

Naturvårdsverket

# **FOSFORUTVINNING UR AV- LOPPSSLAM**

**Teknik, miljö-, hälso- och klimateffekter**

**Stockholm 2009-06-12, REV(4)  
Sweco Environment AB  
Stockholm/Miljöanalys/Östra regionen**

Henrik Tideström, Lars Alvin, Ulla Jennische och  
Bengt Hultman  
Uppdragsnummer 1150 744 000

## Förord

I december 2002 lämnade Naturvårdsverket en Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp, Rapport 5214, till regeringen. I aktionsplanen gavs en del rekommendationer till och ett förslag till förordning i syfte att reglera användningen av avloppsfraktioner. I regleringsbrevet till Naturvårdsverket inför budgetåret 2009 gav miljödepartementet verket i uppdrag att uppdatera aktionsplanen. Uppdraget ska redovisas till regeringen senast den 1 oktober 2009.

### *Utdrag ur regleringsbrevet:*

”... I uppdraget ingår att genomföra en konsekvensanalys av olika behandlingsmetoder av avloppsslam utifrån ett hälso- och miljöperspektiv. Användning av avloppsslam på mark ska utvärderas i förhållande till andra behandlingsmetoder, såsom utvinning av biogas med åtföljande förbränning med återvinning av energi och fosfor, utifrån förbättrat kunskapsläge vad gäller föroreningar och den teknikutveckling som skett på området sedan 2002. En analys av kostnader, energiaspekter, transporter och klimatpåverkan samt en samhällsekonomisk bedömning såväl som en bedömning för enskilda aktörer ska finnas med i utredningen...”

För att uppfylla en del av detta regeringsuppdrag har Naturvårdsverket gett SWECO i uppdrag att analysera konsekvenserna av olika fosforutvinningsmetoder för avloppsslam.

Utvinningsmetoderna och konsekvenserna beskrivs i denna rapport. De metoder, har tagits fram och utvärderats sedan år 2002 har identifierats och konsekvensanalyserats. Fosforutvinningen kan antingen ske ur slammet innan förbränning eller ur askan efter förbränning. Kombinationen: rötning med biogasutvinning – förbränning av slam med energiutvinning – utvinning av fosfor har analyserats utifrån ett hälso- och miljöperspektiv samt ur ett klimat-, transport- och energiperspektiv.

De identifierade behandlingsmetoderna har jämförts med slamgödsling av åkermark. Uppdraget har inte gällt forskning för att ta fram ny kunskap utan att sammanställa vad som är känt i dagsläget.

### **Sweco Environment AB Stockholm/Miljöanalys/Östra regionen**

Henrik Tideström, Lars Alvin, Ulla Jennische och Bengt Hultman.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>BAKGRUND OCH SYFTE.....</b>	<b>3</b>
1.1	Avloppsrening, slamproduktion och slambehandling .....	3
1.2	Fosforpotential i svenskt avloppsslam .....	4
1.3	Slamgödning av åkermark i Sverige.....	5
<b>2</b>	<b>TEKNIK FÖR FOSFORUTVINNING.....</b>	<b>6</b>
2.1	Allmänt om återvinning av fosfor ur avloppsvatten.....	6
2.1.1	Inledning .....	6
2.1.2	Biologisk avskiljning av fosfor och efterföljande produktutvinning.....	7
2.1.3	Kemisk fällning och efterföljande behandling för produktutvinning .....	8
2.1.4	Sekundära effekter .....	9
2.1.5	Kostnadsaspekter .....	9
2.2	Tidigare prövad men numera ej tillgänglig teknik.....	10
2.2.1	Kreproprocessen.....	10
2.2.2	Aqua Reci.....	10
2.2.3	BioCon .....	11
2.2.4	Sammanfattning .....	12
2.3	Teknik utvecklad efter 2002 .....	12
2.3.1	Termokemisk behandling av aska från monoförbränning av slam.....	12
2.3.2	Utfällning av struvit enligt Ostaraprocessen .....	16
2.3.3	Tyskt FoU-program för produktion av fosforgödsel från slam .....	20
2.3.4	Bedömning av nya tekniska modeller .....	21
<b>3</b>	<b>KONSEKVENSER FÖR MILJÖ, HÄLSA OCH KLIMAT ..</b>	<b>23</b>
3.1	Förutsättningar och avgränsningar för konsekvensbedömningarna ....	23
3.1.1	Avloppsreningsverk som denna utredning baseras på.....	23
3.1.2	Utredda slamhanteringsscenarier .....	24
3.1.3	Struvitutfällning lokalt i respektive avloppsreningsverk följt av förbränning.....	25
3.1.4	Utvinning av fosfor ur aska efter slamförbränning: .....	26
3.1.5	Förbränning av avvattnat avloppsslam i en avfallsförbränningsanläggning	26
3.1.6	Referensscenario: Slamgödning av åkermark .....	27
3.2	Inverkan på luftmiljön .....	27
3.2.1	Förbränning .....	27
3.2.2	Transporter .....	29
3.2.3	Gödning av åkermark med slam och utvunna produkter .....	32
3.2.4	Beräknade utsläpp till luft i de olika scenarierna .....	33
3.3	Inverkan på mark- och vattenmiljön .....	39

3.3.1	Konsekvenser för markmiljö vid askdeponering.....	41
3.3.2	Konsekvenser för mark- och vattenmiljön vid gödning .....	42
<b>3.4</b>	<b>Slamförbränningens inverkan på vattenmiljön .....</b>	<b>49</b>
3.4.1	Utsläpp till vattenrecipient eller kommunalt avloppsreningsverk .....	49
3.4.2	Utsläpp till luft samt deposition på vattenytor .....	51
<b>3.5</b>	<b>Energi .....</b>	<b>51</b>
<b>3.6</b>	<b>Kostnader .....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>SAMLAD BEDÖMNING.....</b>	<b>53</b>

## 1 Bakgrund och syfte

I denna rapport presenteras och utvärderas de tekniker för utvinning av fosfor ur avloppsslam, som har tagits fram eller vidareutvecklats sedan Naturvårdsverket tog fram sitt förslag till Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp år 2002. Fosforutvinningen kan antingen ske ur slammet innan förbränning eller ur askan efter förbränning. De tekniska system som bedöms ha en kommersiell framtid har utvärderats.

### 1.1 Avloppsrening, slamproduktion och slambehandling

Drygt åtta miljoner av Sveriges befolkning är anslutna till drygt tvåtusen kommunala avloppsreningsverk. Varje person ger i genomsnitt upphov till 20 – 25 kg torrsbstans (TS) avloppsslam per år. I denna utredning räknar vi med samma specifika slamproduktion efter rötning som i Naturvårdsverket Rapport 5221<sup>1</sup>, nämligen ca 22 kg TS/person och år. Detta motsvarar i storleksordningen ca 90 kg avvattnat avloppsslam.

De flesta avloppsreningsverk är små. Dessa anläggningar har normalt ingen egen slamrötning eller annan slamstabilisering installerad. Knappt femhundra har en dimensionerad anslutning på mer än 2 000 personekvivalenter (pe). Knappt tvåhundra har mer än 10 000 pe anslutna<sup>2</sup>.

Ungefär 70 procent av de svenska kommunala avloppsreningsverken rötar sitt slam och utvinnet biogas. Biogasen används oftast för att värma upp egna lokaler och rötchammare, men uppgradering och försäljning av biogas som fordonsgas eller leveranser till fjärrvärmenät blir allt vanligare. De större avloppsreningsverken tar emot slam från mindre reningsverk, vilket betyder att andelen slam som rötas är högre än 70 procent.

Rötning är vanligast hos avloppsreningsverk med en anslutning om mer än ca 10 000 pe. Vid reningsverk med lägre anslutning brukar rötning inte betraktas som ekonomiskt lönsam.

<sup>1</sup> Balmér, P, Book, K, Hultman, B, Jönsson, H, Kärrman, E, Levlin, E, Palm, O, Schönning, C, Seger, A, Stark, K, Söderberg, H, Tideström, H, Åberg, H (2002). System för återanvändning av fosfor ur avlopp. Underlag till aktionsplanen Bra slam och fosfor i kretslopp. Naturvårdsverket Rapport 5221.

<sup>2</sup> Utsläpp till vatten och slamproduktion 2006. Kommunala reningsverk, skogsindustri samt viss övrig industri. SCB Statistiska meddelanden, MI 22 SM 0801.

## 1.2 Fosforpotential i svenskt avloppsslam

Kommunalt avloppsvatten innehåller fosfor som är en ändlig resurs. 95 procent av fosfor i inkommande vatten till svenska avloppsreningsverk avskiljs till avloppsslammet<sup>3</sup>. Den sammanlagda mängd fosfor som finns i Sveriges slamproduktion under ett år är ca 6 000 ton. När slam används för gödsling av åkermark, används det i huvudsak för att gödsla mark för odling av höstspannmål främst höstvet<sup>4</sup>. Om hela mängden fosfor skulle användas som gödselmedel på åkermark skulle man kunna ersätta ca 42 % av nuvarande användning av fosformineralgödsel.<sup>5</sup> Om allt slam läggs ut med en sjuåriga, vilket är maximal giva enligt Naturvårdsverkets föreskrifter, räcker slammets fosfor till att gödsla totalt drygt 40 000 hektar varje år. 40 000 hektar är ca 4 % av Sveriges spannmålsareal.

Som ett delmål till Sveriges miljö kvalitetsmål God bebyggd miljö har riksdagen beslutat att minst 60 procent av fosfor i avlopp ska återföras till produktiv mark varav minst hälften ska återföras till åkermark till år 2015. Miljömålsrådet har föreslagit att delmålet ska omformuleras till: "Senast år 2015 ska minst 60 procent av fosforföreningarna i avlopp återföras som växtnäring, varav minst hälften bör återföras till åkermark". Anledningen till den föreslagna ändringen är att tolkningen av benämningen "produktiv mark" har varit ett problem och det därför kan vara en poäng i att förtydliga begreppet.

För närvarande har inte allt avloppsslam i Sverige tillräckligt lågt föroreningsinnehåll för att kunna användas som konkurrenskraftigt gödselmedel. I ungefär hälften av dagens slam är kadmiumhalten för hög för att man ska kunna gödsla med tillräckligt med fosfor för att täcka odlade gröders behov utan att överskrida de krav, som finns i dagens svenska lagstiftning.

Ett kvalitetsmått som brukar användas vid värdering av gödselmedel är milligram kadmium (Cd) per kilogram fosfor (P). I medeltal var kadmiumhalten år 2006 ca 37 mg Cd/kg P. Om man vill gödsla åkermark med slam och lägga ut i genomsnitt 22 kg fosfor per hektar och år<sup>6</sup> behöver kadmiumhalten vara 34 mg/kg P eller lägre om man sam-

<sup>3</sup> Utsläpp till vatten och slamproduktion 2006. Kommunala reningsverk, skogsindustri samt viss övrig industri. SCB Statistiska meddelanden, MI 22 SM 0801.

<sup>4</sup> Erfarenheter från ReVAQ-projektet 2006. Källa: Bengt Hansson, Envisys.

<sup>5</sup> Försäljning av mineralgödsel till jord- och trädgårdsbruk ([http://www.scb.se/Pages/TableAndChart\\_\\_\\_21289.aspx](http://www.scb.se/Pages/TableAndChart___21289.aspx)).

<sup>6</sup> Genomsnittlig fosforgiva i svenskt jordbruk 2006 enligt SCB "Användning av kväve (N) och fosfor (P) från stall- och mineralgödsel 2006/07", <http://www.scb.se>

tidigt ska uppfylla Naturvårdsverkets nuvarande gränsvärde för kadmiumtillförsel vid slamgödsling (SNFS 1994:2). Ungefär halva svenska slamproduktionen klarade detta krav år 2006.

Det långsiktiga målet i Svenskt Vattens certifieringssystem för avloppsslamproduktion och -hantering, REVAQ, är 17 mg Cd/kg P, vilket sammanfaller med de tidigare förslag från till skärpta gränsvärden för slamgödsling som presenterades i Naturvårdsverkets förordningsförslag från 2002. År 2006 klarade ca 10 procent av det svenska slammet detta krav. För att målet ska nås krävs åtgärder vid källan. Att bedriva ett aktivt "uppströmsarbete" är ett av kraven i REVAQ-systemet, vilket bland annat innebär att reningsverken kartlägger flöden av olika föroreningar i spillvattennätet, granskar kemikaliehandlingen hos anslutna verksamheter och arbetar för att de kemikalier som medföra risker för människors hälsa eller miljön ersätts med mindre farliga produkter. Även många reningsverk utanför REVAQ arbetar aktivt med detta. Halten av kadmium sjunker successivt från år till år, vilket framgår av den regelbundna redovisningen från Statistiska Centralbyrån (SCB) mellan åren 1987 och 2006.

En återföring av 30 procent (riksdagens mål) motsvarar knappt 2 000 ton fosfor, som i sin tur motsvarar ca 13 procent av dagens användning av fosformineralgödsel. Den mängden fosfor räcker med en sju-åring till att gödsla totalt ca 13 000 hektar varje år, vilket är ca 1,3 % av Sveriges spannmålsareal.

### **1.3 Slamgödsling av åkermark i Sverige**

Senaste officiella statistiken om slam användningen i Sverige finns i ett statistiskt meddelande från SCB och rör användningen 2006.

Enligt SCB användes minst 31 000 ton av slammet som gödselmedel i jordbruket år 2006, vilket motsvarade ca 15 % av den totala slamproduktionen i Sverige detta år.

## 2 Teknik för fosforutvinning

### 2.1 Allmänt om återvinning av fosfor ur avloppsvatten

#### 2.1.1 Inledning

Ett inkommande avloppsvatten har ca 10-15 % av fosfor partikelbunden medan övrig fosfor är vattenlöslig, främst som väte- och divätefosfat. Utvinning av fosfor som produkt behöver därmed att bestå av följande två delsteg:

- Överföring av fosfor till partikelbunden form (kemiskt bunden, biologiskt bunden eller bunden via jonbyte eller adsorption)
- Separation av olika komponenter från den fasta fasen (i regel slam). De komponenter som främst avses är fosfat och metallföreningar som kan återvinnas för kemisk fällning. En separat hantering av tungmetaller och slutlig hantering av återstod (slam, aska etc.) förutsätts i detta sammanhang

Överföring av fosfor till partikelbunden form har främst skett med kemisk fällning (huvudsaklig teknik i Sverige) och under senaste 10-20 åren i allt ökande grad med biologisk fosforreduktion. Vid högt ställd avskiljningsgrad av fosfor kan huvuddelen av fosfor avlägsnas med biologisk teknik följt av ett efterföljande steg med kemisk fällning t.ex. i ett filter. För ännu högre krav på utgående fosforhalt (t.ex. under 0,1 mg P/l) kan sandfilter ersättas med membranteknik, t.ex. mikrofiltrering. Jonbyte eller adsorptionsprocesser (t.ex. på aktiverad aluminiomoxid) har ännu inte fått någon betydande tillämpning, utom vid småskalig teknik. Fosfor kan dessutom överföras till partikelbunden form genom att tas upp av alger, högre växter etc.

De två huvudlinjer som har studerats för överföring av fosfor i inkommande avloppsvatten till en produkt, som kan användas som gödselmedel är därmed:

- 1) fosforavskiljning med biologisk teknik (med efterföljande produktutvinning) och
- 2) kemisk fällning (med efterföljande produktutvinning).



### 2.1.2 Biologisk avskiljning av fosfor och efterföljande produktutvinning

Biologisk fosforavskiljning att man dels har en syre- och nitratfri zon (anaerob zon) där fosfat frigörs (överförs till vätskefas från slamfas), dels ett aerobt eller anoxiskt steg där fosfor anrikas i slammet (s.k. "lyxfosfor"). I Sverige kallas tekniken ofta för Bio-P. Det internationellt etablerade begreppet för hela processen är EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal)

De olika varianterna för biologisk fosforreduktion bygger på att hela avloppsvattnet behandlas aerobt och/eller anoxiskt medan det anaeroba steget kan placeras för huvudströmmen eller i en sidostrom (del av returslamflödet). Biologisk fosforreduktion kan ses som en möjlighet att koncentrera inkommande fosforhalt från t.ex. en halt på 5-6 mg P/l till en vätskefas med minst 10 ggr högre halt löst fosfor. Energin för detta sker från upptag av lågmolekylära organiska föreningar t.ex. acetat och innebär att detta organiska material inte kan utnyttjas t.ex. för biogasproduktion.

Om huvudströmsteknik används för biologisk fosforreduktion kan frigöring av fosfor från uttaget överskottsslam ske i befintliga rötktammare. Magnesiumammoniumfosfat ("struvit",  $MgNH_4PO_4$ ) kan sedan utvinnas från rejektvatten efter avvattnings av rötat slam med t.ex. kristallisationsteknik (OSTARA), eller med fällning i rötat slam och avskiljning av struvit med hydrocyklon (Berliner Wasserbetriebe med anläggning i Wassmannsdorf, Berlin). För erhållet överskottsslam kan detta efter avvattnings extraheras för fosforupplösning med ammoniakrik ström för senare utfällning av struvit (CAMBI med basisk extraktion av fosfat).

Om fosforutlösning sker i en delström för returslam (t.ex. PhoStrip) kan efter separation slam återföras till aktivslamsteget och löst fosfat fälls ut som kalciumfosfat (Crystalactor) följt av användning för fosfatindustrin (Geestmerambacht, Nederländerna).

Utfällning kan ske av magnesiumammoniumfosfat där ammoniak kan erhållas från rejektvatten efter avvattnings av slam. pH-värdet behöver uppgå till minst ca 9 vilket kan göras med tillsats av alkali eller luftning (avdriven koldioxid medför en pH-höjning).

Med biologisk fosforreduktion kan man inte uppnå lika låg fosforhalt i utgående vatten som vid kemisk fällning. För att uppfylla dagens utsläppskrav kan man behöva stödfälla med järn- eller aluminiumsalter.

En variant av utvinning av fosfor vid biologisk fosforrening och tillsats av ättiksyra och kalk (PhoStrip) presenterades i Naturvårdsverket Rapport 5221: "System för återanvändning av fosfor ur avlopp. Underlag till aktionsplanen Bra slam och fosfor i kretslopp". Enligt rapporten gick det åt 4,7 kg ättiksyra och 5,7 kg CaO för att utvinna ett kilogram fosfor. Kostnaden per kg återfört fosfor beräknades till 33 kr (25 års avskrivning till 5 % ränta). Priset för handelsgödsel fosfor är för närvarande runt 20 kr per kg fosfor.

### 2.1.3 Kemisk fällning och efterföljande behandling för produktutvinning

I detta fall tillsätts fällningskemikalier för att överföra löst fosfor till en slamfas. Två huvudprinciper finns för fosforåtervinningen:

- Upplösning av komponenter i slam eller aska med syra eller bas. Den senare erhållna lösningen upparbetas med avseende på att erhålla en fosforprodukt, återvinna fällningskemikalier och separera tungmetaller. Processteknik kan bygga på kemisk fällning (KREPRO, AquaReci, SEPHOS, Seaborne) eller jonbyte (BioCon, RuPA).
- Separation via termofil teknik. Via EU-medel (SUSAN) och företaget ASH DEC Umwelt AG utvecklas teknik för att separera tungmetaller från slam med syfte att erhålla en fosforprodukt. Tekniken bygger på tillsats av kalcium- eller magnesiumklorid. Flera tungmetaller kan då avlägsnas som flyktiga metallklorider medan återstoden med bl.a. kalcium- och magnesiumfosfat kan utnyttjas som gödningsmedel (studeras i stor skala vid Eferding, Österrike). Andra tekniker av intresse kan vara:
  - Användning av kalkfällning och kalcinering så att CaO kan återvinnas och kvarvarande kalciumfosfater användas för produktutvinning
  - Tillsats av kalk till järnfosfat för att vid lämplig temperatur överföra järnfosfat till kalciumfosfat och därmed underlätta fortsatt behandling för produktutvinning.

#### **2.1.4 Sekundära effekter**

Fosforåtervinning ur slam medför många effekter utöver de faktorer som är direkt relaterade till fosforutvinningen. Sidoeffekter är bland annat att slammängder/-volymmer, slamegenskaper kan påverkas och att man kan få nya rejektströmmar och förändrade rejektegenskaper m.m.

#### **2.1.5 Kostnadsaspekter**

Kostnader för fosforåtervinning beror mycket på hur befintligt verk är uppbyggt eller hur det uppbyggs vid nyuppbyggnad. Om ett verk har biologisk fosforreduktion och röt-kammare förefaller det att vara lönsamt med fosforutvinning som produkt, t.ex. OSTARA, som drivs utifrån företagsmässiga principer och med privata investeringsföretag som finansiärer. Svårigheter vid bedömning är vilka inkomster som kan tillgodoräknas t.ex. produktvärde, minskat koldioxidutsläpp och minskade driftkostnader. En livscykelanalys som har gjorts för Edmontons avloppsverk (med OSTARA:s teknik) tyder på att betydande fördelar från miljösynpunkt kan erhållas med tekniken. Ett flertal liknande processtekniker är under utveckling och har även utförts i full skala, speciellt i Japan.

För processer med återvinning av fosfor ur kemiskt slam visar kostnadsberäkningar att kostnaderna för att erhålla fosforprodukten är betydligt högre än kostnadsläget för kommersiella fosforprodukter. Liksom för system grundade på biologisk fosforreduktion kan minskade driftkostnader m.m. innebära en total kostnadsbesparing med användning av fosforutvinning som produkt. I nuläget är det dock rimligt att räkna med att fosforutvinning inte är lönsam utifrån ekonomiska beräkningar för avloppsverkets budget. För tyska förhållanden beräknas<sup>7</sup> att fosforutvinning skulle öka kostnaden för avloppsvattenrening med ca 2-5 %. Med teknikutveckling för utvinning av fosfor som produkt är det rimligt att den ökade kostnaden i framtiden kan kompenseras med olika fördelar med att styra in driften av ett avloppsverk mot ökad grad av fosforutvinning som produkt. Med sådana förfaranden bör även miljömässiga fördelar erhållas räknat utifrån livscykelanalys.

---

<sup>7</sup> Cornell & Schaum (2009)

## 2.2 Tidigare prövad men numera ej tillgänglig teknik

Inledningsvis redogörs i korthet några fosforåtervinningsmetoder som har prövats tidigare i Sverige, men som nu inte är kommersiellt tillgängliga. De tekniska principerna, resursförbrukning och återvunnen form beskrivs översiktligt.

### 2.2.1 Kreproprocessen

Kreproprocessen innebär att fosfor återvinns ur rejektvatten från behandlat slam och en återstod av ett så kallat fiberslam förbränns. Den återvunna fosfor föreligger som järnfosfat.

Avloppsslam behandlas vid ca 150 °C och pH 1 – 2 genom termofil hydrolys, varvid organiskt material spjälkas och fosfor, metaller och kväve frigörs från slammet. Mängden fast materiel reduceras härigenom till 50 – 60 % av inkommande TS-mängd. Det resterande materialet, fiberslammet innehåller organiskt material och ca hälften av slammets ursprungliga metallinnehåll. Slammet kan förbrännas efter avvattning. Fosforåtervinningen sker ur rejektvattnet från slammavvattningen.

Rejektvattnet innehåller förutom fosfor även metaller, kväve och löst organiskt material. Genom stegvis pH-justering kan olika komponenter fällas ut i olika steg. Fosfor fälls ut med järn vid lågt pH, bildad järnfosfat avskiljs genom centrifugering. Tungmetaller fälls med natriumvätesulfid i separat steg och omhändertas som farligt avfall.

Det kvarvarande vattnet, som innehåller löst kväve och organiskt material fordrar biologisk behandling, antingen i en separat anläggning, eller genom återföring till reningsverk.

Kreproprocessen är inte kommersiellt tillgänglig längre. Vidareutveckling av processen har upphört på grund av drifttekniska problem och svaga marknadsmässiga förutsättningar.

### 2.2.2 Aqua Reci

Principen för processen är att slammets organiska material oxideras fullständigt med syrgas och att fosfor utvinns ur återstoden/askan. Efter utvinning av fosfor återstår ingen brännbar fraktion. Den återvunna fosfor föreligger som kaesiumfosfat.

Rötat avloppsslam behandlas vid 220 bars tryck och 375 °C, då vatten är i så kallat superkritiskt tillstånd (varken vätska, gas eller fast form). Under dessa förhållanden löser sig all organiska ämnen i det superkritiska vattnet och genomgår fullständig oxidation vid tillsats av syrgas. Oorganiska ämnen bildar under processen en fast återstod, som kan separeras från vätskan. Processen är exoterm och efter start av processen kan utvecklad reaktionsvärme vara tillräcklig för att upprätthålla temperaturen i reaktorn.

Återvinningen av fosfor kan göras genom sur lakning av askan och tillsats av kalk efter pH-justering. Fosfor återvinns härigenom som kalciumfosfat.

Processen har endast tillämpats i pilotskala och någon fullskaleanläggning har aldrig byggts. Vidareutvecklingen har upphört i Sverige och patentet har övergått i ett Irländskt företags ägo. Någon processutveckling eller tillämpning är inte känd och Aqua Reci bedöms inte var kommersiellt tillgänglig.

### **2.2.3 BioCon**

BioConmetoden innebär att slammet torkas och förbränns, varefter fosfor återvinns ur askan. Den återvunna fosfor föreligger som fosforsyra.

Slammet torkas i ett första steg till närmre 90 % torrhalt i en bandugn. Erforderlig energi för torkningen fås från slamförbränningen. Förbränningen sker i en ugn med vattenkyld rost, där slaggen kyls efter förbränning. Fosfor återvinns ur bottenaskan.

Askan mals och löses upp i svavelsyra, varefter sand och inert material får sedimentera. Ur återstående lösning återvinns fosfor och fällningskemikalier (järn) i ett jonbytarsystem. Järn avskiljs i katjonbytare, som vid regenerering med svavelsyra ger järnsulfat, som kan användas som fällningskemikalie vid reningsverk. Sulfatjoner avskiljs därefter i en selektiv anjonbytare och i efterföljande steg avskiljs fosfat av en annan typ av anjonbytare. Jonbytaren regenereras med svavelsyra och bildar en lösning av fosforsyra, som kan användas för framställning av handelsgödsel.

I ett fjärde jonbytarsteg avskiljs tungmetaller med hjälp av katjonbytare. Denna regenereras med saltsyra och ger upphov till metallklorider, som avskiljs som metallkloridslam, som handteras som farligt avfall.

Återvinningsdelen (jonbytarsystemet) har bara prövats i laboratorieskala, men finns inte kommersiellt tillgänglig för fullskalebruk. BioCon är därmed inte att betrakta som en kommersiellt tillgänglig metod för fosforåtervinning.

## 2.2.4 Sammanfattning

I tabellen nedan sammanfattas ovan beskrivna processer.

	Krepro	Aqua Reci	BioCon
Kommersiell tillgänglighet	Nej	Nej	Nej
Återvinningsgrad (% av P i slam)	75 %	70-90 %	60 %
Kemikalieåtgång (kg/ton slam)	100 kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30 kg NaOH	200 kg O <sub>2</sub> 15 kg kalk 3 kg NaOH	100 kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30 kg HCl 5 kg NaOH 5 kg MgO
Energibehov (MWh/ton slam)	- 0,2 + 0,5	- 0,3 + 3	-0,07
Återvunnen form av fosfor	Järnfosfat	Kalciumfosfat	Fosforsyra

"Slam" avser här avvattnat rötat slam med en TS-halt på 25 %  
 "-" anger förbrukad energi, "+" anger utvunnen energi

## 2.3 Teknik utvecklad efter 2002

I Naturvårdsverkets regeringsuppdrag och i SWECO:s uppdrag ingår att utvärdera den teknikutveckling som skett på området sedan 2002 då Naturvårdsverksrapporten om system för återanvändning av fosfor ur avlopp (5221) publicerades. Teknikutvecklingen beskrivs kortfattat i nedanstående avsnitt.

### 2.3.1 Termokemisk behandling av aska från monoförbränning av slam

Vid tekniska Universitetet i Wien har en metod utvecklats för att rena aska på tungmetaller efter monoförbränning av slam. Processen har vidareutvecklats av det Österrikiska företaget ASH DEC Umwelt AG inom ramen för det europeiska forskningsprojektet SUSAN (Sustainable and Safe Re-use of Municipal Sewage Sludge for Nutri-

ent Recovery<sup>8</sup>). Processen bygger på att slamaska behandlas i roterande ugn. Som slutprodukt framställs ett fosforrikt gödningsämne i form av pellets. Uppgifterna som redovisas i det följande är baserat på publicerade uppgifter från SUSAN-projektet, samt publicerade uppgifter från och kontakter med leverantören<sup>9</sup>.

Processens huvudsyfte kan sägas vara att rena slamaskan från tungmetaller, så att den efter pelletering kan användas som näringsämne. Processen utgörs av rostning vid ca 1 000 °C under närvaro av magnesium- och kalciumklorid. Under processen bildas metallklorider, som vid den aktuella temperaturen föreligger i gasfas. Metallerna avskiljs genom rening av processgasen och i förbränningsresten återfinns slammets fosfor.

Inom försöksprogrammet har i laboratorieskala utprovats optimal temperatur, uppehållstid och hur koncentration och typ av tillförd klorid påverkar resultatet. Vidare har det undersökts om det uppkommer någon skillnad av avskiljningsgraden av tungmetaller, beroende på hur fosforavskiljningen i reningsverket utförts. I projektet har använts slamaska från reningsverk som för fosforavskiljningen tillsatt antingen järn- eller aluminiumsalter, samt slam från biologisk fosforavskiljning. En sammanfattning av undersökta försöksbetingelser från SUSAN redovisas i tabellen nedan.

#### 2-1. Försöksbetingelser

Parameter	Undersökt intervall
Temperaturintervall	750 – 1 000 °C
Upphållstid i ugn	20 – 120 min
Tillförd klorid	MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , 50 – 200 g Cl/kg aska
Slam, P-avskiljningsmetod	Järnsalt, aluminiumsalt, Biologisk fosforreduktion

Tungmetaller avlägsnades i stort sett i samma omfattning från slamaskan, oberoende av vilken metod som har använts för fosforavskiljning i reningsverken. Slammens innehåll av kadmium, koppar, bly och zink överfördes till mer än 90 % till gasfas, medan molybden av-

<sup>8</sup> [www.susan.bam.de](http://www.susan.bam.de)

<sup>9</sup> [www.ashdec.com](http://www.ashdec.com)

skiljdes till ca 80 % och tenn till ca 70 %. Nickel, krom och arsenik rapporteras bara ha avskiljts i obetydlig grad.

Försöken har visat att temperaturen har stor betydelse för avskiljningen av tungmetaller och att ca 1 000°C fordras för att uppnå det tyska gränsvärdet för koppar i gödningsmedel (70 mg per kg).

Såväl magnesiumklorid som kalciumklorid visade sig effektiva som kloridkälla. En kloridkoncentration på 100 g Cl/kg aska bedöms som ekonomiskt optimalt, vid koncentrationer över 100 g/kg aska uppnåddes ingen ökad avskiljning av tungmetaller.

Nödvändig reaktionstid bedöms till 20 minuter, vid ökad uppehållstid kunde ingen ökad avskiljning iakttas.

Tekniken har patenterats av ASH DEC Umwelt AG. Pilotanläggningen i Loeben i Österrike är i kontinuerlig drift (300 kg aska/h) sedan juni 2008. Enligt uppgifter från företaget ska en första anläggning (16 000 ton aska/år, 2 ton aska/h) tas i drift i Tyskland i mitten av 2010 och ytterligare en anläggning i Holland är planerad till året därpå.

ASH DEC Umwelt AG har redovisat tungmetallinnehållet i en av deras produkter, PhosKraft® PK Fertilizer. Produkten innehåller 12 % fosfor i form av P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. I tabellen nedan redovisas fosfor- och tungmetallinnehållet i produkten, samt i aska från förbränning av slam.

## 2-2. Sammansättning hos askgranulat och aska

	Fosfor		Tungmetallinnehåll (mg per kg)						
	( % )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Granulat	12,0	1,3	44	73	<0,1	7,9	18	11	99
Slamaska	21,5	3,5	79	450	0,6	11,8	55	224	1588

I tabellen anges medelvärden för fosforinnehållet i slamaskor som användes under de termokemiska försöken. Den färdiga gödningsprodukt, som tabellen redovisar ("Granulat"), har framställts genom att blanda termokemiskt behandlad aska med kalciumklorid eller kalciumsulfat, som är biprodukter från biobränsle produktion. Fosforhalten är av denna anledning lägre i den färdiga produkten, än i slamaskor.



kan. Enligt leverantörens uppgifter består produkten till ca 50 % av aska och resterande del av kaliumklorid och kaliumsulfat från biobränsletillverkningen.

Fosforhalten i produkten har beräknats till ca 52 g P/kg, vilket ger en kadmium-fosfor kvot på ca 25 mg Cd/kg P. För den obehandlade askan blir motsvarande värden 94 g P/kg aska och 37 mg Cd/kg P.

Inom ramen för projektet har även odlingsförsök utförts. En något högre avkastning anges för askprodukter som har behandlats med magnesiumklorid, jämfört med kalciumklorid. De askbaserade gödningsmedlen uppges i försöken ha gett likvärdig avkastning som konventionella handelsgödsel (superfosfat).

I projektet har även den utvunna fosfors växttillgänglighet studerats. Vid försök med lakning i citronsyra fann man att fosfor i termokemiskt behandlad aska var nära fullständigt löslig i citronsyra, medan fosfor i aska som inte genomgått termokemisk behandling enbart kunde lösas ut till 30 – 50 %.

Energiförbrukningen vid den termokemiska behandlingen uppges till 0,6 – 0,7 MWh/ton produkt. Optimal dosering av klorid har vid försöksdriften uppskattas till 100 g Cl/kg aska. Avskiljningen av tungmetaller uppges vara något högre då kalciumklorid används, medan gödselprodukten uppges ge högre avkastning då magnesiumklorid används.

### ***Drifterfarenheter***

Som framgår ovan har pilotanläggningen varit i kontinuerlig drift under knappt ett år. Leverantören uppges att de tekniska problemen varit få och att man har uppnått en stabil drift av anläggningen.

I den nuvarande anläggningen pelleteras först askan tillsammans med additiv före den termofila behandlingen. Efter genomförd process sker ytterligare pelletering tillsammans med rester från biobränsletillverkningen. Försöksdriften har visat att den första pelleteringen, som utförs bland annat för att minska befaraade problem orsakade av damm, sannolikt inte är nödvändig. Enligt leverantören kommer den tyska anläggningen som uppförs 2010 sannolikt endast att omfatta det andra pelleteringssteget.

Leverantören uppges att man vid produktion av gödningsprodukterna anpassar tungmetallavdrivningen (genom att variera mängden till-

förda klorider) efter nationella regler för tungmetallinnehåll i gödningsprodukter. De ovan redovisade tungmetallhalterna för PhosKraft®PK Fertilizer är anpassade efter Österrikiska förhållanden. Det hade varit tekniskt möjligt att producera en produkt med lägre tungmetallhalter, vilket dock skulle ha medfört ökad förbrukning av tillsatskemikalierna.

Vid den termokemiska processen avgår förutom tungmetaller även kalium och sulfater, medan man inte rapporterar någon förlust av fosfor. Leverantören uppger att man får en anrikning av fosfor i den behandlade askan. Mot bakgrund av att askan från monoförbränning i genomsnitt innehåller 21,5 %  $P_2O_5$  och halten i produkten anges till 12 %  $P_2O_5$  bedömer vi det sannolikt att  $P_2O_5$ -halten i den behandlade askan har ökat med knappt 3 procentenheter till ca 24 %.

Leverantören uppger att det är tekniskt möjligt att avskilja mer än 99 % av slamaskornas innehåll av kadmium och bly, medan zink och koppar kunnat avskiljas med drygt 90 %, men detta har inte verifierats i den dokumentation som vi har haft tillgång till.

Idag produceras ytterligare en produkt, PhosKraft® NPK Fertilizer, med kvävetillskott. I denna produkt är fosforhalten något lägre (8 %  $P_2O_5$ ).

Båda produkterna utgörs av granulat. Leverantören uppger att den bakomliggande tanken har varit att producera gödningsmedel som är anpassade efter den spridningsutrustning som används för handelsgödsel.

### 2.3.2 Utfällning av struvit enligt Ostaraprocessen

Företaget Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc. är ett avknopningsföretag från University of British Columbia i Vancouver, Canada. Företaget har för sin verksamhet erhållit 10,5 miljoner dollar via två investeringsbolag med inriktning mot "Clean Technology" (VantagePoint Venture Partners och Foursome Investments Ltd). Delar av processtekniken är patenterad (kristallisationsdelen; "PEARL"). Affärsidén bygger på behandlingssystem och finansiering samt distribution och marknadsföring av produkten Crystal Green® Fertilizer.

Den tillämpade tekniken är inte ny, men Ostaraprocessen representerar till skillnad från andra struvitförsök även fullskaletillämpningar (2007, 2009). Processen är kommersiellt tillgänglig och bedöms av

denna anledning intressant i detta sammanhang. Till skillnad från ASH DEC-metoden har inte tillräcklig med underlag om resursförbrukningar m.m. varit tillgängliga för att möjliggöra en konsekvensanalys av återvinningsmetoden. Då tekniken kan anses vara tillämpbar i ett flertal svenska avloppsverk med biologisk fosforavskiljning, bedömer vi den vara relevant att beskriva vidare, trots att det tekniska underlaget är ofullständigt. Ytterligare en anledning till detta är att processen genererar en färdig gödselprodukt som är färdig att användas inom jordbruket.

Utveckling av teknologin påbörjades för 10 år sedan, med försök i pilotskala sedan 2001. Fullskaleanläggningar finns i Edmonton (Canada) sedan maj 2007 och i Durham (USA) sedan mars 2009. Edmontons reningsverk belastas av ca 700 000 personer och uppges behandla 500 m<sup>3</sup> slam per dygn för framställning av 500 kg struvitprodukt per dygn.

Durhams reningsverk belastas av ca 500 000 personer, jag har ingen uppgift på hur mycket fertilizer de får fram, anläggningen togs ju i drift för bara några månader sedan.

Tekniken bygger på biologisk fosforreduktion i huvudströmmen följt av rötning då fosfat frigörs tillsammans med kalium- och magnesiumjoner. Rejektvatten från avvattning kan fällas ut i en kristallisationsreaktor med kompletterande tillsatser av magnesiumklorid och pH-justering. Hur stora kemikalietillsatser som behövs har inte angivits, men om man räknar stökiometriskt och lägger på en faktor 2 (ett visst överskott behövs för kvantitativ utfällning av struvit) kommer man fram till en dos magnesiumklorid hexahydrat (MgCl<sub>2</sub> x 6 H<sub>2</sub>O) på 6,5 kg/kg fosfor.

Erhållet kristallisationsmaterial kan sedan samlas upp som Crystal Green<sup>®</sup> Fertilizer. Det rejektivatten som lämnar reaktorn har en betydligt minskad fosfor- och kvävehalt och återförs till inkommande avloppsvatten.

Följande reningsresultat har rapporteras:

- Återvinning >85 % av fosfor i rejektet
- En minskning med 20-35 % av den totala belastningen för anläggningens huvudström
  - Minskat behov av organiska syror för den biologiska fosforreduktionsprocessen
  - Ökad stabilitet för den biologiska fosforreduktionen
- Minskad igensättning av struvit i ledningar
- Återvinning av ammoniumkväve med upp till 40 %
  - Minskade luftningskostnader med 2-5 %
  - Minskat alkalinitetsbehov för nitrifikation
- Minskat innehåll av närsalter i uttaget bioslam

En negativ faktor när det gäller reningsresultat är att man med enbart biologisk fosforreduktion inte kan nå lika låg fosforhalt i utgående vatten som vid kemisk fällning. För att göra det behöver man oftast stödfälla med järn- eller aluminiumsalter.

I likhet med ASH DEC produceras gödningsprodukten i form av pellets, vilket kan vara en fördelaktigt vid användningen inom jordbruk. Såvitt känt kan motsvarande spridningsutrustning som används för handelsgödsel även nyttjas för denna produkt.

Bland de egenskaper som anges för Crystal Green® Fertilizer kan följande:

- Sammansättning: 5 % N, 28 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10 % Mg och 0 % K
- Långsamt verkande gödningsmedel (>8 månaders frigöring; bästa marknad uppgavs därför vara för parker, golfbanor m.m.)
- Hög renhet
- Erhållna pellets 0,5-3,5 mm

En livscykelanalys har genomförts för Edmontons avloppsverk med jämförelse av:

- Behandling med återvinning av struvit och användning av den som gödningsämne
- Ingen struvitåtervinning, högre utsläpp av fosfor och kväve; konventionell produktion av gödningsmedel från mineral med samma värde för jordbruk.

Inga data om produktens innehåll av metaller har rapporterats. Sådana data har vi däremot funnit i en artikel av Weidelenner, Maier och Krampe<sup>10</sup>. De har gjort försök med utlakning i "halvteknisk skala" (reaktorvolym 1 m<sup>3</sup>) av fosfor ur rötat slam med hjälp av svavelsyra och utfällning ur klarfasen med magnesiumklorid, MgCl<sub>2</sub>. 59 procent av fosfor i slammet utvanns på detta sätt. Detta överensstämmer med den uppskattade återvinningsgraden i Naturvårdsverket Rapport 5221. Efter ytterligare fällningssteg uppges kvaliteten kunna förbättras ytterligare. Detta har dock inte verifierats i försök av arbetsmiljöskäl (risk för svavelvätebildning).

I nedanstående tabell visas produktens närings- och metallinnehåll.

Tabell 2-3. Sammansättning hos struvit utvunnen i "halvteknisk skala" enligt Weidelenner et.al.

	<b>P<sub>tot</sub></b>	<b>N<sub>tot</sub></b>	<b>Mg</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Hg</b>	<b>Zn</b>
	g/kg TS			mg/kg produkt						
Struvit enligt ovan	113	43	77	11	0,7	11	43	2,1	0,03	220

Den specifika TS-mängden överskottsslammet från ett reningsverk med biologisk fosforutvinning antogs i Naturvårdsverket Rapport 5221 vara 18,6 kg TS/person och år, jämfört med 21,9 kg TS/person och år för överskottsslam från ett avloppsreningsverk med konventionell kemisk och biologisk rening. Med biologisk fosforutvinning produceras således ca 15 procent lägre mängd slam än vid konventionell rening.

<sup>10</sup> A. Weidelenner, W. Maier, J. Krampe. Recovery of Phosphorus from Sewage Sludge. Water Environment Federation (2007).

Driftkostnader bedömdes minska så fort installationen var gjord. En återbetalningstid bedömdes vara 3-5 år på gjorda investeringar tack vare minskade driftkostnader och försäljningsvärde för Crystal Green®Fertilizer.

### 2.3.3 Tyskt FoU-program för produktion av fosforgödsel från slam

I Tyskland initierades under 2008 ett forsknings- och utvecklingsprogram med syfte att producera fosforgödsel ur avloppsslam. Programmet "Kreislaufwirtschaft für Pflanzennährstoffe, insbesondere Phosphor" är en gemensam satsning från BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) och BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) som pågår till 2010.

Programmet omfattar fem olika projekt, som i korthet beskrivs nedan. Programmet omfattar både teknik som tidigare har nyttjats i sammanhanget, modifiering av sådan teknik och nya metoder. I varierande grad ingår fälttest i reningsverk eller preliminär design av anläggning i industriell skala.

**PASCH** - Återvinning av fosfor från aska från avloppsslam och benmjöl.

Projektet syftar till att skapa askfraktioner med högre fosforhalt än i obehandlad aska efter förbränning. Fosforåtervinning ska därefter ske genom kemisk eller biologisk lakning. Projektet inrymmer en preliminär design av processen i industriell skala.

**PHOXNAN** – Våtoxidering vid lågt tryck (LOPROX)

Projektet syftar till att utveckla kombinationen av våtoxidering vid lågt tryck och nanofiltrering vid lågt pH för att återvinna fosfor. Nanofiltrering nyttjas här som separationsmetod för att avskilja tungmetaller, som vid processens låga pH kommer att passera membranet och kan återvinnas ur permeatet.

**PROPHOS** – Fosforåtervinning från avloppsvatten, slam och slamaska

Projektet består av två studier, där Studie A, som utförs vid Leibniz och Karlsruhe Universitet fokuserar på utvinning av fosfor i vätskefas (huvudström, delström eller rejektvatten) och utfällning av magnesiumammoniumfosfat eller kalciumfosfat.

I studie B vid Darmstadts Universitet omfattar studier av hur fällningskemikalier (järn och aluminium) samt slambehandlingsmetod (anaerob och aerobisk) påverkar hur fosfor binds i slammet. Projektet ska även utvärdera hur dessa faktorer påverkar utbytet vid utfällning, membranfiltrering och jonbytesprocesser.

**RECYPHOS** – adsorption av fosfor ur avloppsvatten

Projektet syftar till utveckling av en adsorptionsmodul för att selektivt återvinna fosfor ur avloppsvatten, vilket omfattar utprovning av olika adsorbenter, utveckling av regenereringsteknologi och fälttest i mindre kommunala reningsverk.

**PHOSIEDI** – utvinning av fosforsyra genom jonbytesteknik och elektrodialys.

Projektet syftar till att återvinna fosforsyra för framställning av gödningsämnen eller som råvara för industriella ändamål. Fokus ligger på separationsteknik och utvärdering av adsorptionsisotermer, belastning och regenerering av jonbytarmassor, samt underökning av olika membran och optimering av elektrokemiska förhållanden för processen. Målsättning är att ett kontinuerligt system ska utvecklas.

**2.3.4 Bedömning av nya tekniska modeller**

De två tekniska modeller för fosforåtervinning ur avlopp som har beskrivits i detta avsnitt, ASH DEC och Ostara, har det gemensamt att de representerar kommersiellt tillgänglig teknik för att återvinna fosfor och att det i båda fallen produceras en gödselprodukt som kan spridas med konventionell utrustning. Vi bedömer att dessa två har förutsättningar att dominera bland de anläggningar för fosforåtervinning som kommer att uppföras under kommande år.

Ur ett svenskt perspektiv bedöms struvitutfällning med Ostarametoden som den mest gångbara. Enligt branschföreningen Svenskt Vatten finns omkring tjugo kommuner i Sverige som idag använder sig av biologisk fosforreduktion. Det fosforfattiga slam som blir kvar efter struvitutfällning måste tas om hand på lämpligt sätt; jordtillverkning, sluttäckning av deponier eller avfallsförbränning.

För återvinning enligt ASH DEC fordras förbränningsanläggning för slam. Avsaknaden av avfallsförbränningsanläggningar som har pannor avsedda för monoförbränning av slam i landet talar emot att tekniken införs.

Teknikutveckling enligt det tyska FoU-programmet kan komma att bidra med nya möjligheter. Några tillämpbara metoder därifrån finns dock ännu inte framtagna och eventuella kommersiellt tillgängliga metoder kommer sannolikt att fordra många års utveckling.



### 3 Konsekvenser för miljö, hälsa och klimat

#### 3.1 Förutsättningar och avgränsningar för konsekvensbedömningarna

I detta kapitel beskrivs förutsättningarna för konsekvensbedömningarna i denna utredning kan ha på den yttre miljön och på människors hälsa. Beskrivningen gör inte anspråk på att vara fullständig. Den fokuserar istället på de konsekvenser som vi bedömer vara viktigast, när man ska välja mellan olika typer av slamhantering. Endast sådana parametrar som förekommer i flera teknikalternativ och som dessutom kan kvantifieras med för ändamålet tillräcklig säkerhet har tagits med.

Beskrivningen ska heller inte ses som en fullständig livscykelanalys, utan begränsas i första hand till de konsekvenser som hanteringen kan ha lokalt och – när det gäller transporter – regionalt. Exempel på konsekvenser som inte tas upp är miljökonsekvenser vid framställning och import av de kemiska produkter som används vid fosforutvinning och förbränning. Globala miljökonsekvenser utöver påverkan på klimat genom utsläpp av klimatpåverkande gaser från de studerade verksamheterna tas inte heller upp.

Hantering av avloppsslam kan i de utredda alternativen påverka miljön och människors hälsa på flera olika sätt. I huvudsak sker påverkan genom utsläpp till luft, mark och vatten samt genom buller och lukt. Miljö och hälsa kan påverkas såväl direkt av störningar från studerade anläggningar, som indirekt via slam-, kemikalie- och avfallstransporter. Dessutom påverkas miljön av slambehandling, gödsling av åkermark och hantering av rökgasreningssprodukter (främst aska) efter förbränning.

##### 3.1.1 Avloppsreningsverk som denna utredning baseras på

Två fosforutvinningsscenarier och ett scenario med enbart slamförbränning jämförs med ett referensscenario där REVAQ-certifierat slam sprids lokalt på åkermark inom respektive kommun.

Fem avloppsreningsverk har använts som modell för reningsverken i denna studie och ligger i jordbrukskommuner i mellersta Götaland. Anslutning, slambehandling, slammängder, transportavstånd etc. avspeglar förhållanden, som normalt förekommer hos svenska avloppsreningsverk i den valda storleksklassen; 10 000 – 100 000 pe.

Slammens kvalitet ligger nära den genomsnittliga halten för svenskt slam år 2006 (se nedan).

Tabell 3-1 Sammansättning hos ett svenskt avloppsslam 2006<sup>11</sup> och i utredningens scenarier

P	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	NF	PCB	PAH
%	mg/kg TS									
2,9	28	1	358	29	0,8	19	550	15	0,10	0,8

Avloppsreningsverk inom den valda storleksramen utgör till antalet enbart någon procent av Sveriges 2 000 avloppsreningsverk, men producerar nästan hälften av den svenska slamproduktionen.

Tabell 3-2 Förutsättningar för denna studie

	Sammanlagt för de fem verken	Variation mellan verken
Sammanlagd anslutning:	ca 160 000 pe	10 000 – 100 000 pe
Sammanlagd årlig slamproduktion (volym):	23 000 m <sup>3</sup>	1 000 – 12 000 m <sup>3</sup>
Sammanlagd årlig torrsubstansmängd (TS):	5 500 ton (TS-halt: 24 %)	250 – 3 000 ton
Slammens fosforinnehåll:	2,9 %	24 – 32 %
Slammens kadmiuminnehåll:	30 mg Cd/kg P	17 – 33 mg Cd/kg P

### 3.1.2 Utredda slamhanteringsscenarier

Två fosforutvinningsscenarier och ett scenario med enbart slamförbränning jämförs med ett referensscenario där REVAQ-certifierat slam sprids lokalt på åkermark inom respektive kommun. Förbränning av slam förekommer inte i någon större skala i Sverige idag, trots att ett tiotal anläggning har tillstånd för detta.

<sup>11</sup> Utsläpp till vatten och slamproduktion 2006. Kommunala reningsverk, skogsindustri samt viss övrig industri. SCB Statistiska meddelanden, MI 22 SM 0801

Reningsverken antas ligga i jordbrukskommuner i mellersta Götaland. Samtliga avloppsreningsverk som ingår i scenarierna lagrar hela sin slamproduktion i ett långtidslager vid reningsverket. En entreprenör anlitas gemensamt för att transportera och sprida slam eller fosforprodukter utvunna ur slam.

Nedan beskrivs slamhantering, behandlingsteknik, transporter, gödsling m.m. för de fyra olika scenarierna som ligger till grund för beräkningar och slutsatserna i denna rapport.

### 3.1.3 Struvitutfällning lokalt i respektive avloppsreningsverk följt av förbränning

- Alla avloppsreningsverk har Bio-P
- Fosfor utvinns i form av granulerad struvit ur rejektet från slamavvattningen med hjälp av Ostaraprocessen.
- Efter utvinning av struvit transporteras respektive reningsverks avvattnade slam till en regional avfallsförbränningsanläggning centralt i regionen. Transporterna sker med tung dieseldriven lastbil och släp (13+13 ton).
- Askkan deponeras på den askdeponi som den regionala avfallsförbränningsanläggning använder sig av.
- De kemiska produkter som behövs för struvitutfällning och slamförbränning transporteras med tung<sup>12</sup> dieseldriven lastbil som lastar 13 ton per bil.
- Den utvunna struvitgranulatprodukten antas kunna användas som gödselmedel utan ytterligare behandling.
- Struvitgranulatet hämtas vid avloppsreningsverken av en gemensam entreprenör som transporterar produkten till de skiften som ska gödulas. Produkten transporteras säckad med tung lastbil utan släp. Bilarna är dieseldrivna och lastar 13 ton per bil.
- Struvitgranulatet används som fosformedel vid gödsling av höstspannmål. Spridningen på skiftet sker under sensommaren med konventionella fastgödselspridare.

---

<sup>12</sup> Tunga transportfordon definieras som fordon med mer än 3,5 tons totalvikt.

### **3.1.4 Utvinning av fosfor ur aska efter slamförbränning:**

- Avvattnat slam transporteras till den regionala avfallsförbränningsanläggningen<sup>13</sup> med tung dieseldriven lastbil + släp (13+13 ton) från respektive avloppsreningsverk.
- Slammet förbränns i en separat slamförbränningspanna (monoförbränning), som byggs vid avfallsförbränningsanläggningen. Anläggningens befintliga rökgasrening och askhanteringssystem utnyttjas vid slamförbränningen.
- Fosforutvinningen sker ur aska vid avfallsförbränningsanläggningen med ASH DEC-metoden.
- Resten av askan deponeras på den askdeponi som avfallsförbränningsanläggningen deponerar sin aska på.
- De kemiska produkter som behövs för ASH DECprocessen och vid slamförbränning transporteras med tung<sup>14</sup> dieseldriven lastbil som lastar 13 ton per bil.
- Den utvunna fosforprodukten används som gödselmedel utan ytterligare behandling.
- Fosforprodukten hämtas vid den regionala utvinningsanläggningen av entreprenören som transporterar produkten vidare till det skifte som ska gödslas. Produkten transporteras med tung lastbil utan släp. Bilarna är dieseldrivna och lastar 13 ton per bil.
- Produkten sprids under sensommaren med konventionell fastgödelspridare.

### **3.1.5 Förbränning av avvattnat avloppsslam i en avfallsförbränningsanläggning**

- Avvattnat slam transporteras till regionens avfallsförbränningsanläggning med lastbil och släp (13+13 ton) från respektive avloppsreningsverk.
- Slammet förbränns tillsammans med avfall i någon av avfallsförbränningsanläggningens befintliga pannor.
- Askkan deponeras på avfallsanläggningens askdeponi.
- De kemiska produkter som behövs för förbränningen transporteras med tung dieseldriven lastbil som lastar 13 ton per bil.

<sup>13</sup> Slamförbränning klassas som avfallsförbränning.

<sup>14</sup> Tunga transportfordon definieras som fordon med mer än 3,5 tons totalvikt.

### 3.1.6 Referensscenario: Slamgödsling av åkermark

- REVAQ-certifierat slam sprids lokalt på åkermark inom respektive kommun.
- Slammet hygieniseras, antingen genom långtidslagring eller genom termofil rötning.
- Alla avloppsreningsverk lagrar hela sin slamproduktion vid reningsverket.
- I alla fem kommuner anlitas samma entreprenör för såväl transport som slamgödsling.
- Transporterna till respektive skifte sker med tunga lastbil och släp som lastar 13 + 13 ton slam.
- Slammet används som fosforgödselmedel och sprids under sensommaren med konventionell fastgödselspridare.

## 3.2 Inverkan på luftmiljön

Påverkan på luftmiljön och klimatet i de scenarier som vi har studerat kommer främst från transporter av slam, utvunna fosforprodukter, kemiska produkter och aska samt från förbränning av torkat slam. Vidare kan luktstörningar förekomma i samband med spridning av slam. Omfattningen och intensiteten i eventuella luktstörningar har inte kunnat kvantifieras i denna utredning.

### 3.2.1 Förbränning

Vid bedömning av miljöeffekter av slamförbränning har vi i scenariot med utvinning av fosfor som struvit (se 3.1.3) utgått från att förbränningen sker i en enskild panna som är avsedd för detta ändamål (monoförbränning). I övriga scenarier, utom slamgödslingsscenariot, har vi räknat med att slammet förbränns tillsammans med avfall i en konventionell avfallsförbränningsanläggning. Om slammet förbränns tillsammans med annat avfall eller bränsle blir halten av fosfor i askan så låg att fosforutvinning inte är lönsam.

Förbränning av slam ger bland annat upphov till utsläpp av kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ), lustgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), koldioxid ( $\text{CO}_2$ ), stoft och svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ). Svaveldioxid, kvävedioxid, ozon och partiklar ger vid förhöjda halter upphov till påverkan på hälsan, främst genom irritation av luftvägarna. Personer med astma är särskilt utsatta. Stoff/partiklar i utomhusluft är en bidragande orsak till hjärt-/kärlsjukdomar och sjuk-

domar i luftvägarna<sup>15</sup>. Cancerframkallande luftföroreningar bildas vid förbränning och utsläppen blir högre ju sämre förbränningseffektiviteten är. De största källorna är vedförbränning och dieselburen vägtrafik inkl. arbetsmaskiner<sup>16</sup>.

Utsläppen av svaveldioxid och kväveoxider bidrar till försurning, kväveoxider bidrar även till övergödning. Utsläpp av koldioxid och lustgas bidrar till att förstärka växthuseffekten.

Det finns inga officiella schablonvärden, som kan användas för att beräkna utsläpp till luft från monoförbränning av slam. Förutom av slammets värmevärde och sammansättning och val av rökgasreningsteknik, beror utsläppen på förbränningstekniska faktorer som panntyp, förbränningstemperatur, luftöverskott, hur luften tillsätts och om man använder stödbränsle eller ej.

Eftersom erfarenheterna av monoförbränning av slam ännu så länge inte är speciellt omfattande finns inte heller så mycket utsläppsdata. I VA-forskrappport nr 2004-5<sup>17</sup> gjordes ett försök att beräkna utsläppen vid monoförbränning av torkat avloppsslam. Rapporten utgår från erfarenheterna av två danska slamförbränningsanläggningar och den miljökonsekvensbeskrivning som bifogades tillståndsansökan för Sveriges första monoförbränningsanläggning för avloppsslam.

Omräkning till den mängd slam som årligen uppkommer i reningsverken i våra scenarier, ca 6 000 ton i torkad form, ger följande utsläpp. Utsläppsberäkningarna i tabellen bygger på att utsläppen ligger 80 procent under gränsvärdena i Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning; NFS 2002:28. Det finns dock inga gränsvärden för koldioxid och halten koldioxid i rökgaserna brukar därför inte mätas. Utsläppen av koldioxid är i stället beräknade med utgångspunkt i slammets innehåll av organiskt kol. Vid fullständig förbränning kommer allt organiskt kol att omvandlas till koldioxid och koloxid.

<sup>15</sup> Hälsan påverkas av stadsluften. Naturvårdsverkets hemsida - <http://www.naturvardsverket.se/sv/Tillstandet-i-miljon/Luftkvalitet/Halsan-paverkas/>

<sup>16</sup> Socialstyrelsens rapport "Hälsorelaterade miljö kvalitetsmål och åtgärder för ett ekologisk hållbart samhälle".

<sup>17</sup> Tideström H, Seger A och Hultgren J (2005). Regional eller lokal hantering av slam från tretton Västgötakommuner – Teknik, miljö och ekonomi. VA-Forsk rapport 2004-05

Tabell 3-3. Beräknade utsläpp till luft vid förbränning av 6 000 ton avloppsslam per år

Mängd torkat slam	Stoft	Organiska ämnen (HC)	Svaveldioxid (SO <sub>2</sub> )	Kväveoxider (NO <sub>x</sub> )	Koldioxid (CO <sub>2</sub> )
Ton/år					
6 000 (5500 ton TS)	0,38	0,49	1,9	7,6	1,9

Den koldioxid som uppkommer vid slamförbränning är till övervägande delen av biogent ursprung och anses därför inte ge något nettotillskott till atmosfären.

Vid förbränning av slam bildas även lustgas som är en kraftig växthusgas med en klimateffekt som är ca 300 ggr högre än koldioxids, räknat per viktenhet. Lustgas bildas genom reaktion med kvävet i luften eller med kvävet i bränslet. Utsläpp uppstår också vid reduktion av kväveoxidutsläpp med tillsats av ammoniak eller urea. Dessa utsläpp har dock minskat genom förbättrad teknik.<sup>18</sup>

VA-Forskrapporten tar inte upp utsläpp av lustgas och vi har inte hittat några uppgifter om hur stora utsläpp av lustgas som kan förväntas från monoförbränning av slam. Däremot visar försök att samförbränning av mekaniskt avvattnat slam med träpellets eller kol i en förbränningsanläggning med fluidiserad bädd leder till ökade utsläpp av lustgas.<sup>19</sup>

### 3.2.2 Transporter

Luftmiljön och klimatet påverkas även av de transporter som behöver utföras i de olika scenarierna. När vi har beräknat utsläppen från transporter har vi använt emissionsfaktorer från "Handbok för vägtrafikens luftföroreningar" utgiven av Vägverket och Naturvårdsverket 2001. I handbokens bilaga 6:2 anges följande emissionsfaktorer (per fordonskilometer, fkm)

<sup>18</sup> Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgasrening. Naturvårdsverket branschfakta mars 2005.

<sup>19</sup> Samförbränning av mekanisk avvattnat avloppsslam från Ryaverket med träpellets och kol i fluidiserad bädd, Maria Lekhove, Examensarbete Chalmers, 2001.

Tabell 3-4. Emissionsfaktorer enligt Vägverkets och Naturvårdsverkets handbok

Lastbilstyp	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	PM
<i>g/fkm</i>				
Utan släp	580	0,26	5,18	0,11
Med släp	1 000	0,27	8,28	0,15

Utsläppen av svaveldioxid från transporter är i dagsläget så små och det föreligger ingenstans i Sverige någon risk för att miljö kvalitetsnormerna för ämnet överskrids. Vi har därför valt att inte ta med utsläpp av svaveldioxid i denna rapport.

Emissionsfaktorerna är viktade med avseende på stads- och landsvägstrafik. Vi har vidare i samtliga fall utgått från att lastbilarna går tomma tillbaka. Lastbilstyp har valts utifrån vad som vanligtvis används. Utsläppen av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> påverkas dock inte i någon större utsträckning av om lastbilen har släp eller inte. Nedan visas hur utsläppen av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> vid transport av 100 ton produkt en sträcka av 100 km påverkas av valet av lastbil

Tabell 3-5. Utsläpp av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> vid transport av 100 ton produkt i 100 km (emissionsfaktorer enligt Vägverkets och Naturvårdsverkets handbok).

Lastbilstyp	Antal transporter	Sträcka enkel	Sträcka tur och retur	Total körsträcka	Emissionsfaktor CO <sub>2</sub>	Utsläpp CO <sub>2</sub>	Emissionsfaktor NO <sub>x</sub>	Utsläpp NO <sub>x</sub>
		<i>km</i>	<i>km</i>	<i>km</i>	<i>g/fkm</i>	<i>kg</i>	<i>g/fkm</i>	<i>kg</i>
Utan släp	7,7	100	200	1540	580	890	5,18	7,9
Med släp	3,8	100	200	769	1 000	769	8,28	6,4

Utsläppen av kolväten och partiklar minskar dock med ca 50 respektive 30 procent om transportererna utförs med lastbil med släp. Dessa utsläpp är dock i regel små.

När det gäller den mängd slam som går till förbränning har vi räknat med att man med struvitutfällning efter biologisk fosforreduktion (ne-



dan kallat Bio-P) producerar 15 procent mindre slam än vid konventionell avloppsrening.

Transporter av aska från avfallsförbränningsanläggning till deponi förekommer i samtliga fall utom i alternativet med direktspridning av slammet på åkermark. Vi har utgått ifrån att mängden aska är 37 % av mängden torkat slam som går till förbränning och att askmängden blir 15 % lägre efter struvitutfällning.

Förbränning av slam kräver insats av kemiska produkter för rökgaskondensering, rökgasrening och vattenrening. För att få en uppfattning av utsläppen från transport av dessa kemiska produkter till den regionala avfallsförbränningsanläggningen har vi utgått från uppgifter i miljökonsekvensbeskrivningen för en ny avfallsförbränningsanläggning vid Fortums Bristaanläggning i Märsta. Enligt denna åtgång för förbränning med rökgaskondensering av 240 000 ton avfall ca 6 000 ton kemiska produkter enligt följande.

Tabell 3-6. Exempel på kemikalieförbrukning vid avfallsförbränning, rökgasrening, rökgaskondensering och vattenrening (240 000 ton avfall/år).

Panna	Rökgasrening	Rökgaskondensering	Vattenrening
Ammoniak 1 000 ton	Släckt kalk 2 500 ton	Saltsyra 10 ton	TMT – 15 13 ton
Ammoniumsulfat 750 ton	Aktivt kol/koks 100 ton		Järnklorid 45 ton Natriumhydroxid 990 ton

Förutsatt att förbrukningen av kemiska produkter är på samma nivå när det gäller förbränning av torkat slam skulle förbränning av den mängd slam som uppkommer i våra scenarier (6 000 ton i torkad form) kräva en insats av ca 150 ton kemiska produkter. Vi utgår från att det är både miljömässigt och ekonomiskt motiverat att förse en anläggning för monoförbränning av torkat avloppsslam med rökgaskondensering på grund av vatteninnehållet.

För att framställa fosforrika askgranuler med hjälp av ASH DEC-processen åtgår ca 490 ton kalciumklorid eller magnesiumklorid för

att behandla de ca 2 000 ton aska som skulle bli kvar om slammet från denna utrednings avloppsreningsverk förbrändes.

För att framställa fosforrika struvitgranuler med hjälp av Ostaraprocessen har vi räknat med att det åtgår ca 1 500 ton magnesiumklorid för att fälla ut struvit ur ca 20 000 ton avvattnat bioslam, vilket är ett års slamproduktion om alla avloppsreningsverk hade biologisk fosforreduktion.

I denna utredning har vi räknat med att kemiska produkter för förbränning och fosforutvinning transporteras 250 km med lastbilar som lastar 13 ton/bil.

När vi har beräknat utsläppen från transport av slam och utvunna fosforprodukter för gödsling av åkermark har vi utgått från att slam från samtliga reningsverk sprids i närområdet och att medelavståndet per transport varierar mellan 5 och 15 km enkel resa. Utsläppen har räknats ut med hjälp av emissionsfaktorer i avsnitt 4.3.3.

### 3.2.3 Gödsling av åkermark med slam och utvunna produkter

#### *Slamgödsling*

Spridning av slam sker vart femte år med en giva motsvarande 110 kg P/ha per gång. Slammet sprids direkt, utan mellanlagring. Enligt Naturvårdsverket Rapport 5221 kan man räkna med att det går åt ca 8,6 MJ drivmedel för att sprida ett ton slam. Vi räknar med samma specifika drivmedelsåtgång även vid spridning av utvunna fosforprodukter. Vid beräkningarna har vi räknat med följande emissionsfaktorer.

Tabell 3-7. Emissionsfaktorer vid gödselspridning med dieseldriven traktor

Ämne	Utsläpp, g/MJ	Utsläpp, g/ton
CO <sub>2</sub>	75	645
SO <sub>2</sub>	0,14	1,2
NO <sub>x</sub>	1,3	11
HC	0,2	1,7

### ***Gödsling med fosforrika askgranuler (ASH DEC)***

Framställningen av fosforrika askgranuler med ASH DEC-metoden sker vid en separat anläggning intill reningsverket i den större kommunen centralt i regionen. Vi har i detta fall räknat med att framställda askgranuler transporteras tillbaka till respektive reningsverks och sprids i närområdet på samma sätt som i slamgödslingsfallet.

Enligt uppgift består askgranulerna till ca 50 % av aska. Resterande del är kaliumklorid och kaliumsulfat från biobränsletillverkning. Som tidigare nämnts har leverantören beräknad fosforhalten i produkten till ca 52 g P/kg, vilket ger en kadmiumfosforkvot på ca 25 mg Cd/kg P. Detta kan jämföras med ett avvattnat svenskt genomsnittslam: ca 7 g P/kg slam (ca 25 % TS-halt, 29 g P/kg TS) och en kadmiumfosforkvot på ca 37 mg Cd/kg P.

I denna utredning räknar vi med att fosfor i askgranulerna är relativt lösliga och därför sprids varje år på samma sätt som man gör med mineralgödsel. För att sprida 22 kg fosfor per hektar och år går det åt ca 420 kg produkt per hektar och år. Om man räknar med att hela mängden fosfor i de aktuella reningsverkens slam – ca 160 ton per år – kan utvinnas med hjälp av ASH DEC och användas för gödsling av åkermark, kan man gödsla med ca 3 100 ton askgranuler per år.

### ***Gödsling med granulerad struvit (Ostara)***

Den fosforrika granulerade struvitprodukt som framställs med hjälp av Ostarametoden uppges vara långsamverkande och vi räknar därför med att denna produkt sprids på med en fosforgiva på 110 kg/ha vart femte år. Med den fosforhalt på 28 procent, motsvarande 280 g P/kg, som har uppgivits motsvarar en sådan femårig giva ca 390 kg produkt per hektar. Om man räknar med att 70 procent av fosfor i de aktuella reningsverkens slam kan utvinnas med hjälp av Bio-P och struvitutfällning, får man ut ca 113 ton fosfor per år. För att sprida denna mängd fosfor per år i form av granulerad struvit behöver man sprida ca 400 ton produkt per år.

#### **3.2.4 Beräknade utsläpp till luft i de olika scenarierna**

I detta avsnitt redovisas beräknade utsläpp till luft från transporter, gödsling och förbränning. Redovisningen har delats upp i två tabeller per scenario, eftersom utsläppen från förbränning är så mycket högre än från transporter och gödsling. De transportavstånd som anges i

tabellerna motsvarar enkel resa mellan respektive destination och är alltså inte en mått på den totala sträcka som trafikerar.

Vi har räknat med att slam och fosforprodukter transporteras och sprids på åker med fordon och maskiner som drivs av fossila drivmedel (diesel). Avgasutsläppen bidrar därför till ökade utsläpp av bl.a. CO<sub>2</sub>. Utsläppen av rökgaser från slamförbränning antas däremot inte innebära några nettoutsläpp av CO<sub>2</sub>, eftersom slammets organiska del är av biologiskt ursprung.

**Struvitutfällning lokalt i respektive reningsverk följt av förbränning**

Tabell 3-8. Avgasutsläpp från transporter och gödsling med struvitgranuler (Ostara)

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM10
<b>Transporter</b>				
Slam till förbränning (32-44 km)	31 ton	257 kg	8 kg	5 kg
Kemiska produkter till struvitutfällning	29 ton	237 kg	8 kg	4,3 kg
Kemiska produkter till förbränning/rökgaskondensering (250 km)	1,8 ton	16 kg	0,8 kg	0,03 kg
Aska (10 km)	1,4 ton	13 kg	-	-
Transport av struvitgranuler från reningsverk till åkermark	0,3 ton	3 kg	0,2 kg	0,06 kg
<b>Gödsling med struvit</b>	0,3 ton	5 kg	0,7 kg	Ingen uppgift
<b>Summa</b>	<b>64 ton</b>	<b>530 kg</b>	<b>18 kg</b>	<b>9 kg*</b>

\*) Uppgift om utsläpp från spridning saknas.

Tabell 3-9. Rökgasutsläpp från förbränning av slam efter Bio-P och struvitutvinning

Mängd torkat slam	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC
5 200 ton*	5 140 ton	6 500 kg	420 kg

\*) 15 % mindre slam med Bio-P.

*Utvinning av fosfor ur aska efter slamförbränning*

Tabell 3-10. Avgasutsläpp från transporter och gödning med askgranuler

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM10
<b>Transporter</b>				
Slam till förbränning (32-44 km)	33 ton	271 kg	9 kg	0,5 kg
Kemiska produkter till förbränning/rökgaskondensering (250 km)	2,1 ton	19 kg	0,9 kg	-
Aska (10 km)	2 ton	18 kg	-	-
Kemiska produkter till fosforutvinning (252 km)	11 ton	88 kg	3 kg	2 kg
Transport av askgranuler till åkermark i resp. kommun	4,3 ton	36 kg	1,2 kg	-
<b>Gödning med askgranuler</b>	2	34 kg	5 kg	Ingen uppgift
<b>Summa</b>	<b>54 ton</b>	<b>465 kg</b>	<b>19 kg</b>	<b>2,5 *</b>

\*) Uppgift om utsläpp från spridning saknas

Tabell 3-11. Rökgasutsläpp från monoförbränning av slam

Mängd torkat slam	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC
ca 6 100 ton	6 100 ton	7 600 kg	490 kg

**Förbränning av avvattnat avloppsslam i en avfallsförbränningsanläggning**

I detta scenario sker ingen fosforutvinning och följaktligen ingen gödsling.

Tabell 3-12. Avgasutsläpp från transporter av slam till avfallsförbränning

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM10
<b>Transporter</b>				
Slam till förbränning (32-44 km)	33 ton	271 kg	9 kg	0,5 kg
Kemiska produkter till förbränning/rökgaskondensering (250 km)	2,1 ton	19 kg	0,9 kg	0,04 kg
Aska (10 km)	2 ton	18 kg	-	-
<b>Summa</b>	<b>37 ton</b>	<b>308 kg</b>	<b>10 kg</b>	<b>0,5 kg</b>

Tabell 3-13. Rökgasutsläpp från samförbränning med avfall (enbart slammets del av utsläppen)

Mängd torkat slam	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC
ca 6 100 ton	6 100 ton	7 600 kg	490 kg

**Referensscenario: Slamgödsling av åkermark**

I detta scenario sker varken fosforutvinning eller förbränning. Inte heller behövs några extra kemikalietransporter (utöver vad som krävs för vatten- och slambehandling i avloppsreningsverken, vilka är desamma i samtliga scenarier).

Tabell 3-14. Avgasutsläpp från transporter och gödsling med avloppsslam

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM10
<b>Transporter</b>				
Slam till åker (5-15 km)	19 ton	173 kg	9 kg	4 kg
<b>Gödsling med slam</b>	15 ton	262 kg	40 kg	Uppgift saknas
<b>Summa</b>	<b>34 ton</b>	<b>435 kg</b>	<b>49 kg</b>	<b>4 kg*</b>

*Sammanställning av de olika scenariernas utsläpp till luft*

Tabell 3-15. Sammanställning av de olika scenariernas utsläpp från transporter och gödsling

Scenario	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	PM10
1. Struvitutfällning i respektive avloppsreningsverk följt av förbränning	64 ton	530 kg	18 kg	9 kg
2. Utvinning av fosfor ur aska efter slamförbränning	54 ton	466 kg	19 kg	2,5 *
3. Förbränning av avvattnat avloppsslam i en avfallsförbränningsanläggning	37 ton	308 kg	10 kg	0,5 kg *
4. Referensscenario: Slamgödsling av åkermark	34 ton	435 kg	50 kg	4 kg*

\*) Uppgift om utsläpp från spridning saknas.

En slutsats som kan dras av ovanstående sammanfattning är att de samlade utsläppen från transporter och gödsling är högre i de fall där fosfor utvinns direkt ur slammet eller askan beroende på ett större transportarbete.

Jämfört med utsläppen till luft från slamförbränningen i scenario 1-3 är utsläppen från transporter och gödsling mycket små, vilket illustreras i nedanstående tabell (kolumnen "PM10" utgår eftersom denna parameter inte kan jämföras med parametern "Stoff").

Tabell 3-16. Summerade utsläpp och förbränningens andel av utsläppen till luft i respektive scenario

Scenario	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC
	ton	kg	kg
1. Struvitutfällning i respektive avloppsreningsverk följt av förbränning			
Summa (avrundat)	5 200	7 030	440
% från förbränning	99	92	96
2. Utvinning av fosfor ur aska efter slamförbränning			
Summa (avrundat)	6 150	8 070	510
% från förbränning	99	94	96
3. Förbränning av avvattnat avloppsslam i en avfallsförbränningsanläggning			
Summa (avrundat)	6 140	7 900	500
% från förbränning	99	96	98
4. Referensscenario: Slammödosling av åkermark			
Summa (avrundat)	34	435	50
% från förbränning	0	0	0

Scenarierna i denna utredning bygger på att anläggningarna ligger i ett tätbefolkat område och att det finns tillräckligt med lämplig åkermark inom respektive kommun för att reningsverken ska kunna få avsättning för hela sin slammängd eller hela mängden utvunna fosforprodukter. Beräkningar visar att även om reningsverken skulle ligga i glest befolkade områden och transportavstånden skulle vara väsentligt längre, exempelvis fem gånger längre, skulle transporter- och gödslingens andel av utsläppen till luft vara av underordnad betydelse och ligga inom felmarginalen för beräkningarna.



### 3.3 Inverkan på mark- och vattenmiljön

Deponering, användning av avloppsslam och slambaserade jordprodukter på mark samt atmosfärisk deposition till följd av slambeförbränning, slam- och kemikalietransporter innebär att mark och vatten tillförs såväl "nyttiga" som "onyttiga" ämnen.

Makronäringsämnen som fosfor och kväve samt mikronäringsämnen såsom koppar, zink, nickel, kobolt, är essentiella (livsnödvändiga) mikronäringsämnen, som kan betraktas som nyttiga så länge de tillförs i rätt mängd i förhållande till odlade gröders näringsbehov. Tillförs de i för stora mängder kan det de istället finnas en risk att de ger negativa miljöeffekter. De ämnen som inte tas upp av växtligheten ackumuleras i marken eller läcker till grundvattnet eller ytvatten. Tillförs för små mängder av essentiella närsalter och metaller, blir skörden sämre eller uppvisar bristsymptom.

Även helt oönskade ämnen som kadmium, kvicksilver samt PCB och andra svårnedbrytbara organiska ämnen tillförs marken vid gödsling. Dessa ämnen är toxiska (giftiga), bioackumulerbara och har inte har någon känd egenskap som växter eller djur behöver. Liksom de ämnen som tas upp ovan, tillförs dessa miljöfarliga ämnen mark och vatten via såväl nederbörd som gödselmedel. Om man enbart gödslar med mineralgödsel tillförs dock inga organiska ämnen till åkermarken genom själva gödslingen. Däremot tillförs såväl essentiella som icke-essentiella metaller. Både essentiella och icke-essentiella ämnen finns även lagrade i marken. Dessa finns där naturligt eller har tillförts på grund av mänsklig aktivitet.

Tillförsel av stora mängder miljöfarliga ämnen på en liten yta kan under ogynnsamma förhållanden orsaka förgiftningsskador, reproduktionsstörningar m.m. för markens organismer. Av de utvärderingar som har gjorts av den omfattande forskningen om slamgödsling av åkermark drar vi slutsatsen att risken för negativa miljö- och hälsoeffekter på grund av tillförsel av metaller och organiska svårnedbrytbara ämnen via slam är mycket liten om man följer den europeiska och svenska lagstiftningen<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> De utredningar som ligger till grund för svenska slamregler sammanfattas i rapporten Renare slam. Åtgärder för kommunala avloppsreningsverk. Naturvårdsverket Rapport 4251. Slutrapport från Naturvårdsverkets regeringsuppdrag 1990-1995 att i samråd med Keml, SLU, LRF och dåvarande Svenska Vatten- och avloppsverksförbundet.

En stor del av de organiska ämnen som kommer in till ett kommunalt avloppsreningsverk via inkommande vatten eller via externslam binds till slam och/eller bryts ned i ledningsnätet och under avloppsvatten- och slambehandlingen. De som kan ansamlas i slammet, är sådana som är biologiskt svårnedbrytbara och bioackumulerbara<sup>21</sup>. I huvudsak är det endast fettlösliga, bioackumulerande och svårnedbrytbara organiska ämnen som adsorberas till slammet. Övriga organiska ämnen, t.ex. de flesta läkemedelsrester och hormoner, passerar reningsverket och släpps ut med utgående vatten. Små rester av vattenlösliga ämnen kan dock finnas kvar i slammets hålrumsvatten.

Efter gödsling binds majoriteten av de metaller och fettlösliga och svårnedbrytbara organiska ämnen, som finns i slammet hårt till organiskt material och ackumuleras därför i matjorden. Även gödsling med stallgödsel innebär spridning och ackumulering av metaller och fettlösliga organiska ämnen<sup>22</sup>. Spridningen vidare i miljön är dock liten och det mesta stannar kvar i matjordsskiktet i den mark som gödglas med avloppsslam<sup>23</sup>. Vissa lätttrörliga ämnen, t.ex. kadmium, kan dock tas upp av växter.

Det finns också en risk att sjukdomsframkallande mikroorganismer (patogener) sprids i miljön från slam som inte är tillräckligt hygieniserat. Det finns dock inga dokumenterade fall, som visar att människor eller djur i Sverige har smittats via slamgödsling, men smittskyddsforskare vid Smittskyddsinstitutet (SMI) och Sveriges veterinärmedicinska Anstalt (SVA) anser ändå att risken för smittspridning inte helt kan uteslutas. Svenskt Vattens policy är att endast REVAQ-certifierat

---

Smith SR & Riddell-Black D 2007. Sources and Impacts of Past, Current and Future Contamination of Soil. Centre for Environmental Control and Waste Management Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London.

Langenkamp H & Part P 2001. Organic Contaminants in Sewage Sludge for Agricultural Use. European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability Soil and Waste Unit.

Organiska miljöföroreningar i slam. Bidrag till människors exponering för vissa östrogenstörande substanser. Charlotte Nilsson (IMM). Naturvårdsverket Rapport 4673.

Nilsson, C, Rappe, C, Öberg, L, Håkansson, H (1999). Biosolids in land application – a study on the dioxin situation. Rapport från The United States Conference of Mayors – Urban Water Council, June 1999.

<sup>21</sup> Ämnen som är bioackumulerbara är fettlösliga och kan lagras upp i växt- och djurvävnader i högre koncentrationer än vad som finns i den omgivande miljön.

<sup>22</sup> Jan Eriksson. Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda. Naturvårdsverket Rapport 5148.

<sup>23</sup> Ohlsson, T, Nilsson, P och Aspegren, H (1997). Inarbetning av avloppsslam – En metod att tillverka jord. Metoder – Miljöeffekter – Kostnader. Naturvårdsverket Rapport 4823.

slam ska användas på åkermark. Sådant "REVAQ-slam" är alltid hygieniserat och reningsverken ska påvisa att slammet är fritt från Salmonella. Detta gör att risken för smittspridning är mycket liten.

### 3.3.1 Konsekvenser för markmiljö vid askdeponering

Utifrån den sammansättning som har redovisats tidigare för slam från de avloppsreningsverk som ligger till grund för denna utredning, kan en teoretisk halt av fosfor och metaller i aska från monoförbränning av ett blandslam räknas ut. Vi antar att allt organiskt material förbränns till 100 procent och att all fosfor och alla metaller finns kvar i flygaska och bottenaska. Bly, kvicksilver, arsenik, kadmium och zink, är relativt sett mer flyktiga än övriga, varför dessa förflyktigas vid avfallsförbränning och fångas upp i stoftavskiljningen. Halten av dessa ämnen blir därmed högre i flygaskan än i bottenaskan. En blandaska (vi antar att slammets hela fosfor- och metallinnehåll finns kvar i askan) skulle få ungefär följande sammansättning. Mängden aska skulle bli ca 6 000 ton om vattenhalten är omkring 10 procent.

Tabell 3-17. Sammansättning av aska (bottenaska+flygaska) vid monoförbränning av ett svenskt genomsnittsslam

P	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
%	mg/kg						
8,0	75	2,4	980	78	2,3	52	1 500

Aska ska lämnas till en avfallsanläggning som har tillstånd enligt miljöbalken att ta emot sådan aska. Vid deponering samlas en relativt stor mängd föroreningar på en begränsad markyta. Om askan används i stället för att deponeras, t.ex. för skogsgödsling eller utfyllnad i betong, blir ytbelastningen mindre. Avfallsdeponier ska enligt dagens krav konstrueras så att risken för läckage minimeras även efter det att deponin har avslutats men att helt undvika läckage är i stort sett omöjligt. I vissa fall stabiliseras (t.ex. genom cementsolidifiering) askor och rökgasreningsrester från avfallsförbränning före deponering för att minska risken för läckage. Dioxiner i stabiliserad aska har normalt låg rörlighet.

Vid förbränning av avloppsslam blir koncentrationen av fosfor och metaller ca 3,5 gånger högre i askan än i slammet. De flesta organiska ämnen destrueras vid den höga temperatur som avfallsförbränningar är skyldiga att hålla. Vissa organiska ämnen, främst dioxiner,

kan dock nybildas om förbränning är ofullständig. Enligt uppgifter från det danska miljöministeriets och Miljöstyrelsen i Danmarks gemensamma hemsida är restprodukter från avfallsförbränning den största källan till dioxiner i danska avfallsdeponier.

Spridning på mark av aska från bibränsleförbränningsanläggningar och brador samt stallgödsel är de största källorna till dioxiner i mark i Danmark; den största källan till dioxiner i danska vatten är atmosfäriskt nedfall<sup>24</sup>. 1995 uppskattade EU:s institut för miljö och hållbarhet (IES) att utsläppen av dioxiner från brittiska slamförbränningsanläggningar stod för ca 0,6 procent av de totala utsläppen i Storbritannien<sup>25</sup>.

Dioxiner bildas när rökgasernas temperatur ligger mellan 200 och 450°C<sup>26</sup>. Det är viktigt att gaserna kyls ned så snabbt som möjligt efter förbränningen. Nybildningen kan begränsas genom styrning av rökgaskylningen för att förkorta rökgasernas uppehållstid i det temperaturfönster där dioxin bildas<sup>27</sup>.

### 3.3.2 Konsekvenser för mark- och vattenmiljön vid gödsling

#### *Utgångspunkter och beräkningsunderlag*

Gödsling med avloppsslam regleras av Naturvårdsverkets föreskrifter SNFS 1994:2. Såväl slammen från respektive avloppsreningsverk som det blandslam som blir följden av att slammen blandas i en regional anläggning för fosforutvinning eller förbränning har tillräckligt låg metallhalt för att kunna spridas med en normal fosforgiva, utan att överskrida Naturvårdsverkets gränsvärden för tillförd mängd metaller. Den genomsnittliga fosforgivan i svenskt jordbruk är ca 22 kg fos-

<sup>24</sup> Survey of dioxin in Denmark (mst.dk/English/Chemicals/Substances\_and\_materials/Dioxin/).

<sup>25</sup> WASTE INCINERATION. Incineration of Sludges from Water Treatment. Emissions and Health Unit, Institute for Environment and Sustainability (IES), European Commission, Joint Research Centre. November 1995.

<sup>26</sup> WASTE INCINERATION. Incineration of Sludges from Water Treatment. Emissions and Health Unit, Institute for Environment and Sustainability (IES), European Commission, Joint Research Centre. November 1995.

<sup>27</sup> Andreasson S, Casserfeldt C, Evenhamre P, Hedman K, Håstad I, Feldtmann M, Tideström H, Åström A (2004). Preliminär och översiktlig kostnadsuppskattning av åtgärder för utsläppsreduktion av oavsiktligt bildade ämnen. Rapport från SWECO VIAK AB till Naturvårdsverket.

for/ha & år<sup>28</sup>. En normal slamgiva skulle med de aktuella slammen ligga på ca 3,8 ton TS per ha vart 5:e år.

Liksom vid konventionell gödsling med mineralgödselmedel (handelsgödsel) eller stallgödsel ger slamgödsling främst upphov till läckage av kväve, men också av små mängder fosfor, till yt- och grundvatten. Fosfor sprids till vatten enbart i partikelform. Även vissa metaller kan läcka till vatten, men läckaget av dessa är normalt ännu lägre än läckaget av fosfor. I ett sexårigt inarbetningsförsök i Oxie utanför Malmö visade det sig att enbart zink och koppar hade spritt sig till grundvattnet efter inarbetning av sammanlagt 1 300 ton TS/ha på en begränsad yta<sup>29</sup>. Detta motsvarar ca 1 700 års slamgödsling om man räknar om det till normala givor.

Det finns också en risk att lättlösliga kadmiumföreningar kan spridas vidare till vattenmiljön. De flesta metaller och fosfor stannar dock kvar i marken. Det läckage till ytvatten som ändå förekommer, sker i huvudsak i partikelform som en följd av jorderosion.

Såvitt vi vet finns det inga studier som visar på väsentliga skillnader i näringsämnesläckage vid gödsling av olika typer av organiska eller oorganiska gödselmedel. Vi räknar därför med att gödsling med avloppsslam, utvunna fosforprodukter eller med konventionellt mineralgödsel i stort sett ger samma läckage. Det faktum att marken odlas, liksom valet av odlade grödor, växtföljd, förekomst av fånggrödor, jordmån, lokalklimat, skyddsavstånd till ytvatten och grundvattentäkter etc. har antagligen större betydelse för näringsläckaget från gödslad åkermark. Möjligen skulle man kunna hävda att kväveläckaget vid slamgödsling är lägre än vid konventionell gödsling, eftersom halten kväve och framför allt halten vattenlösligt ammoniumkväve, är betydligt lägre i slam än i konventionella gödselmedel. Detta har dock ingen större betydelse eftersom slamgödslad åkermark normalt kräver att man också gödslas med konventionella kvävegödselmedel, om inte grödan ska drabbas av kvävebrist.

Med en fosforgiva på 110 kg per ha vart femte år, kan de aktuella kommunernas slam användas för att gödsla ca 1 500 ha åkermark, i genomsnitt 300 ha per kommun. Antalet hektar per kommun som kan slamgödslas i de scenarier som vi använder i denna rapport varierar

<sup>28</sup> SCB "Användning av kväve (N) och fosfor (P) från stall- och mineralgödsel 2006/07" – se [http://www2.scb.se/Pages/TableAndChart\\_\\_\\_\\_21273.aspx](http://www2.scb.se/Pages/TableAndChart____21273.aspx).

<sup>29</sup> Ohlsson, T, Nilsson, P och Aspegren, H (1997). Inarbetning av avloppsslam – En metod att tillverka jord. Metoder – Miljöeffekter – Kostnader. Naturvårdsverket Rapport 4823.

från 70 ha i den minsta kommunen till 830 ha i den största. I utredningen räknar vi med att ett genomsnittligt jordbruksföretag som tar emot slam gödslar ca 80 ha åkermark. Detta betyder då att slammet i medeltal skulle räcka till 18 jordbruksföretags fosforbehov. I våra scenarier varierar antalet jordbruksföretag som gödslar med slam mellan 1 och 10 per kommunen.

### Avloppsslam

I tabellen nedan redovisas ackumuleringstakten i matjord vid gödsling med avloppsslam och fosforprodukter utvunna ur avloppsslam.

Procenttalen är ökningstakten i metallhalt i matjorden vid en förråds-gödsling som ska vara i fem år, dvs. med en engångsgiva på 110 kg fosfor/ha.

Tabell 3-18. Ackumulationstakt (%/år) vid gödsling med ett svenskt genomsnittsslam och matjord med genomsnittlig sammansättning

	Ackumulation per år
Kadmium	0,12 %
Krom	0,03 %
Koppar	0,51 %
Kvicksilver	0,47 %
Nickel	0,04 %
Bly	0,04 %
Zink	0,20 %

Beräkningarna bygger på följande förutsättningar:

- Fosforgivan är 22 kg/ha,år.
- 3,8 ton TS (5 x 0,75 ton TS/ha, med en fosforhalt på 29 g/kg TS) avloppsslam brukas ned 25 cm i matjorden.
- Matjordsskiktet i ett hektar åkermark har volymen 2 500 m<sup>3</sup> och en vikt av 3 125 ton (matjorden är 25 cm och dess volymvikt är 1,25 ton/m<sup>3</sup>).

- Halten av metallerna i matjorden fördelar sig enligt nedan.<sup>30</sup>

	Halt mg/kg TS	Mängd g/ha
Cd	0,17	533
Cr	22	68 700
Cu	17	53 100
Hg	0,043	134
Ni	13	40 600
Pb	18	56 200
Zn	65	203 000

- Beräkningarna tar inte hänsyn till förluster i form av läckage till grund- och ytvatten och upptag i gröda, eller till tillskott via atmosfäriskt nedfall, jordbrukskalk, andra gödselmedel m.m.

### Utvunna fosforprodukter ur aska

#### ASH DEC

Enligt ASH DEC Umwelt AG är tungmetallinnehållet i en av deras, produkter, PhosKraft®fertiliser, enligt nedan. Produkten uppges innehålla 12 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Andelen P i P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> är 43,7 %. I tabellen nedan återges bolagets uppgifter för tungmetallinnehållet i produkten ("Granulat"), samt i aska ("Slamaska") från monoförbränning av slam. Vi har kompletterat tabellen med rader där vi har räknat om P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> till P och beräknat kvoten mellan respektive metall och fosfor.

Tabell 3-19. Sammansättning hos askgranulat (PhosKraft®fertiliser) framställt med ASH DEC-metoden

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
	%	mg per kg							
Granulat	12,0	1,3	44	73	<0,1	7,9	18	11	99
Slamaska	21,5	3,5	79	450	0,6	11,8	55	224	1 600
	P	Cd/P	Cr/P	Cu/P	Hg/P	Mo/P	Ni/P	Pb/P	Zn/P
	%	mg metall per kg P							
Granulat	5,2	24,8	840	1 400	1,9	151	340	210	1 900
Slamaska	9,4	37,3	840	4 800	6,4	130	590	2 400	16 900

<sup>30</sup> Naturvårdsverket Rapport 5148.

Antagen återstod i produkten, uttryckt som procent av mängden i askan (baseras på uppgifter från leverantören) kan beräknas till nedanstående värden.

Tabell 3-20. Återstod av fosfor och metaller i askgranulat enligt ASH DEC Umwelt AG.

	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
	%								
Granulat	100	10	100	10	(10)*	20	100	10	10

\*) Eftersom Hg liksom Cd är en flyktig metall antas återstoden av Hg vara densamma som den som har uppgetts för Cd.

Enligt uppgift blandar den österrikiska leverantören den utvunna fosforprodukten med annat material så att den får de egenskaper som efterfrågas av marknaden och uppfyller lagens minimikrav. I Österrike är kraven på högsta kadmiumhalt i mineralgödsel och slam mindre stränga än i Sverige.

Om man applicerar leverantörens ovan angivna uppgifter om procentuella avskiljningsgrader på en aska från en tänkt monoförbränning av ett blandslam från de avloppsreningsverk som ligger till grund för föreliggande utredning, kan man räkna fram en teoretisk möjlig föroreningshalt i granulat. Fosforhalten beräknas bli 7,9 % (79 g/kg) av TS i såväl askan som granulatet. I verkligheten går det inte att undvika att fosforhalten läger i granulatet, men vi har inte hittat tillräckligt med data för att kunna räkna ut hur mycket lägre.

Tabell 3-21. Beräknad teoretiskt möjlig sammansättning hos askgranulat framställt enligt ASH DEC Umwelt AG.

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Slamaska, mg/kg TS	2,4	78	980	2,3	52	75	1 500
Återstod efter process, %	10	100	10	10	100	10	10
Teoretisk halt i granulat, mg/kg TS	0,24	78	98	0,23	52	7,5	150



Om beräkningarna stämmer överens med verkligheten kan kadmiumhalten i produkten bli ca 3 mg Cd/kg P.

**Utvunnen fosfor som struvit**

Kadmiumhalten i det struvitgranulat som inte har vidarebehandlats kan beräknas till omkring 3 mg/kg P i. I nedanstående tabell visas struvitproduktens närings- och metallinnehåll enligt försök gjorda av Weidelenner, Maier och Krampe.

Tabell 3-22. Sammansättning hos struvit enligt Weidelenner, Maier och Krampe.

<b>P<sub>tot</sub></b>	<b>N<sub>tot</sub></b>	<b>Mg</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Hg</b>	<b>Zn</b>
<i>g/kg TS</i>			<i>mg/kg produkt</i>						
113	43	77	11	0,7	11	43	2,1	0,03	220
			<b>Pb/P</b>	<b>Cd/P</b>	<b>Cr/P</b>	<b>Cu/P</b>	<b>Ni/P</b>	<b>Hg/P</b>	<b>Zn/P</b>
			<i>mg metall per kg P</i>						
			39	3	39	150	8	0,1	790

**Konsekvensbedömning**

Den miljöeffekt som kan kvantifieras vid gödsling är ackumulerings-takten för metaller i matjorden vid upprepad gödsling (femårgiva vart femte år med slam och struvitgranulat, ettårgiva varje år med askgranulat). Ackumuleringstakt är också den faktor som vi bedömer skiljer sig mellan olika gödselmedel. Gödsling kan visserligen också orsaka läckage av främst näringsämnen (i huvudsak kväve), men också av metaller till den underliggande alven och vidare till grund- och ytvatten. Valet av gödselmedel kan också påverka metalluppta-get i odlade grödor på olika sätt, men vi bedömer att jordmån, lokal-klimat, skyddsavstånd till ytvatten och grundvattentäkter, grödans näringsbehov, förekomst av fånggrödor etc. har större betydelse än valet av gödselmedel.

Tabell 3-23. Ackumulationstakt för metaller i matjord vid upprepad gödsling

	<b>Avloppsslam</b> Viktat medel	<b>Askgranulat</b> Phos- Kraft®fertiliser	<b>Struvit</b> enl. Weid- elener et.al.
<b>Ackumulation i % per år</b>			
Kadmium	0,12	0,10	0,03
Krom	0,03	0,03	0,003
Koppar	0,51	0,06	0,02
Kvicksilver	0,47	0,03	0,004
Nickel	0,04	0,02	0,001
Bly	0,04	0,008	0,004
Zink	0,20	0,02	0,02

I Naturvårdsverkets Aktionsplan (Naturvårdsverket Rapport 5214) anges att "Långsiktigt bör halter av ej essentiella metaller i jordbruksmarken inte öka, utan balans mellan bort- och tillförsel skall råda. Som första delmål bör halterna i åkermark inte fördubblas i högre takt än per 500 år senast år 2025". Detta motsvarar en ackumulationstakt på 0,2 procent per år, vilket överskrider med avseende på koppar och kvicksilver vid gödsling med ett genomsnittligt svenskt avloppsslam enligt SCB:s rapportering för år 2006. Halten av koppar och kvicksilver i en genomsnittlig matjord fördubblas på 200 år om slam med dagens kvalitet används som enda fosforgödselmedel regelbundet under alla 200 åren. Halten av bl.a. kvicksilver, kadmium och bly har hittills minskar kontinuerligt år från år i svenskt slam. Detta gör det sannolikt att ackumuleringstakten vid slamgödsling minskar framöver, dock inte alla metaller<sup>31</sup>.

I våra beräkningar är det kadmium, kvicksilver och bly som inte är essentiella metaller. Ackumulationstakten för dessa är högst vid gödsling med avloppsslam och med det askgranulat (PhosKraft®fertiliser), som leverantören har redovisat metallinnehåll för. Ackumulationstakten för koppar, kvicksilver, bly, zink och i viss mån nickel är betydligt högre vid slamgödsling än vid gödsling med utvunna fosforprodukter. Ackumulationstakten är allra lägst om man gödslar med struvit av den kvalitet som har rapporterats av Weidener et. al.

<sup>31</sup> Svenskt Vatten Publikation U3. Avloppsteknik 3 – Slamhantering.

### 3.4 Slamförbränningens inverkan på vattenmiljön

Förbränning av slam i de studerade scenarier påverkar vattenmiljön dels via direkta utsläpp till vatten av växtnäringsämnen, syreförbrukande ämnen, dels via kväveoxidutsläpp till luft följt av deposition av kväve till vattenytan via nederbörden.

I inlandsvatten är det vanligtvis fosfor som är begränsande näringsämne för tillväxten av växtplankton och som därmed har största betydelse för övergödningen. I kust- och havsvatten påverkar även kväve övergödningen. Fosfor- och kväveutsläpp bidrar därför till övergödningen, vilket kan ge syrebrist i bottenvattnet när plankton dör och bryts ned.

#### 3.4.1 Utsläpp till vattenrecipient eller kommunalt avloppsreningsverk

I denna utredning räknar vi med att avvattnat slam torkas före förbränning. Under torkningsprocessen bildas ett kondensat, som är rikt på organiska ämnen och näringsämnen och kan därför behöva renas innan det släpps till en recipient eller till ett kommunalt avloppsreningsverk.

Vid SYVAB:s avloppsreningsverk i Botkyrka, Himmerfjärdsverket, Ryaverket i Göteborg<sup>32</sup> och Stockholm Vattens reningsverk i Bromma<sup>33</sup>, Stockholm har halten av olika föroreningar mätts upp i kondensat från monoförbränning av slam. Halten kväve låg omkring 1 000 mg/l, fosforhalten var 6 – 10 mg/l. Halten organiskt material mätt som COD<sub>Cr</sub> och BOD<sub>7</sub> varierade mellan 650 och 1 700 mg/l respektive 200 – 1 000 mg/l. Enligt en leverantör av tvåstegstorkar har kondensat från den torktekniken betydligt lägre kvävehalt än kondensat från andra typer av torkar; ca 60 mg/l<sup>34</sup>.

I tabellen nedan redovisas beräknade utsläpp efter rening i ett kommunala avloppsreningsverk med kväverening (reningseffekter år 2006 enligt SCB).

<sup>32</sup> Starberg, K, Haglund, J-E (1998). Utredning angående slamtorkning vid Stockholm Vatten. Stockholm Vatten R nr 12 mars 1998.

<sup>33</sup> Agnes Mossakowska, Stockholm Vatten AB. Muntlig uppgift 2003 (VA-Forsk Rapport 2004-05).

<sup>34</sup> VA-Forsk Rapport 2004-05.

Tabell 3-24 Beräknade utsläpp av kväve, fosfor och BOD<sub>7</sub> i kondensat från torkning av slam från de fem avloppsreningsverken i denna utredning (ca 17 000 ton kondensat/år).

Ämne	Antagen halt/mängd i orenat kondensat		Renings-effekt	Uppskattad mängd efter rening (avrundat)
	mg/l	kg/år		
Kväve (NH <sub>4</sub> -N)	50 - 1000	850 - 17000 <sup>35</sup>	75	200 - 4000
Fosfor (tot-P)	6 - 10	100 - 170	95	5 - 9
BOD <sub>7</sub>	200 - 1000	3400 - 17000	96	100 - 700

De uträknade utsläppen är mycket små jämfört med utsläppen från de aktuella reningsverken. Mängden kväve i kondensatet motsvarar mängden kväve i kommunalt avloppsvatten från 150 – 3 000 personer, vilket högst är ett par procent de personer som är anslutna till reningsverken. Mängden fosfor är ännu mindre.

Tidigare kunde deponering av slam på avfallsdeponier vara en källa till utsläpp av övergödande och syreförbrukande ämnen via lakvattnet. Deponering av avloppsslam har numera i stort sett upphört i och med att deponiförbudet för organiskt avfall infördes 2005. En liten del av slammets deponeras dock fortfarande, eftersom en del avfallsanläggningar har beviljats tillfälliga dispenser för deponering avloppsslam. År 2006 deponerades endast omkring 6 000 ton avloppsslam, dvs. endast 3 procent av den totala slamproduktionen på 207 000 ton.

<sup>35</sup> Innehållet av ammoniumkväve i slammets från utredningens fem reningsverk är årligen ca 50 ton (ca 1 % av slammens TS) och det är denna kvävefraktion som kondenseras och hamnar i kondensatet

### 3.4.2 Utsläpp till luft samt deposition på vattenytor

De tre scenarier som inkluderar slamförbränning släpper ut 7 – 8 ton  $\text{NO}_x$ /år, vilket är i storleksordningen 15-20 gånger mer än de ca 0,4 ton  $\text{NO}_x$ , som släpps ut i referensscenariot med slamgödsling. Om man antar att hälften av den kväveoxid<sup>36</sup>, som släpps ut omvandlas till  $\text{NO}_2$  och hälften till  $\text{NO}_3$ , släpps ca 2 ton kväve ut per år. En del deponeras på vattenytor. Jämfört med det kväve som släpps ut till vatten från de fem reningsverken (uppskattningsvis ca 300 ton totalkväve/år) är den mängd som deponeras i vatten mycket liten.

## 3.5 Energi

Utvinning av fosfor kräver energi i olika grad beroende på teknik. Av de fosforutvinningstekniker som vi har utvärderat är det enbart leverantören av Ash-Dectekniken som har uppgett energiförbrukningen: 0,6 – 0,7 MWh/ton produkt. Om 3 100 ton askgranuler produceras varje år, ökar energiåtgången jämfört med vanlig slambehandling med sammanlagt ca 2 000 MWh per år för de fem avloppsreningsverk som ingår i denna utredning. Detta motsvarar ca 87 kWh/ton avvattat slam. Den extra energiåtgången varierar från 11 MWh/år för det minsta avloppsreningsverket till 960 MWh/år för det största.

I struvitutfällningsalternativet minskar potentialen för biogasutvinningen med ca 25 procent på grund av den biologiska fosforeduktionen<sup>37</sup>. Själva fosforutvinningen kräver sannolikt ingen nettoenergi. Visserligen ökar struvitutfällningen och granuleringen energiåtgången, men den biologisk fosforreduktion gör att denna energiåtgång kompenseras tack vare den har lägre energiåtgång jämfört med konventionell kemisk fosforfällning.

På grund av avloppsslammens vattenhalt (ca 75 % i avvattat slam) innebär slamförbränning ingen energiåtervinning utöver den interna värmeåtervinning som man kan tillgodogöra sig i förbränningsanläggningen. Den energi som åtgår för torkning motsvarar i stort sett den som utvinns vid förbränningen.

## 3.6 Kostnader

Leverantörerna av de fosforutvinningstekniker som utvärderas i denna utredning har inte redovisat några uppgifter om kostnader. För

<sup>36</sup> Vid förbränning bildas främst  $\text{NO}$ . I atmosfären omvandlas det till  $\text{NO}_2$  och en del av detta vidare till andra kväveföreningar som  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_3$  och  $\text{HNO}_2$  (salpetersyrighet).

<sup>37</sup> Naturvårdsverket rapport 5221

de tre scenarier som inkluderar slamförbränning är kostnaderna (investering och drift av anläggning + askdeponering) för torkning och förbränning av slam i storleksordningen 500 kronor per ton slam. Detta kan jämföras ca 300 kronor per ton, vilket är den ungefärliga kostnaden för att anlita en entreprenör som hämtar slammet vid reningsverket och gödslar med det på åkermark<sup>38</sup>.

---

<sup>38</sup> Kostnadsuppgifterna för slambehandling, transporter, gödning m.m. baseras på VA-Forskrappport 2004-05 och Naturvårdsverket rapport 5221.

## 4 Samlad bedömning

I vårt uppdrag ingick att konsekvensanalysera de behandlingstekniker som identifieras utifrån ett hälso- och miljöperspektiv samt ur ett klimat-, transport- och energiaspektperspektiv. Dessutom har vi bedömt hushållningen med den ändliga naturresursen fosformineral. Förbättrad resurshushållning är ett av de allra främsta motiven för återföring av växtnäringen i avloppsslam.

I matrisen nedan har vi gjort en kortfattad översikt och jämförelse av de olika aspekter som har belysts i denna utredning. De två fosforutvinningsscenarierna och avfallsförbränningsscenario jämförs mot referensscenariot med slamgödning. Siffervärdena under rubriken "Resurshushållning" kan betraktas som allmängiltiga för Sverige som helhet. Övriga siffervärden är inte allmängiltiga, utan relateras till de specifika scenarier som har presenterats i denna utredning.

Tabell 4-1. Jämförelse mellan utredda fosforutvinningsscenarier och ett avfallsförbränningsscenario utan fosforutvinning. Jämförelsen görs gentemot referensscenariot (slamgödning).

	<b>Scenarier</b> (alla inkluderar slamförbränning)		
	<b>1) Gödning med fosfor ur aska</b>	<b>2) Gödning med fosfor i form av struvit</b>	<b>3) Slamförbränning i avfalls-panna</b>
<b>Resurshushållning</b>			
Potentiell återföringsgrad (utan hänsyn till kvalitetskrav)	Jämförbart med referensscenariot  95 % av P i kommunalt avloppsvatten  30 – 60% av Sveriges mineralgödselförbrukning	Lägre än referensscenariot  18 - 25 % av fosfor i kommunalt avloppsvatten  10 % av Sveriges mineralgödselförbrukning	Ingen återföring
Energiförbrukning <sup>39</sup>	Ökar med 0,6 -0,7 MWh/ton produkt	Oförändrad	Ingen större skillnad mot referensscenariot. <sup>40</sup>

<sup>39</sup> Exklusive förbrukning av drivmedel.

<sup>40</sup> På grund av slammets vattenhalt (ca 75 %) erhålls ingen energiåtervinning utöver viss intern värmeåtervinning i förbränningsanläggningen (ref: Naturvårdsverket rapport 5221).

	<b>Scenarier</b> (alla inkluderar slamförbränning)		
	<b>1) Gödsling med fosfor ur aska</b>	<b>2) Gödsling med fosfor i form av struvit</b>	<b>3) Slamförbränning i avfalls-panna</b>
Påverkan på biogasproduktion	Oförändrad	Produktionen minskar med ca 25 % <sup>41</sup>	Oförändrad
Förbrukning av kemiska produkter	Ökad pga. P-utvinning & förbränning  Oförändrad i reningsverket  Ökad drivmedelsförbrukning	Ökad pga. förbränning  Oförändrad i reningsverket <sup>42</sup>  Ökad drivmedelsförbrukning	Ökad pga. förbränning  Oförändrad i reningsverket  Ökad drivmedelsförbrukning
<b>Miljöpåverkan</b>			
Utsläpp till luft av NO <sub>x</sub> , HC, PM10 och stoft	Ökar (NO <sub>x</sub> :20 ggr, HC: 10 ggr)	Ökar (NO <sub>x</sub> :15 ggr, HC: 10 ggr)	Ökar (NO <sub>x</sub> :20 ggr, HC: 10 ggr)
Metalltillförsel till åkermark vid gödsling	Minskar av bl.a. Cd, Hg, Cu, Pb, Zn och Mo  Oförändrat av bl.a. Cr	Minskar av alla undersökta metaller	Minskar
Övergödning	Liten (2-3%) ökning av utsläpp av NO <sub>x</sub> till luft och kväverikt kondensat till vatten	Liten (2-3%) ökning av utsläpp av NO <sub>x</sub> till luft och kväverikt kondensat till vatten	Liten (2-3%) ökning av utsläpp av NO <sub>x</sub> till luft och kväverikt kondensat till vatten

<sup>41</sup> Mängden lågmolekylära organiska föreningar för biogasproduktion minskar. Ref: Naturvårdsverket Rapport 5221.

<sup>42</sup> MgCl<sub>2</sub> tillkommer för struvitutfällningen, men tack vare Bio-P kompenseras detta av minskad kemikalieåtgång för utfällning av fosfor (ref: Naturvårdsverket rapport 5221).



	<b>Scenarier</b> (alla inkluderar slamförbränning)		
	<b>1) Gödsling med fosfor ur aska</b>	<b>2) Gödsling med fosfor i form av struvit</b>	<b>3) Slamförbränning i avfalls-panna</b>
Tillförsel av organiska svårnedbrytbara ämnen vid gödsling	Minskar	Minskar	Minskar
<b>Avfallsmängder till deponering</b>	Oförändrat	Ökar (askdeponering) <sup>43</sup>	Ökar (askdeponering)
<b>Transporter</b>	2 ggr ökat transportarbete pga. regional P-utvinning och slamförbränning	60 % ökat transportarbete pga. regional slamförbränning	20 % ökat transportarbete pga. regional slamförbränning
<b>Klimatpåverkan</b>			
Utsläpp av fossilt CO <sub>2</sub> vid transport och gödsling <sup>44</sup>	90 % högre än referensscenariot	60 % högre än referensscenariot	10 % högre än referensscenariot
Utsläpp <sup>45</sup> av N <sub>2</sub> O	Ökar pga. ökad slamförbränning	Ökar pga. ökad slamförbränning	Ökar pga. ökad slamförbränning
<b>Kostnader</b>	Ökar pga. P-utvinning och slamförbränning	Ökar pga. slamförbränning M.e.m. oförändrade driftkostnader för struvitutfällning <sup>46</sup>  Investering i Bio-P för konventionella verk	Ökar pga. slamförbränning

<sup>43</sup> Askvärdet efter förbränning av slam från Bio-P-verk blir ca 15 % än efter förbränning av konventionellt slam.

<sup>44</sup> Utsläpp av CO<sub>2</sub> från slamförbränning antas inte påverka klimatet eftersom kolet i avloppsslam till allra största delen är biogent.

<sup>45</sup> Utsläppen av N<sub>2</sub>O har inte beräknats, men förekommer vid förbränning.

<sup>46</sup> Se fotnot 42.

Den största fördelen med de utvunna fosforprodukterna enligt de utredda scenarierna är att de har avsevärt lägre halt än avloppsslam av flera metaller och inte innehåller – eller innehåller bara mycket små mängder av – organiska svårnedbrytbara ämnen. Dokumentationen av kvaliteten på fosforprodukterna är dock inte tillräcklig för att avgöra hur mycket lägre föroreningsinnehåll de har.

Nackdelarna med de fosforutvinningsscenarier som ingår i denna utredning är att de kräver slamförbränning och investering i nya och separata pannor och att de ger ökade utsläpp luft. För att kunna utvinna fosforprodukter ur slam med tillräckligt hög kvalitet, krävs investering av pannor för monoförbränning av slam. Samförbränning med avfall eller biobränslen späder ut fosfor och ger en högre metallhalt i askan än om slammet förbränns separat. Ett tiotal svenska avfallsförbränningsanläggningar har tillstånd att förbränna avloppsslam, men för närvarande är det ingen av dem som utnyttjar de tillstånden.

I de utredda scenarierna ökar transportarbetet med ökade utsläpp av fossil koldioxid som följd, om man använder sig av dieseldrivna transportfordon.

I struvitutvinningsscenarioet kan man undvika slamförbränning om man kan leverera slammet till exempelvis en jordtillverkare, som utnyttjar det som beståndsdel i anläggningsjord eller sluttäckningsmaterial för deponier, gruvområden och liknande. I denna utredning har vi dock enbart räknat med att slammet förbränns i en avfallsförbränningsanläggning. Det har inte legat i vårt uppdrag att utreda alternativ till förbränning.

Vad som talar emot att tekniken med fosforutvinning som struvit kommer att införas i stor skala är att denna teknik bara kan utnyttjas vid avloppsreningsverk som har biologisk fosforavskiljning (Bio-P). Idag finns ca 20 avloppsreningsverk med Bio-P.

Möjligheten återföra fosfor genom att gödsla med avloppsslam begränsas idag av att allt slam inte är av tillräcklig bra kvalitet. De valda metoderna för fosforutvinning ger en lägre tungmetallhalt än i avloppsslam, varför återanvändningspotentialen är högre för dessa fosforprodukter.