimyndigheten, 2000). Från och med årsskiftet 1999/2000 infördes en deponiskatt på askor på 250 SEK/ton. Dessutom tillkommer en deponiavgift på 500 SEK/ton (Sjöblom, 2001).

Det finns inga föreskrifter om hur aska från energigrödor ska hanteras men de föreskrifter som finns för spridning av slam kan användas när det gäller askspridning (Hadders, 1997). De marker som har halter som överskrider något av de angivna gränsvärdena ska undantas från spridning av slam och därmed även spridning av aska. (Se tabell 2, sidan 3)

Aska berörs också av EU: s regler för användning av oorganiska gödselmedel, vilket gör att aska inte får tillföras mark där det inte sker någon produktion.

De askkomponenter som lättast löses ut vid spridning är kalium, natrium, klorid och sulfat. Övriga ämnen är svårslösliga i det höga pH-värdet som råder i partiklarna. Det gör att askans spårämnen och tungmetaller kommer att vara fastlagda till dess att askans alkalinitet är förbrukad och först när pH-värdet har sjunkit betydligt så löses magnesium, fosfor och mangan ut (Sjöblom, 2001).

8.1 Termisk kadmiumrening

Energiskog har ett ovanligt högt kadmiumupptag och askan kan därför behöva renas. När askan ska renas från kadmium så kan man utnyttja det faktum att kadmium är en flyktig metall som övergår till gasform när bränslet eller askan upphettas (Ahlfont, 1997).

Biobränsleaskor måste ofta brännas om, för att kunna härddas och spridas. Det beror på att kolhalten i askan kan vara för hög. Vid omförbränningen kan det vara lämpligt att samtidigt rena askan från kadmium. Den största delen av det stoft som finns i rökgaserna avskiljs då, med hjälp av ett cyklonfilter, innan rökgaserna kyls ned. Stoftet är då i stort sett fritt från kadmium. När rökgaserna sedan kyls ned kondenserar kadmium på de resterande stoftpartiklarna som avskiljs och tas omhand med ett filter (Ahlfont, 1997). Med denna metod så måste det finnas tillgång till en omförbränningsanläggning. Investeringskostnaden för en omförbränningsanläggning som även kan hantera kadmiumrening uppgår till 6,5 MSEK för en 1MW-anläggning och 20 MSEK för en 5 MW-anläggning (Ahlfont, 1997).

Ett annat alternativ är att kadmiumreningen utförs direkt i förbränningsanläggningen. Detta kräver dock att den befintliga utrustningen kompletteras med en högtemperaturcyklon som avskiljer kadmiumfria partiklar när temperaturen ännu är hög (Ahlfont, 1997).

Termisk kadmiumrening tillämpas i dagsläget inte på grund av att investeringen i tekniken anses dyr.

9 Risker med odling av *Salix* på avloppsslam

Den största delen av kväveinnehållet i avloppsslam är organiskt bundet och blir tillgängligt för växtupptag först efter mineralisering till ammonium. Det ammonium som inte tas upp av växten riskerar att oxideras till nitrat och utlakas då lätt från systemet. Den del som omvandlas till nitrat kan vara så stor som 37 % av det totala kväveinnehållet. Nitrat är ett ämne som rör sig lätt i marken eftersom det följer med vattnet.

Det har undersökts om avloppsslam som spridits på åkermark för *Salix*-odling kan orsaka läckage av näringsämnen. Pär Aronsson vid Sveriges lantbruksuniversitet visade att *Salixens* rötter effektivt tar upp kväve ur avloppsvatten och att en hög bevattningsintensitet inte orsakar ett ökat kväveläckage. Rötterna tar även upp kväve under vintern vilket ytterligare reducerar risken för läckage (Aronsson, 2002).

I ett försök på en sandjord i Halland visade det sig att kväveläckaget från en näringsbevattnad energiskog endast var något eller några kilo kväve per hektar och år. Detta är jämförbart med läckaget från en ogödslad vall och mycket lägre än läckaget från konventionella jordbruksgrödor på samma jord (Aronsson, 2002).

Ofta placeras energiskogsodlingar mellan åkermark och vattendrag för att minska läckaget av näringsämnen från åkermark till vattendrag. Det beror på att spannmålsodling har ett större näringsläckage än uppvuxen energiskog. I en spannmålsodling ligger näringsläckaget på cirka 27 kg/ha/år jämfört med energiskogens enstaka kg/ha/år. Placeringen skulle dock kunna utgöra en viss risk innan rotsystemet hos *Salix* hunnit utvecklas (Energimyndigheten, 2000).

Pilotprojektet i Svalöfs kommun, 1991, visade att grundvattnet inte påverkades nämnvärt av avloppsbevattning av *Salix*. Vid högre bevattningsmängder visade sig kväve-, fosfor- och BOD-halterna i grundvattnet inte öka (Hasselgren, 1999).

Kväve kan också avgå som kvävgas (N_2), dikväveoxid (N_2O) och ammoniak (NH_3) till atmosfären. (Hasselgren, 1999) Antropogena N_2O utsläpp är ett problem som leder till ökad växthuseffekt. Spridning av gödsel i olika former bidrar till ökade utsläpp av N_2O som är en mycket kraftig växthusgas. Eftersom odling av biobränsle kräver mindre gödselanvändning jämfört med livsmedelsproduktion så bör en omställning av åkermark till

odling av energiskog leda till minskade N₂O utsläpp (Brännström-Norberg *et al.*, 1994).

Askåterföring kan eventuellt påverka avgången av N₂O. Det beror på att ett förändrat pH-värde kan öka markens salthalt. Detta leder i sin tur till att nitrifikations- och denitrifikationsprocesser ökar N₂O bildningen. Det är inte helt klart hur stor denna N₂O avgång är i en *Salix*-odling (Brännström-Norberg *et al.*, 1994).

Växter som lever i en miljö som är förorenad av tungmetaller och andra föroreningar kan ibland uppvisa en dålig tillväxt. Däremot har tillväxten hos *Salix* vid slamgödsling visat sig ligga i nivå med tillväxten vid gödsling med handelsgödsel (Ahlfont, 1997). Produktionen är i genomsnitt 12 ton torrs substans per hektar och år (Diedrich, 1992). Detta visar att *Salix* inte påverkas nämnvärt av de ökade föroreningsnivåerna i avloppslammet.

Kunskapsläget är begränsat när det gäller organiska föreningar. Nedbrytningen av dessa ämnen i marken tar från ett par dagar upp till 10-15 år beroende på hur svårnedbrytbar den organiska föreningen är. Hur dessa ämnen påverkar markbiologi, bioackumuleras, och i vilken grad de är toxiska, är inte lika utrett som tungmetallernas påverkan (Diedrich, 1992).

Det kommunala avloppslammet rötas i de flesta fall. Denna process gör det möjligt att utvinna exempelvis metan för värme- eller fordonsbränsleproduktion. Det är samtidigt en metod som säkerställer att mängden patogener i slammet minskar. Det har därmed en hygieniserande effekt.

10 Diskussion

Energiskogsodling är ingen ny företeelse och kommunalt avloppsslam används redan idag för att gödsla vissa energiskogsodlingar. Det vanligaste är emellertid att energiskogsodlingar bevattnas med avloppsvatten och på det sättet tillförs näring samtidigt som *Salixen* har en renande verkan på avloppsvattnet.

Det finns ett mindre antal försöksprojekt där avloppsslam spridits på odlingar som exempelvis Igelösa gård, Lund och Petersborgs gård, Malmö (Palm *et al.*, 2000). Andelen slam som går till deponi är dock fortfarande mycket stor, cirka 120 000 ton slam per år. (SCB, 2000)

Inför ett kommande generellt förbud år 2005 mot deponering av organiskt avfall, är det viktigt att hitta ett lämpligt

användningsområde för slammet. De miljöproblem som finns i vissa kommuner med växande slamberg skulle samtidigt försvinna. Det ger kommunen samtidigt en besparing i form av minskade deponi- och transportkostnader.

Vi anser att slam i hög grad kan ersätta konventionella gödselmedel. Samtidigt koncentreras metallinnehållet i askan vid förbränningen av *Salix*, och kan tas om hand enligt de metoder som redan tillämpas för farligt avfall. Detta innebär en hållbar återvinning av slam som alternativ till förbränning, deponering eller annan resurskrävande hantering.

Det kan kanske tyckas vara ett bra alternativ att bränna slammet och samla upp metaller och organiska föreningar direkt. Men vår åsikt är att det är bättre att använda slammet som en växtnäringsresurs och utnyttja dess jordförbättrande egenskap. På så sätt kan mängden handelsgödsel som används minskas. Dessutom utgör *Salix* ett bra bränsle som kompletterar energimarknadens behov av fler biobränslen. Slamanvändning, energiskogsodling, och askåterföring ger ett bra kretslopp, vilket är att föredra vid energiproduktion.

Den grundgödsling som krävs året innan plantering av energiskog skulle kunna utgöras av en avloppsslamsblandning eller en så kallad slambädd. Det ger en bra sammansatt och lucker jord för *Salixen* att växa i, samtidigt som näringsinnehållet i slammet tillvaratas. Slambädden fungerar då som en första förrådsgödsling av näringsämnen. Slambäddens jordförbättrande egenskaper medför även att magrare jordar kan användas för odling av energiskog. På så sätt kan de bästa jordarna sparas till livsmedels- och foderproduktion.

Mängden avloppsslam som kan spridas ut på åkermark i form av en slambädd avgörs av det befintliga metallinnehållet på den aktuella platsen samt på slammets föroreningsinnehåll. Detta beror på att givan av slam inte får medföra att de tillåtna gränsvärdena överskrids.

Det finns idag inga resultat som visar att läckaget från en slambädd skulle vara större än vid vanlig förrådsgödsling. Läckage av olika föroreningar och näringsämnen kan dock utgöra en risk och slambäddens effekter behöver därför undersökas vidare.

Salix ackumulerar en stor mängd metaller. Det gör att slamspridningen kan fungera som ytterligare ett reningssteg. Försök har visat att *Salix* har en förmåga att ta upp en större mängd metaller än vad som har tillförts via slammet och detta innebär att energiskogen i så fall har en renande verkan på åkermarken när det gäller tungmetaller.

Det är viktigt att välja en *Salix*-art som lagrar den största delen kadmium i stammen och en mindre del i rot och blad. Det kadmium som finns i rot och blad kommer att finnas kvar efter skörd och tas därmed inte ur kretsloppet förrän det åter blivit växttillgängligt.

Markens långsiktiga produktionsförmåga måste bibehållas och det måste vara möjligt att återgå till spannmålsodling efter fem år utan att marken förorenas. Som vi tidigare har skrivit så kan det ta allt från ett par dagar upp till 15 år innan organiska föreningar är nedbrutna. Detta kan innebära att vid en omställning till spannmålsproduktion efter fem år, kan marken fortfarande innehålla svårnedbrytbara organiska föreningar.

De hygieniska riskerna med avloppsslammet går att hantera och näringsläckaget är till och med mindre än läckaget från en sedvanlig åkerproduktion, när energiskogen väl vuxit till sig. Tiden fram till att *Salix*-sticklingarna utvecklat ett rikligt rotsystem kan dock vara kritisk med tanke på läckage från slambädden. Här krävs eventuellt åtgärder så att läckande ämnen inte förorenar omgivningen. Speciellt när energiskog med fördel placeras vid. Detta måste undersökas vidare.

Vid fältförsök har det visats att energiskogen får bättre växtkraft och därmed större skördemängd när avloppsvatten används som gödselmedel än vid konventionell gödsling. Gödslas energiskogen däremot med slam måste troligen en kompletterande mängd kalium tillsättas, eftersom kaliuminnehållet i slam är lågt. Annars kan det uppstå kaliumbrist (Diedrich, 1992). Detta är en nackdel vid en jämförelse med alternativet avloppsvatten som innehåller en bättre mix av näringsämnen i relation till *Salix* behov.

Kalium är en av de komponenter som lättast löses ut ur aska, så bristen på kalium i slam skulle kunna kompenseras genom samspridning av slam och aska.

Fältförsök i Skåne (Andersson & Nilsson, 1996) samt i Dalarna (Linderholm, 1997), visar att fosfor i slam är långsamverkande. Det betyder att det krävs ganska lång tid för mineralisering och omvandling i marken innan växterna kan utnyttja näringen fullständigt (Palm *et al*, 2000).

Det är tveksamt om det är lönsamt att odla *Salix* på de bästa spannmålsjordarna, såvida det inte rör sig om jord som är obligatoriskt undantagen areal enligt EU:s regler. Det är tillåtet att odla *Salix* på den uttagna delen vilket därmed berättigar till ersättning. På de medelgoda och sämre jordarna kan odling av *Salix* visa sig lönsammare (Danfors *et al*, 1997).

Energiskogsodlare skulle lättare få lönsamhet i sina anläggningar om kommunen ersatte odlaren för att få sprida det kommunala avloppsslammet. Det tror vi i sin tur leder till att intresset för att odla energiskog ökar. Kostnaderna som följer med framställning av energigrödor är för stora för att odlingen ska bli konkurrenskraftig jämfört med andra energikällor (Diedrich, 1992). Vissa kommuner ersätter redan idag energiskogsodlingar för att få sprida slam medan andra kör ut det kostnadsfritt till odlaren.

Vid användning av slam är inte energiskogsodlingen beroende av att ligga nära reningsverket eftersom det går att transportera långt. Odlingar där avloppsvatten används som gödselmedel är däremot beroende av att ligga nära reningsverket eftersom det är besvärligare att transportera så stora volymer som det blir fråga om.

Energiskog är inte en ny företeelse och det finns redan en väl fungerande marknad för detta bränsle. Den totala mängden biobränsle skulle kunna öka, med tanke på att det finns stora arealer som skulle kunna användas för att odla energiskog.

Det är alltid viktigt att förbränningen utförs med bästa tillgängliga teknik så att föroreningarna avskiljs på ett bra sätt. Särskilt viktigt är detta när energiskog förbränns, eftersom *Salix* har ett ovanligt högt upptag av metaller. Skulle *Salix*-odlandet öka i omfattning så ökar andelen *Salix*-flis i värmeverkens bränsemix och då kan det uppkomma så höga metallhalter i askan att rening blir nödvändig. Kadmium är den metall som ur toxikologisk synpunkt är viktigast att avskilja. Det är därför nödvändigt att undersöka vidare hur de anläggningsinvesteringar som krävs för termisk kadmiumrening ska finansieras.

Flyktiga metaller samt oförbränt material återfinns i hög grad i flygaskan medan bottenaskan vid bra förbränningsteknik innehåller mindre av dessa ämnen. Bottenaskan blir därmed förhållandevis ren jämfört med flygaskan och fordrar inte rening på samma sätt innan spridning.

11 Slutsats

Slammet har ett värdefullt näringsinnehåll men innehåller också relativt många svårnedbrytbara organiska föreningar och metaller. Däremot har vi noterat att de flesta reningsverken klarar gällande gräns- och riktvärden, vilket betyder att de flesta gräns- och riktvärden inte överskrids. Kunskapen om framförallt

organiska föroreningar är dock dålig vilket gör att slammet som en försiktighetsåtgärd inte sprids på åkrar avsedda för livsmedelsproduktion i någon större omfattning.

Energiskog (*Salix*) har en stor förmåga att ta upp många ämnen eftersom den är så vattenkrävande. Alltså tar energiskogen upp de metaller som finns i slammet, vilket gör att energiskogen kan användas för att koncentrera föroreningsinnehållet i energiskogens biomassa.

Energiskog har vid ett flertal fältförsök visat goda tillväxtresultat, vilket tyder på att *Salix*-plantan är tolerant mot de tungmetaller och organiska föreningar som finns i slammet.

Vid gödsling av energiskog med slam måste en kompletterande mängd kalium tillsättas eftersom slammet har en för liten mängd kalium i förhållande till *Salix* näringsbehov. Däremot har undersökningar visat att avloppsvatten uppfyller hela näringsbehovet för *Salix*.

Slambädden fungerar som en första förrådsgödsling och bidrar samtidigt till en förbättring av jordens mullhalt. Därigenom uppnås en bra sammansatt och lucker jord för *Salixen* att växa i, samtidigt som näringsinnehållet i slammet tillvaratas. Slambädden är därmed ett intressant alternativ vid odling av energiskog.

Vid förbränning av den slamodlade *Salixen* måste de föroreningar tas om hand som koncentrerats i energiskogens biomassa. Särskild hänsyn måste tas när det gäller de tungmetaller som ackumulerats i *Salix*-veden, eftersom energiskogen har ett ovanligt högt upptag av exempelvis kadmium jämfört med andra trädbränslen. Detta gör att det måste finnas en bra stoftavskiljning i den värmeanläggning där *Salix* förbränns annars kan uppemot 50 % av bränslets kadmiuminnehåll följa med rökgaserna ut.

Vid samförbränning med andra biobränslen blir metallhalterna i dagsläget inte för höga i askan. Ökar däremot andelen energiskog i bränsmixen, så kommer askan att behöva renas från främst kadmium för att gällande gränsvärden inte ska överskridas.

För att få slam och energiskogsodling i ett fungerande kretslopp är det viktigt att askan efter förbränning kan återföras till den mark där bränslet tagits ut. Askan får därför inte innehålla högre halter av metaller än vad de gällande gränsvärdena tillåter.

Genom att slam utnyttjas som en växtnäringsresurs, minskar kostnaderna för både kommun och odlare. Kommunen sparar både deponi- och transportkostnader och odlaren får ersättning för mottagningen av slammet samt minskade kostnader för gödsling med handelsgödsel. Det skulle i sin tur göra energiskogsodling mer attraktivt som markanvändningsalternativ och därmed öka produktionen av biobränslen. Energiskogsodling på en bädd av slam minskar deponimängderna när slammet istället utnyttjas som växtnäringsresurs, vilket gynnar ett kretsloppssamhälle.

12 Exempel på fortsatt läsning och fortsatta studier

Det undersöks i ett delprojekt i Landskrona kommun om man kan utnyttja *Salix* direkt planterad i en slamkompostbädd som växtreningsfilter för metaller. Projektet utnyttjar slamkompost uppblandat med sågspån och grönflis. Syftet är att klarlägga hur mycket metaller som ackumuleras i *Salix*-veden från slamkomposten. Resultat och slutsatser från detta projekt kommer att publiceras senast 2007.

Det är viktigt att undersöka slammets innehåll av andra föroreningar, till exempel läkemedelsrester och svårnedbrytbara organiska föreningar. Skulle dessa ämnen kunna förorena den aktuella åkermarken och hur ska vi hantera dessa föroreningar? Detta är ett område där ytterligare undersökningar krävs. Dessutom skulle det behöva göras jämförande studier mellan slambädd och konventionell gödsling med slamspridning respektive förrådsgödsling. Det bör även undersökas hur *Salix* kaliumbehov kan tillgodoses vid odling på en slambädd. Slutligen behöver en fortsatt studie innehålla beräkningar för hur kostnaderna för kadmiumrening i förbränningsanläggningar ska täckas.

13 Referenser

- Ahlfont, K. (1997) *Kadmium i bioenergisystemet- en syntesrapport*. Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.
- Andersson, P-G., Nilsson, P. (1996). *Slamspridning på åkermark*. Hushållningssällskapens rapportserie nr 1. Hushållningssällskapens Förbund, Stockholm.
- Aronsson, P. (2002). *Nitrogen retention in vegetation filters of short-rotation willow coppice*. Doktorsavhandling, SLU.
- Brännström- Norberg, B-M; Rosén-Lidholm, S; Tärnström, C. (1994). *Analys av miljökonsekvenser för ett kraftvärmeverk eldat med Salix- Jämförelse med miljökonsekvenserna för kol och skogsbränsel*, Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.
- Camper, P-A., Ek, P., Ohlsson, T., Starberg, K., Tideström, H. (2000). *Användningsmöjligheter för avloppsslam*. VA-Forsk rapport 2000-2. Realtryck AB, Stockholm.
- Diedrich, H.(1992).*Slam och aska i energiodlingar- En litteraturstudie- Bioenergi*. Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.
- Diedrich, H; Bramryd, T. (1995). *Kommunalt slam som gödsel i Salixodlingar*. Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.
- Energimyndigheten (2000). *En översikt, Biobränsle och askor*. (Broschyr)
- Eriksson, J. (2001). *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*. Rapport 5148. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Hadders, G., Flodén, S. (1997). *Spridning av aska från stråbränslen på åkermark*. JTI rapport.
- Hasselgren, K. (1995). *Kadmiumhalt i Salixodlingar efter behandling med kommunala restprodukter*. Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.

Hasselgren, K. (1999). *Bevattning av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten*. VA-Forskrapport 1999-5. Realtryck AB, Stockholm.

Hasselgren, K. (1999). *Bevattning av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten*. VA-Forskrapport 1999-5. Realtryck AB, Stockholm.

Johnsson, L. (1995). *Tungmetaller i träd och energigrödor – en litteraturstudie*. Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.

Karlsson, M - L., Wallin, P – A., Gustavsson, L. (1992). *Emissioner från biobränsleeldade anläggningar mellan 0,5 och 10 MW*. SP rapport.

Landskrona kommun. (2003) (Elektronisk) Tillgänglig:

<http://www.landskrona.se/kommun/TV/arkiv/oktober02.htm>
(2003-06-19)

<http://www.landskrona.se/kommun/TV/pdf/biomull-kortversion.pdf> (2003-06-19)

Linderholm, K. (1997). *Fosforns växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska*. VA - Forsk rapport 1997-6. VAV, Stockholm.

Ljungblom, L. (1994). *Bioenergi del 1*. Fingraf AB, Södertälje.

LRF (2002). *Riktlinjer för hållbar användning av växtnäring från samhällets flöden av organiskt material*. Arbetspapper LRF, Stockholm.

Naturvårdsverket (2001). *Läker tiden alla sår? Om spåren efter människans miljöpåverkan*. Centraltryckeriet, Borås.

Naturvårdsverket (1998). *Siffror om avfall*. Rapport 4875. Norstedts Tryckeri, Stockholm.

Naturvårdsverket (1996). *Avfall*. Rapport 4502. Realtryck AB, Stockholm.

Naturvårdsverket (1996). *Avlopp och dagvatten*. Rapport 4491. Realtryck AB, Stockholm.

Notis (2003). *Salix renar mark från tungmetaller*. *Svenskt Vatten*. Nr. 1, sid. 36.

Nutek, Närings- och teknikutvecklingsverket (1992).
Energigrödor-92 Biobränsle från jordbruket. R 1992:22,
Stockholm.

Palm, O., Löwgren, M., Wittgren, H. B. (2000). *Organiskt avfall som växtnäringsresurs*. Slutrapport från FoU-programmet. VA - Forsk rapport 2000-9. Realtryck AB, Stockholm.

Perttu, K. (1993). *Energiskog som vegetationsfilter för slam, avloppsvatten, lakvatten och aska*. Rapport från seminarium den 14 november 1991, Ultuna, Uppsala. SLU, Uppsala.

SCB, Statistiska centralbyrån (2000). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2000*. Statistiska meddelanden.
(Elektronisk) Tillgänglig:

http://www.scb.se/sm/Mi22SM0101_tabeller18.asp
(2003-04-12)

http://www.scb.se/sm/Mi22SM0101_kommentarer.asp#BM5
(2003-04-12)

Sjöblom, R. (2001). *Potential för askhantering; utvecklingsbehov*.
Värmeforsk.

Skarp, S-U. (1996). Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. *Kungliga Skogs- och lantbruksakademiens tidskrift*. Nr 13.

Svebio (2002). *Stora hot mot energiförsörjningen! –Tur att biobränslen finns*. Pressmeddelande 2002-12-13. Stockholm.
(Elektronisk) Tillgänglig:

<http://www.svebio.se> (2003-05-06)

Tideström, H., Starberg, K., Ohlsson, T., Camper, P-A., Ek, P. (2000). *Användningsmöjligheter för avloppsslam*. VA - Forsk rapport 2000-2. Realtryck AB, Stockholm.

Östman, G. (1994). *Kadmium i salix*. Rapport från Vattenfall Utveckling AB Projekt Bioenergi. Vattenfall, Vällingby.

14 Bilagor

Bilaga 1

10. Produktion av slutbehandlat slam (ton TS) vid kommunala reningsverk 2000 samt slammets innehåll av näringsämnen, tungmetaller och organiska miljögifter (kg), efter storleksklass

10. End production of sludge (ton dry weight) at municipal waste water treatment plants and its contents of phosphorus, nitrogen, metals and organic indicator substances in 2000, by size classes

	Storleksklass (dim. antal personer)					Totalt 1995
	-20 000	20 001- 100 000	100 001-	Totalt 2000	Totalt 1998	
ton fosfor	1 219	1 984	2 783	5 986	6 286	6 220
ton kväve	1 921	2 715	3 245	7 881	8 305	8 237
kg bly	1 619	2 354	3 353	7 326	8 135	9 730
kg kadmium	49	83	101	234	283	345
kg koppar	15 250	23 900	41 214	80 364	90 025	91 504
kg krom	1 497	2 127	3 097	6 721	7 255	7 879
kg kvicksilver	44	66	96	206	243	307
kg nickel	689	1 099	1 804	3 592	4 149	3 864
kg zink	25 390	40 017	53 779	119 187	125 030	125 446
kg nonylfenol	597	1 216	1 950	3 763	5 087	10 735
kg toluen	421	281	94	797	1 153	583
kg PAH	44	79	130	253	405	403
kg PCB	3	5	7	15	25	24
Antal KARV	282	102	20	404	412	420
ton TS	55 519	72 311	90 133	217 963	229 343	236 060

(SCB, Utsläpp till vatten och slamproduktion, Tabell MI 22 SM 0101, 2000)

Bilaga 2

Metallhalter i bränslen och askor enhet mg/kg TS

	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<i>Salix</i> -bränsle	0,05-3,5*	0,5-1,5	1,9-5,2	0,016-0,1*	0,4-0,8	0,33-14*	16-180*
<i>Salix</i> -aska	7-9*	10-50	120-130*	0,04-0,09*	30-40*	130-180*	1000-2000*

*Detta är ett värde för skogsbränsle som i stort sett motsvarar värdet för *Salix*-bränsle.

(Brännström-Norberg *et al*,1994)

Energiinnehåll i olika Biobränslen

Bränsle	Energiinnehåll MWh/ton	Fukthalt i %	Askhalt i %
Bark	1,6	60	2,9
Sågspån	1,9	60-65	0,3
Massaved	2,3	50	1
Trädelar	2,3	50	2
Avverkningsrester oflisade	2,5	45	2,5
Byggnadsavfall	3,8	20	15-20
Pelletter	4,6	8	0,7
Energiskog, nyskördad	4,5	50	1-2
Energiskog, lagrad	4,9	25	1
Torv	2,5	15	4
Tallbecksolja	11,7	0	0,5

(Skarp, 1996)

Energiinnehåll och bränsleförbrukning med olika bränslealternativ:

	Energiinnehåll MJ/kg	Beräknad förbrukning i ton
Energiskogsbränsle	16,1	124 800
Skogsbränsle	17,5	115 200

(Brännström-Norberg *et al*,1994)

