



# **Samhällsekonomisk analys av fosforutvinning ur avloppsslam och aska från monoförbränning av avloppsslam**

**Oktober 2009**

Anna Norström  
Erik Kärrman

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING .....	3
INLEDNING .....	3
<i>Bakgrund</i> .....	3
<i>Arbetsmetodik</i> .....	4
ALLMÄNNA KOSTNADSANTAGANDEN FÖR SCENARIER.....	5
<i>Slamgödsling på åkermark (referensscenario)</i> .....	6
<i>ASH DEC – termokemisk behandling av aska från monoförbränning av slam</i> ..	7
<i>Utfällning av struvit enligt Ostaraprocessen följt av förbränning</i> .....	8
MILJÖVÄRDERING .....	10
DISKUSSION .....	11
BILAGOR .....	12
<i>Beräkning av kostnader för ASH DEC</i> .....	12
<i>Beräkning av kostnader för Ostara-processen</i> .....	14
<i>Beräkning av miljökostnader</i> .....	15
REFERENSER .....	18

Oktober 2009

## SAMMANFATTNING

Denna rapport innehåller kostnadsberäkningar för slamgödsling på åkermark samt två fosforutvinningssystem: 1) ASH DEC – termokemisk behandling av aska från monoförbränning av slam och 2) Utfällning av struvit enligt Ostaraprocessen följt av förbränning. Kostnaderna för referensscenariot och de två fosforutvinningssystemen hamnar ganska nära varandra ca 410-470 kr/pe, år. I frågan om recirkulation av fosfor är referensscenariot och ASH DEC fördelaktiga då dessa kan återvinna så gott som all fosfor från avloppsvatten. Struvitfällning medger i dagsläget ca 50-60 % som möjligt. Skillnaden i recirkulationsgrad återspeglas dock inte i kostnaderna eftersom fosforgödsel är en relativt billig kostnadspost i systemen. ASH DEC medför också möjlighet att tillverka ett mer komplett gödningsmedel då näringsämnen och andra tillsatser kan tillsättas under processen.

En omständighet som gör att kostnaderna blir likvärdiga mellan ASH DEC och OSTARA-processen är att vi i bägge fallen räknar på samma investering för förbränning. Man bör dock ha i åtanke att ASH DEC kräver monoförbränning av slam medan slammet från OSTARA kan förbrännas på det sätt som är lämpligt lokalt. Finns det möjlighet att samförbränna slam med avfall så går det bra. Ytterligare en fördel för OSTARA-processen är att processen kan utvecklas i medelstor skala. ASH DEC finns än så länge bara i större skala. Den anläggning som finns i bruk i Tyskland är t ex dimensionerad för 16 000 ton aska vilket medför att den i Sverige skulle behöva byggas för en hel region och därmed medföra mycket transporter. För närvarande byggs en anläggning i Österrike dimensionerad för 8000 ton aska vilken på sikt kan ge närmare uppskattning på kostnaderna för en anläggning för 100 000 pe.

## INLEDNING

### **Bakgrund**

Naturvårdsverket har fått i regeringsuppdrag att uppdatera *Aktionsplan för återvinning av fosfor* från 2002. Uppföljande studier har gjorts för att göra nya bedömningar av hållbarheten hos olika system såsom källsorterande system, slamåterföring, utvinning av fosfor ur slam och aska. SWECO har utfört ett av dessa uppdrag benämnt ” Fosforutvinning ur avloppsslam – teknik, miljö, hälso- och climateffekter”. Denna rapport kompletterar SWECOs rapport vad gäller kostnader och miljöutvärdering av luftemissioner för fosforutvinning ur slam och aska.

### Syfte och systemalternativ

Projektets syfte är att beräkna/bedöma samhällsekonomiska konsekvenser för systemlösningar med fosforutvinning. Systemalternativ som ingår är desamma som SWECO har valt i sin utredning ”Fosforutvinning ur avloppsslam – teknik, miljö, hälso- och climateffekter”. Dessa tre är:

- Slamgödsling på åkermark (referensscenario)
- ASH DEC – termokemisk behandling av aska från monoförbränning av slam
- Utfällning av struvit enligt Ostaraprocessen följt av förbränning

Oktober 2009

## **Arbetsmetodik**

Projektet genomfördes i följande steg:

- Insamling av data.
- Värdering av systemalternativen
- Analys och tolkning.
- Rapportering.

## Antaganden och avgränsningar

Metoden för värdering av systemalternativen är densamma som i Naturvårdsverkets rapport 5222 (Reich, 2002) vilket medför följande antaganden och avgränsningar:

- För att den samhällsekonomiska kalkylen ska stämma överens med den analys som gjorts tidigare (Balmér m.fl. 2002, Reich 2002) har samma systemgränser använts. Det innebär att studien avser ett system med en funktionell enhet där mängderna av näringsämnen är baserade på den tillgängliga mängden från en personekvivalent under ett år. Funktionell enhet innebär de funktioner som systemet måste uppfylla, dvs i de fall då hushållspillvattensystemet inte kan uppfylla den funktionella enheten måste den uppfyllas av ett komplementärt system. Till exempel återvinner inte alla system N, K och S, och dessa måste då tillföras åker med handelsgödsel. Vidare har Örebro även i denna studie används som modellstad, dvs Örebros geografiska läge har legat som utgångspunkt för antaganden om transportavstånd för kemikalier till jordbruksmark och deponi om inget annat anges.
- Den ekonomiska kalkylen definieras som årskostnaden för drift, inklusive kapitalkostnad, av hela det studerade systemet, oavsett vilken ekonomisk aktör som bär kostnaden.
- Värderingen av miljöpåverkan är baserad på jämförelse av luftemissioner från förbränning av slam och transport av kemikalier, fosforprodukt och handelsgödsel samt spridning. Emissioner från tillverkning av handelsgödsel ingår ej.

Oktober 2009

## ALLMÄNNA KOSTNADSANTAGANDEN FÖR SCENARIER

Studien avser ett system som har följande funktionella enhet: uppsamling, framledning och behandling av hushållsspillvatten från en person under ett år, samt tillförsel av 5,0 kg växttillgängligt kväve, 0,73 kg växttillgängligt fosfor, 2,5 kg kalium och 0,57 kg svavel per år till åker. Referensvärden är tagna från Balmér m.fl (2002, NV Rapport 5221) om inte annat anges.

Grunden för de ekonomiska beräkningarna i alla scenarier är densamma: kostnaden per år för en personekvivalentenhet i en modellstad på 100 000 pe. Investeringar sprids ut över livslängden enligt annuitetsberäkning. Kalkylräntan är satt till 5 %. Detta för att hålla samma procentsats som Balmér et al (2002, NV Rapport 5221). Energipriset för el är idag (oktober 2009) 60-90 öre/kWh, i denna rapport är all energiåtgång i systemet prissatt till 75 öre/kWh. Antaganden vad gäller kostnader för ledningsnät och avloppsrening (Tabell 2 och 3) har antagits vara samma som den samhällsekonomiska utredningen från 2002 (Reich, NV Rapport 5222). Nyckeltal för kostnader för transporter och spridning har hämtats från Reich (2002) och redovisas i Tabell 4. Aktuella kostnader för handelsgödsel (oktober 2009) redovisas i Tabell 5.

**Tabell 1.** Inkommande mängder från en personekvivalent under ett år

Avloppsvattenmängd	133 225 liter
Slammängd efter rötning	21,9 kg TS
Slammängd efter rötning, reningsverk med Bio-P	18,6 kg TS
TS-halt slam	25%

**Tabell 2.** Generella kostnader för avloppssystemet

Pumpning	0,22 kWh/m <sup>3</sup>	
	0,09 kr/m <sup>3</sup>	
	12 kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	
Underhåll	200 kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	NV Rapport 5222 (2002)
<b>Totalkostnad</b>	<b>212 kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>	

**Tabell 3.** Generella kostnader för avloppsreningsverket\*

Investering	0 Kr	
Drift	1 kr/m <sup>3</sup>	
	133 kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	
Biogas	225 MJ pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	
	-38,9 kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	Antas att biogasen producerar 33% el och 50% värme.
<b>Totalkostnad</b>	<b>94,1 kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>	

\* Det antas finnas reningsverk med biologisk-kemisk rening, kväverening och rötning av slam, därför inkluderas endast drift och merkostnader för ytterligare investeringar i utrustning i kalkylen.

Oktober 2009

**Tabell 4.** Kostnader för transporter och spridning

Slam- och asktransporter	1,2	kr/tonkilometer
Spridning handelsgödsel och pelleterade produkter	25	kr/ton
Slamspridning	40	kr/ton
Avstånd till åkermark	30	Km
Avstånd reningsverk – förbränning	1	Km
Avstånd reningsverk – förbränning (ASH DEC)*	100	Km
Avstånd förbränning – deponi	100	Km
Avstånd för kemiska produkter från lager**	250	Km

\* Monoförbränning av aska, antas en stor regional panna därav längre avstånd. \*\*Enligt Tideström m.fl (2009).

Det komplimentära systemet för näringsämnen till åkermark bygger på att den funktionella enheten för N, P, K och S tillförs med handelsgödsel om recirkuleringsalternativet inte uppfyller den definierade personekvivalentenheten. I Tabell 4 hur mycket handelsgödsel som behöver tillföras vid slamspridningsalternativet, och kostnaden för detta. Önskad mängd och koncentration på handelsgödsel är tagna från Reich (2002).

**Tabell 5.** Kostnader och mängd handelsgödsel för slamspridningsalternativet per person och år.

	Mängd (kg)	kr/kg näringsämne <sup>1</sup>	Kostnad (kr)	koncentration	S:a massa (kg)
N	4,786	9	43,07	27%	17,7
P	0,254	11	2,79	20%	1,3
K	2,462	11	27,08	50%	4,9
S	0,371	2	0,74	27%	1,4
<b>Totalt</b>			<b>73,7</b>		<b>25,3</b>

### Slamgödsling på åkermark (referensscenario)

För att få ett slam som kan spridas på åkermark har reningsverket i detta scenario utökats med ett hygieniseringssteg och en mellanlagringsplatta för slam, samt att kostnad för kvalitetsarbete tillkommer i enlighet med Reich (2002). Vidare har underhållskostnaderna för avloppssystemet ökats med 1,5% för att spegla kostnaden av att successivt byta ut kopparledningarna.

#### Avloppssystem

Pumpning	12	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Underhåll	203	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>215</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

#### Reningsverk

Drift	133	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Biogas	-39	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>94</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

#### Hygienisering av slam

Investering	5 000 000	kr
25 års livslängd	355 000	kr/år
Energiåtgång	700	MWh/år
	525 000	kr/år

<sup>1</sup> Kostnader från Kjell Gustavsson, Lantmännen oktober 2009

## Fosforutvinning ur avloppsslam och aska från monoförbränning

Oktober 2009

Totalt hygienisering	9	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mellanlager för slam	50	kr/ton slam
	4	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Kvalitetsarbete (en person heltid)	4	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<i>Totalt</i>	<i>17</i>	<i>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></i>
<b>Inköp handelsgödsel</b>		
<i>N, P, K och S – handelsgödsel</i>	<i>74</i>	<i>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></i>
<b>Transporter</b>		
Avvattnat slam till jordbruk	3,2	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Handelsgödsel	0,9	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<i>Totalt</i>	<i>4,1</i>	<i>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></i>
<b>Spridning</b>		
Handelsgödsel	0,6	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Slamspridning	3,5	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<i>Totalt</i>	<i>4,1</i>	<i>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></i>
<b>Totalkostnad</b>	<b>408</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

### **ASH DEC – termokemisk behandling av aska från monoförbränning av slam**

Avvattnad aska transporteras från reningsverket till befintlig avfallsförbränningsanläggning med lastbil. Investering i en separat förbränningspanna för monoförbränning av slammet behövs men befintlig rökgasrening och askhanteringssystem utnyttjas. Det beräknas att 98% av inkommen aska återfinns i produkten och ca 2%, mest metallhydroxider, tas om hand via rökgasreningen. Den utvunna fosforprodukten används som gödselmedel utan ytterligare behandling. Produkten som erhålls innehåller inga signifikanta mängder av N, K eller S. Slutprodukten är ofta fosforberikad för att uppnå en konstant halt av 26 %, vilket medför att erhållen produkt per person och år innehåller över sex gånger mer fosfor än den årliga mängden tillgänglig fosfor från en person.

Kostnader för ASH DEC är baserad på en anläggning designad för att hantera ca 16 000 ton aska per år (ca 1,5 miljoner pe), vilket enligt företaget idag är minimum standardstorlek för att få ekonomi i en anläggning. Då storleken på pannan ger att en anläggning snarare hanterar slam från en region än från en anläggning med Svenska mått mätt, har avståndet till förbränningen utökats till 100 km.

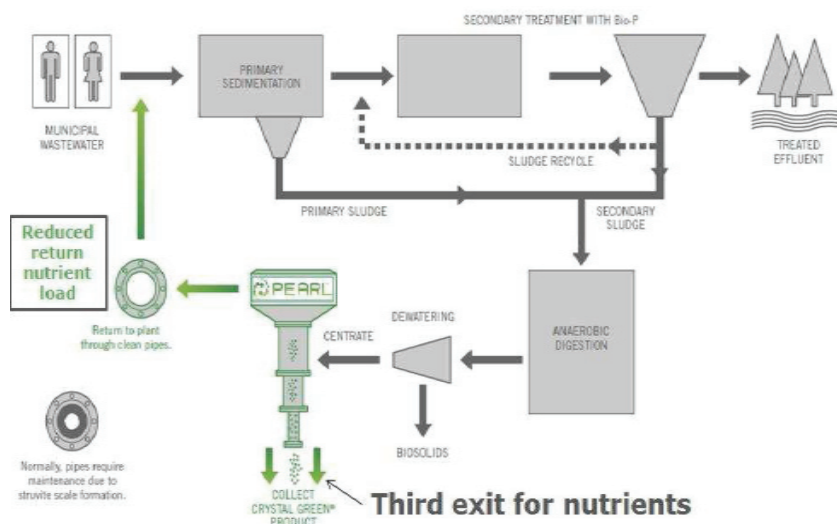
<b>Avloppssystem</b>		
Pumpning	12	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Underhåll	200	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<i>Totalt</i>	<i>212</i>	<i>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></i>
<b>Reningsverk</b>		
Drift	133	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Biogas	-39	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<i>Totalt</i>	<i>94</i>	<i>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></i>
<b>Slamförbränning</b>		
Investering	34 000 000	Kr
25 års livslängd	2 410 000	kr/år
Kapacitet (inkl. torkningskap.)	11 000	ton/år
	219	kr ton <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>

Oktober 2009

Drift (energi, kemikalier, underhåll, personal)	170	kr/ton
<b>Totalt</b>	<b>34</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>ASH DEC<sup>2</sup></b>		
Investering	5,1	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Drift	31,6	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>37</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Inköp handelsgödsel</b>		
<i>N, P, K och S – handelsgödsel</i>	74	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Transporter</b>		
Avvattnat slam till slamförbränningspanna och ASH DEC	10,5	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Kemikalier för process	2,2	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Fosforprodukt till åkermark (100 km)	0,4	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Handelsgödsel (30 km)	0,9	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>14</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Spridning</b>		
Handelsgödsel	0,6	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Fosforprodukt	0,1	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Totalkostnad</b>	<b>466</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

## Utfällning av struvit enligt Ostaraprocessen följt av förbränning

I reningsverk med biologisk fosforrening kan fosfat utvinnas från de delar av reningsprocessen där andelen vattenlösligt fosfor är som störst, antingen ur ett anaerobt delsteg av aktivslamprocessen, ur en sidostrom från returslammet eller från rejecktvattnet efter rötningen. Ostaraprocessen används för det sista alternativet, se Figur 1.



Figur 1. Integration av Ostaraprocessen i avloppsreningen<sup>3</sup>

<sup>2</sup> För underlag och uträkning av kostnader se Bilaga 1.

<sup>3</sup> Bilden tagen från presentation "Introduction to Ostaraprocessen - Technical Version"

<http://www.ostara.com/files/u1/Introduction%20to%20Ostaraprocessen%20Feb%202009.pdf> (accessed 091008)



# Fosforutvinning ur avloppsslam och aska från monoförbränning

Oktober 2009

I det här exemplet antas reningsverket vara dimensionerat för bio-P, och fosfor som frigörs vid rötningen av slammet utvinns ur rejektvattent efter slamavvattningen. Rejektvattnet återförs därefter till avloppsreningsprocessen. Avvattnat slam transporteras till förbränningsanläggning och askan deponeras. Den utvunna struvitgranulatprodukten antas kunna användas som gödselmedel utan ytterligare behandling. Vid biologisk fosforutvinning produceras ca 15 % mindre mängd slam vilket påverkar biogasproduktionen och mängden aska som ska till förbränning.

<b>Avloppssystem</b>		
Pumpning	12	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Underhåll	200	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>212</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Reningsverk</b>		
Drift	133	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Biogas	-33	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>100</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Ostara<sup>4</sup></b>		
Investering	20 400 000	Kr
25 års livslängd	1 450 000	kr/år
	14,5	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Drift	10,8	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>25</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Slamförbränning</b>		
Investering	34 000 000	Kr
25 års livslängd	2 410 000	kr/år
Kapacitet (inkl. torkningskap.)	11 000	ton/år
	219	kr ton <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Drift (energi, kemikalier, underhåll, personal)	170	kr/ton
<b>Totalt</b>	<b>29</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Inköp handelsgödsel</b>		
<i>N, P, K och S – handelsgödsel</i>	77	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Transport</b>		
Kemikalier för process	1,7	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Aska till deponi (0,5 kg/kg TS)	1,1	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Fosforprodukt till åkermark	0,1	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Handelsgödsel	1,0	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>4</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Spridning</b>		
Handelsgödsel	0,7	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Fosforprodukt	0,1	kr pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Totalt</b>	<b>1</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Totalkostnad</b>	<b>448</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

<sup>4</sup> För underlag och uträkning av kostnader se Bilaga 2.

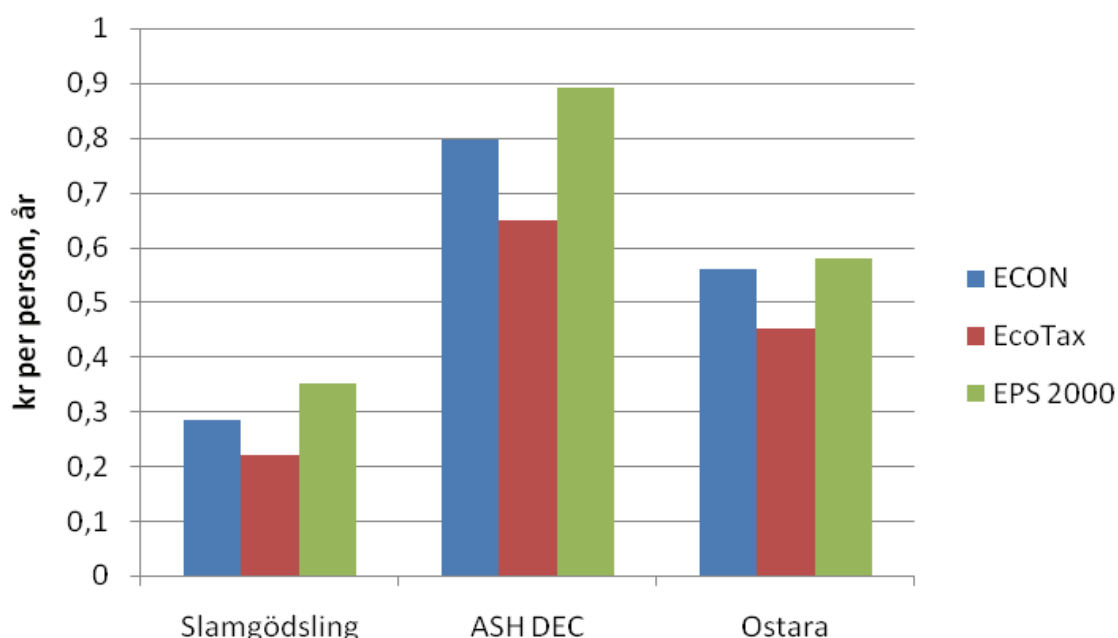
## MILJÖVÄRDERING

I Naturvårdsverkets rapport nr 5222 (Reich, 2002) används tre olika metoder för utvärdering: ECON (1995), EcoTax (Johansson, 1999) och EPS 2000 (Steen, 1999). Dessa metoder har inte uppdaterats vidare och därför används samma data i denna rapport. De tre metoderna använder olika värderingsbaser: dos-reponssamband, skatter som mått på politiskt uttryckt "revealed preference", samt CV-studier som mått på "stated preference". För vidare information om modellerna hänvisas till publikationer om respektive modell. Luftemissioner är värderade i kronor per kilo enligt de tre använda värderingsmetoderna, Tabell 6.

**Tabell 6.** Värdering av luftemissioner i kr/kg.

	ECON	EcoTax	EPS 2000
CO <sub>2</sub>	0,4	0,37	1,1
HC	18,2	2,4	27,2
NO <sub>x</sub>	56,3	40	21,3
SO <sub>2</sub>	19,5	63	32,7

I denna rapport beräknas endast luftemissioner från förbränning, transport och spridning i de tre systemalternativen. Den sammanlagda kostnaden för luftemissioner visas i Figur 2. Beräkningar finns i Bilaga 3, och sammanställning av luftemissioner i gram per person och år finns i Tabell 12. De tre metoderna värderar de olika parametrarna olika vilket syns tydligt i Figur 3 (i Bilaga 3). CO<sub>2</sub> och NO<sub>2</sub> ger de största bidragen, men i sammanställningen i Figur 2 är skillnaderna mellan de olika värderingmetoderna mindre tydliga.



**Figur 2.** Sammanlagd kostnad för luftemissioner för de tre systemalternativen.

### DISKUSSION

Kostnaderna för referensscenariot och de två fosforutvinningssystemen hamnar ganska nära varandra ca 410-470 kr/pe, år. I frågan om recirkulation av fosfor är referensscenariot och ASH DEC fördelaktiga då dessa kan återvinna så gott som all fosfor från avloppsvatten. Struvitfällning medger i dagsläget ca 50-60 % som möjligt. Skillnaden i recirkulationsgrad återspeglas dock inte i kostnaderna eftersom fosforgödsel är en relativt billig kostnadspost i systemen. ASH DEC medför också möjlighet att tillverka ett mer komplett gödningsmedel då näringsämnen och andra tillsatser kan tillsättas under processen.

En omständighet som gör att kostnaderna blir likvärdiga mellan ASH DEC och OSTARA-processen är att vi i bägge fallen räknar på samma investering för förbränning. Man bör dock ha i åtanke att ASH DEC kräver monoförbränning av slam medan slammet från OSTARA kan förbrännas på det sätt som är lämpligt lokalt. Finns det möjlighet att samförbränna slam med avfall så går det bra. Ytterligare en fördel för OSTARA-processen är att processen kan utvecklas i medelstor skala. ASH DEC finns än så länge bara i större skala. Den anläggning som finns i bruk i Tyskland är t ex dimensionerad för 16 000 ton aska vilket medför att den i Sverige skulle behöva byggas för en hel region och därmed medföra mycket transporter. För närvarande byggs en anläggning i Österrike dimensionerad för 8000 ton aska vilken på sikt kan ge närmare uppskattning på kostnaderna för en anläggning för 100 000 pe.

**BILAGOR****Beräkning av kostnader för ASH DEC**

Information om ASH DEC-processen har erhållits från Louis Hermann, ASH DEC Umwelt AG via epost. Enligt Hermann är företagets anläggningar vanligtvis designade för att hantera minimum 16 000 ton aska (ca 1,5 miljoner pe vid  $21.9 \text{ kg TS pe}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) för att få lönsamhet med avseende på kapital- och driftskostnader. En anläggning som producerar färdig produkt, inkl tillsatser av andra önskade näringsämnen, från 16 000 ton aska per år beräknas kosta ca 10-12 miljoner Euro. Avskrivningstid är satt till 15 år, men återbetalningen beräknas ta 7 år baserat på vinst enligt dagens marknadsvärde för produkterna. Kostnaderna i tabellen nedan är baserade på en anläggning i den storleken. Företaget håller för närvarande på att utveckla en anläggning i Österrike för 33 000 ton slam per år (ca 380 000 pe), men inga uppgifter finns ännu på kostnader för denna mindre anläggning.

Beroende på halten  $\text{P}_2\text{O}_5$  i ingående aska, adderas trippelsuperfosfat till slutprodukten för att uppnå en stabil produkt med en 26%-ig fosfor-koncentration vilket är standardhalt för mineralgödsel i Tyskland. Vanligen tillsätts mellan 15-35% trippelsuperfosfat. I slutprodukten finns det inga signifikanta mängder av N (noll), K (1%) och S (1%), men även dessa kan adderas i processen om man vill uppnå ett komplett gödselmedel.

*Tabell 7. Kostnader och intäkter enligt L. Hermann, 091009*

PhosKraft Dicalciumphosphat				Expenses	Revenues
Consumables	Unit	Quantity	Price €/t	€/t Product	€/t Product
Chlorine donor (CaCl <sub>2</sub> )	kg/h	60	200	4,00	
Calcium hydrate	kg/h	160	100	10,00	
Triple-Superphosphate	kg/h	980	220	69,00	
Oxygen	Nm <sup>3</sup>	150	0,125	14,00	
Energy	Unit	Quantity	Price €/t		
Natural gas	kWh	620	0,035	17,00	
Electricity	kWh	1000	0,08	7,00	
Personnel	Manyears	7	50.000	14,00	
Overhead	Maintenance, disposal of secondary residues, office			29,00	
Financing costs				30,00	
Handling and sales costs				21,00	
Revenues from product sales	kg/h	3.120	216		216,00
Revenues from ash disposal fees	kg/h	2.000	40		26,00
<b>Total</b>				<b>215,00</b>	<b>242,00</b>
Profit				26,00	

# Fosforutvinning ur avloppsslam och aska från monoförbränning

Oktober 2009

Enligt SEB 091009 är 1 Euro=10.04 SEK.

## Kostnader för drift och finansiering

Drift (kemikalier, energi, personal, OH, hantering) (185 Euro)	1858	kr/ton produkt
Finansiering (30 Euro)	301	kr/ton produkt
Ca 16 000 ton aska ger ca 25 000 ton produkt	1,56	ton produkt/ton aska
Slammängd efter rötning	21,9	kg TS pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Aska från slam	0,5	kg aska/kg TS <sup>5</sup>
Ton produkt per person och år	0,017	ton produkt pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Drift</b>	<b>31,59</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Finansiering</b>	<b>5,12</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

## Kemikalieåtgång

Chlorine donor: 4Euro/ton produkt á 200 Euro/ton kemikalie	0,02	ton kemik./ton prod.
	0,34	kg kemik. pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Calcium hydrate: 10Euro/ton produkt á 100 Euro/ton kemikalie	0,1	ton kemik./ton prod.
	1,7	kg kemik. pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Triple-Superphosphate: 69Euro/ton produkt á 220 Euro/ton kemikalie	0,31	ton kemik./ton prod.
	5,4	kg kemik. pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Total mängd kemikalier för ASH DEC</b>	<b>7,4</b>	<b>kg kemik. pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

## Spridning och transport av fosforprodukt

Ton produkt per person och år	0,017	ton produkt pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Fosforhalt 26%	4,42	kg P-produkt pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Önskad mängd fosfor	0,73	kg fosfor pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
ton produkt för att täcka önskad mängd fosfor	0,003	ton produkt pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Spridning handelsgödsel och pelleterade produkter	25	kr/ton
<b>Kostnad spridning</b>	<b>0,07</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
Transport med lastbil	1,2	kr/tonkilometer
Avstånd till åkermark från regional förbränningsanläggning	100	km
<b>Kostnad transport</b>	<b>0,36</b>	<b>kr pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

Tabell 8. Behov av handelsgödsel

	Mängd (kg)	kr/kg näringsämne	Kostnad (kr)	koncentration	S:a mängd (kg)
N	5	9	45	27%	18,5
P		11		20%	
K	2,5	11	27,5	50%	5
S	0,57	2	1,1	27%	2,1
<b>Totalt</b>			<b>73,6</b>		<b>25,6</b>

<sup>5</sup> Enligt NV Rapport 5221 (Sweco använder mängd aska 37% av torkat slam)

## Beräkning av kostnader för Ostara-processen

Enligt företagets hemsida [www.ostara.com](http://www.ostara.com) kostar en anläggning 2-4 miljoner USD. I denna rapport har vi räknat med en investeringskostnad på 3 miljoner USD (ca 20,4 miljoner SEK) och en avskrivningstid på 25 år. Återbetalningstiden på en anläggning bedöms vara 3-5 år på gjorda investeringar tack vare minskade driftskostnader och försäljningsvärdet på produkten. På hemsidan är det dock inte definierat vilken storlek på anläggning som denna prisnivå gäller för, vilket innebär att den verkliga kostnaden kan vara både större eller mindre än i detta exempel.

Övrig information om processen har erhållits från Søren Brønd, EnviDan A/S (återförsäljare för Ostara i Norden) via epost. Antagen återvunnen fosfor är 59% av totalt inkommande till reningsverket, vilket är ett högt värde och antas endast nås vid både biologisk fosforering och rötning samt något mer aggressiv behandling av slammet för att öka den tillgängliga återvinningsbara delen av fosfor i slammet. En fiktiv avloppsreningsanläggning för 100 000 pe med ett flöde på 250 liter per person resulterar i 130 m<sup>3</sup> rejektvatten per dag. En "32-inch reactor" behandlar 78 m<sup>3</sup> per dag, och om rejektvattnet har en koncentration på ca 900 mg PO<sub>4</sub>-P/liter kan 537 kg produkt tillverkas per dag. Enligt ovan behövs 1,67 reaktorer för en anläggning för 100 000 pe, och motsvarande produkttillverkning blir 897 kg per dag, vilket motsvarar ca 3,3 kg produkt pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. En specifik kostnad för en "32-inch reactor" har inte erhållits då denna enligt Brønd är alltför beroende av bland annat lokala förhållanden och rejektvattnets kvalitet och flöde för att kunna definieras utan att pilotförsök har genomförts vid aktuellt avloppsreningsverk.

Kostnaden för drift har inte heller erhållits. En tidigare lösning har varit att Ostara har tagit ansvaret för återförsäljning av produkten och därför använt sig av egna redan upparbetade fördelaktiga kontrakt med exempelvis kemikalieleverantörer, varför exakta kostnader är svåra att få. Löpande kostnader gäller framför allt för pH-justering och utfällning mha magnesium. Eventuellt tillkommer tillsats av ammonium beroende på om reningsanläggningen har rötning eller ej. Då ingen specifik kostnad för drift har erhållits, räknas i detta exempel med en kemikaliekostnad på 25 kr/kg fosfor (Heldt, 2005), vilket medför en kostnad på 10,8 kr om det antas att 59% av den totala mängden tillgänglig fosfor kan återföras. Övriga driftskostnader för energi, underhåll och personal är inte medräknade i detta exempel.

Enligt Tideström m.fl. (2009) beräknas ca 1500 ton magnesiumklorid användas för 20 000 ton slam, vilket för exemplet med 7440 ton slam (100 000 pe och 18,6 kg TS pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) motsvarar ca 560 ton magnesiumklorid, dvs 5,6 kg pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Endast denna mängd har använts för att uppskatta transportkostnaderna för kemikalier.

**Tabell 9.** Behov av handelsgödsel. Antas att 59% av tillgänglig fosfor går att återvinna, men att produkten inte innehåller några signifikanta halter av N, K eller S

	Mängd (kg)	kr/kg näringsämne	Kostnad (kr)	koncentration	S:a mängd (kg)
N	5	9	45	27%	18,5
P	0,3	11	3,3	20%	1,5
K	2,5	11	27,5	50%	5
S	0,57	2	1,1	27%	2,1
<b>Totalt</b>			<b>76,9</b>		<b>27,1</b>

Oktober 2009

**Beräkning av miljökostnader****Förbränning**

För utsläpp till luft vid förbränning av slam har beräknade mängder för 5500 ton TS enligt Tideström m.fl. (2009) använts som referens för att beräkna mängder för 2190 ton TS vid monoförbränning inför ASH DEC, respektive 1860 ton TS från bio-P anläggningen med Ostara.

**Tabell 10.** Mängden luftemissioner vid förbränning.

		CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
<b>Referens</b>					
5500 ton TS	ton år <sup>-1</sup>	1,9	0,49	7,6	1,9
<b>ASH DEC</b>					
2190 ton TS	g pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	0,76	0,19	3,0	0,76
<b>Ostara</b>					
1860 ton TS	g pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	0,64	0,17	2,6	0,64

**Transporter och gödsling**

Emissionsfaktorer för lastbil utan släp [gram per fordonskilometer] enligt Vägverkets och Naturvårdsverkets handbok, och för dieseldriven traktor vid gödselspridning [gram per ton] (uppgifter enligt Tideström m.fl., 2009) redovisas i Tabell 11. Enligt Balmér m.fl. (2002) går det åt ca 8,6 MJ drivmedel för att sprida ett ton slam, vilket omräknat ger 34,4 MJ/ton TS. Det antas gå åt lika mycket drivmedel för att sprida fosforprodukt och handelsgödsel per kilo som per ton TS av slam. Enligt Tideström m.fl. (2009) är utsläppen av svaveldioxid från transporter i dagsläget så små och det föreligger ingenstans i Sverige risk för att miljökvalitetsnormerna för ämnet överskrids, därför är dessa transportutsläpp inte medräknade.

**Tabell 11.** Emissionsfaktorer för lastbil och traktor.

		CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Lastbil utan släp för transport	g/fkm	580	0,26	5,18
Dieseldriven traktor för spridning	g/MJ	75	0,14	1,3
Spridning med 34,4 MJ/ton TS	g/ton TS	2580	4,82	44,7

**Avgasutsläpp från transporter och gödsling med avloppsslam och handelsgödsel**

Slammängd efter rötning	21,9	kg TS pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Total mängd slam för 100 000 pe	2190	ton TS år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	168,5	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till åkermark	30	km
Transportväg, dubbla resor	0,10	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd handelsgödsel (enl Tabell 2)	25,3	kg pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Total mängd för 100 000 pe	2530	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	195	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till åkermark	30	km
Transportväg, dubbla resor	0,12	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Total transportväg</b>	<b>0,22</b>	<b>fkm pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Total mängd slam och handelsgödsel</b>	<b>0,0472</b>	<b>ton pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

## Fosforutvinning ur avloppsslam och aska från monoförbränning

Oktober 2009

### Avgasutsläpp från transporter och gödning av ASH DEC och handelsgödsel

Slammängd efter rötning	21,9	kg TS pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Total mängd slam för 100 000 pe	2190	ton TS år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	168,5	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till monoförbränningsanläggning	100	km
Transportväg, dubbla resor	0,34	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd kemikalier för 100 000 pe	740	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	57	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd kemiska produkter från lager	250	km
Transportväg, dubbla resor	0,28	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd produkt från 100 000 pe för att täcka P-enhet	300	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	23	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till åkermark <sup>6</sup>	30	km
Transportväg, dubbla resor	0,01	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd handelsgödsel (enl Tabell 8)	25,6	kg pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Total mängd för 100 000 pe	2560	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	197	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till åkermark	30	km
Transportväg, dubbla resor	0,12	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Total transportväg</b>	<b>0,75</b>	<b>fkm pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Total mängd slam, kemikalier, produkt och handelsgödsel</b>	<b>0,0579</b>	<b>ton pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

### Avgasutsläpp från transporter och gödning av Ostara-produkt och handelsgödsel

Slammängd efter rötning och Ostara	18,6	kg TS pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Total mängd slam för 100 000 pe	1860	ton TS år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	143	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till förbränningsanläggning	1	km
Transportväg, dubbla resor	0,003	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd kemikalier för 100 000 pe	560	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	43	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd kemiska produkter från lager	250	km
Transportväg, dubbla resor	0,22	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd produkt från 100 000 pe	327	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	2,5	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till åkermark	30	km
Transportväg, dubbla resor	0,015	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Mängd handelsgödsel (enl Tabell 9)	28,2	kg pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Total mängd för 100 000 pe	2820	ton år <sup>-1</sup>
Transport med lastbil som lastar 13 ton/bil	217	resor enkel väg år <sup>-1</sup>
Avstånd till åkermark	30	km
Transportväg, dubbla resor	0,13	fkm pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
<b>Total transportväg</b>	<b>0,37</b>	<b>fkm pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>
<b>Total mängd slam, kemikalier, produkt och handelsgödsel</b>	<b>0,0557</b>	<b>ton pe<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>

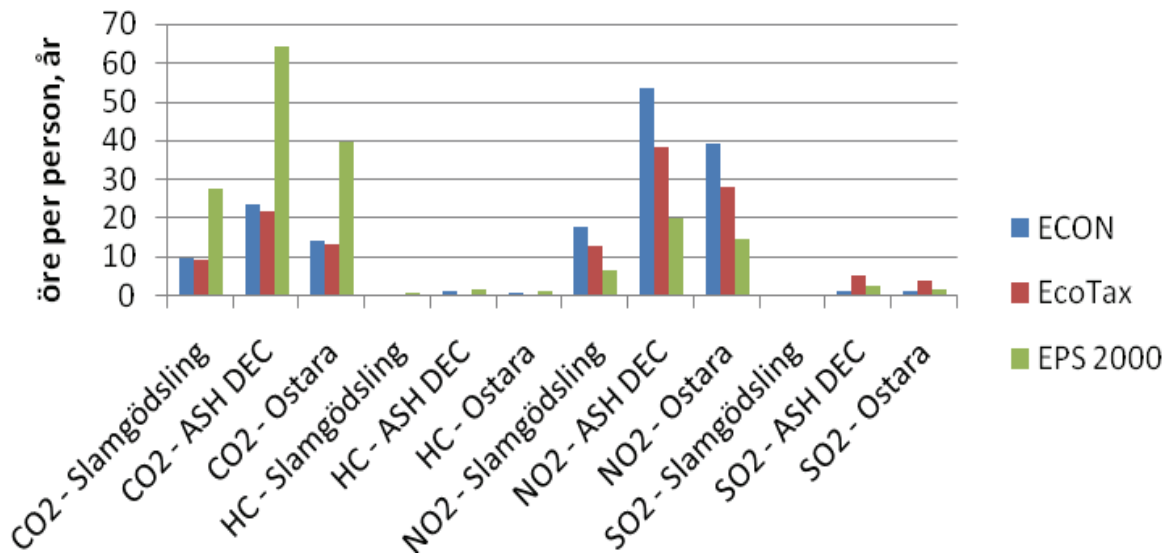
<sup>6</sup> Kan diskuteras om avståndet till åkermark är detsamma när vi använder oss av en regional monoförbränningspanna. Avståndet borde troligen vara längre.



## Sammanställning av luftemissioner

**Tabell 12.** Luftemissioner pga förbränning, transporter och spridning av gödsel.

	CO <sub>2</sub>	HC [g pe <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> ]	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
<b>Slamgödsling</b>				
Transport	127,6	0,06	1,1	
Spridning	121,8	0,23	2,1	
<i>Totalt</i>	<i>249,4</i>	<i>0,29</i>	<i>3,2</i>	
<b>ASH DEC</b>				
Förbränning	0,8	0,19	3,0	0,8
Transport	435,0	0,20	3,9	
Spridning	149,4	0,28	2,6	
<i>Totalt</i>	<i>585,2</i>	<i>0,67</i>	<i>9,5</i>	<i>0,8</i>
<b>Ostara</b>				
Förbränning	0,6	0,17	2,6	0,6
Transport	214,6	0,10	1,9	
Spridning	143,7	0,27	2,5	
<i>Totalt</i>	<i>358,9</i>	<i>0,54</i>	<i>7,0</i>	<i>0,6</i>



**Figur 3.** Värdering av luftemission för de olika värderingsmetoderna. Luftemissioner enligt Tabell 12 och värden [kr/kg] tagna från Tabell 6.

### REFERENSER

Balmér m.fl. (2002) System för återanvändning av fosfor ur avlopp. Naturvårdsverket Rapport 5221.

Carlsson Reich M. (2002) Samhällsekonomisk analys av system för återanvändning av fosfor ur avlopp. Naturvårdsverket Rapport 5222.

Heldt D. (2005) Återvinning av fosfor från avloppsvatten som behandlas med biologisk fosforering: En studie i att fälla ut struvit ur rejektivatten från rötat bio-P-slam. Examensarbete TRITA-KET-IM 2005:19, Industriell Ekologi, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Tideström H., Alvin L., Jennische U. och Hultman B. (2009) Fosforutvinning ur avloppsslam: Teknik, miljö-, hälso- och klimateffekter. Sweco rapport, uppdragsnummer 1150 744 000.

#### Personliga referenser:

Louis Hermann, ASH DEC Umwelt AG, Tyskland, via epost (091008, 091010)

Kjell Gustavsson, Lantmännen (091012)

Søren Brønd, EnviDan A/S, Danmark (återförsäljare för Ostara i Norden) via telefon och epost (091020, 091029)

#### Övrig litteratur:

ECON (1995) Miljökostnader knyttet till ulike typer avfall. ECON-rapport 338/95, ECON Energi, Norge.

Johansson (1999) A monetary valuation weighting method for life cycle assessment based on environmental taxes and fees. Examensarbete 1999:15, institutionen för systemekologi, Stockholms universitet.

Steen B (1999) A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS) Version 2000. CPM report 1999:5, Chalmers.