UNITED BY OUR DIFFERENCE

WSP

RAPPORT

Alternativt slamutnyttjande och markanvändning
Delutredning inom EVAA, Etapp 2

Version 3

2012-11-13

Upprättad av: Anna Liljeblad, Oskar Karlsson, Fredrik Christensson
Granskad av: Fredrik Christensson

RAPPORT

Alternativt slamutnyttjande och markanvändning
Delutredning inom EVAA, Etapp 2

Kund

Öresundkraft
Box 642
251 06 Helsingborg

Konsult

WSP Process
Box 714
251 07 Helsingborg
Besök: Järnvägsgatan 13
Tel: +46 42 444 40 00
Fax: +46 42 444 40 01
WSP Sverige AB
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
www.wspgroup.se

Kontaktpersoner

Uppdragsledare

Ingrid Nohlgren, 031-727 26 06/070-269 53 90, ingrid.nohlgren@wspgroup.se

Ansvarig delutredning

Fredrik Christensson, 042 444 40 25, fredrik.christensson@wspgroup.se

Handläggare

Anna Liljeblad	Systemanalys och kostnadsberäkningar
Oskar Karlsson	Solängar och kostnadsberäkningar
Mattias Nordeborn	Fosforutvinning, VA-teknik
Solvei Herstad Svärd	Specialist slamförbränning

Innehåll

1 Inledning och bakgrund ... 4
1.1 Syfte ... 4
1.2 Avgränsningar ... 4
1.3 Slamhanteringen i Sverige ... 4

2 Utredningsalternativen ... 6
2.1 Basalternativ ... 6
2.2 Alternativa slamutnyttjanden ... 6

3 Analys av de olika alternativen ... 8
3.1 Basalternativet ... 8
3.1.1 Kostnaden för förbränning av energiskog ... 8
3.1.2 Intäkter från el- och värmeförsäljning ... 9
3.1.3 Jämförelse med Skånes jordbruksmark ... 9
3.2 Alternativ 1 – Biogasproduktion från grödor ... 10
3.2.1 Odling av vall för biogasproduktion ... 10
3.2.2 Alternativa grödor ... 10
3.2.3 Möjlig energitillförsel vid odling av grödor för biogasproduktion ... 10
3.2.4 Kostnader för produktion av biogas ... 11
3.2.5 Avsättning för gasen och möjligt försäljningspris ... 12
3.2.6 Diskussion – grödor till biogas ... 12
3.2.7 Övriga aspekter ... 13
3.3 Alternativ 2 – P-utvinning och slamförbränning ... 13
3.3.1 Utvinning av fosfor från rejektvattnet ... 13
3.3.2 Utvinning av fosfor – Gångbarhet och nytta ... 13
3.3.3 Utvinning av fosfor - Kostnad ... 14
3.3.4 Diskussion och miljönyttan ... 15
3.3.5 Alternativ för användningen av struviten ... 15
3.3.6 Slamförbränning ... 16
3.3.7 Slamförbränning i Filbornaverket ... 16
3.3.8 Kostnaden för slamförbränning ... 17
3.3.9 Möjlig energitillförsel från alternativ 2 ... 18

4 Sammanställning av alternativen ... 19

5 Energi från solängar ... 20
5.1 Solceller jämfört med solfångare ... 20
5.2 Inkommande solstrålning och elproduktion från solceller ... 20
5.3 Tillgänglig yta och total elproduktion ... 20
5.3 Kostnader för solängar ... 21

6 Diskussion ... 23

7 Slutsatser och rekommendationer ... 25

8 Litteraturförteckning ... 26

1 Inledning och bakgrund

Denna utredning utgör en delutredning inom Etapp 2 i EVAA-projektet, som avser att analysera och föreslå tekniska lösningar för Energi-, VA- och Avfallsförsörjnigen inom H+ området i Helsingborg. Inom EVAA-projektets arbetsgrupp har det framkommit ett behov att fördjupa hanteringen och teknikerna i vissa delar av den utredning som utförs av CIT Urban Water Management.

Denna delutredning avser att belysa två alternativa sätt att utnyttja slam på från reningsverket i jämförelse med ett s.k. basalternativ. Basalternativet är definierat som det system som finns i Helsingborg idag för VA- och matavfallshanteringen och benämns som System 1 i Urban Waters utredning.

1.1 Syfte

Utredningen avser att jämföra de definierade alternativen, utifrån ett energiperspektiv och ett ekonomiskt perspektiv, med basalternativet.

1.2 Avgränsningar

Utredningen avser att hantera det slam som uppkommer i basalternativet vid Helsingborgs avloppsreningeverk och för den belastning som det framtida H+ området står för.

Analys av spridning av avloppsslam på åkermark för livsmedelsproduktion ingår inte i utredningen.

Ingångsvärden för utredningen har hämtats från System 1 i Urban Waters utredningens. Slammängden uppskattas till 864 ton per år från H+ området och fosformängden till 7 650 kg per år.

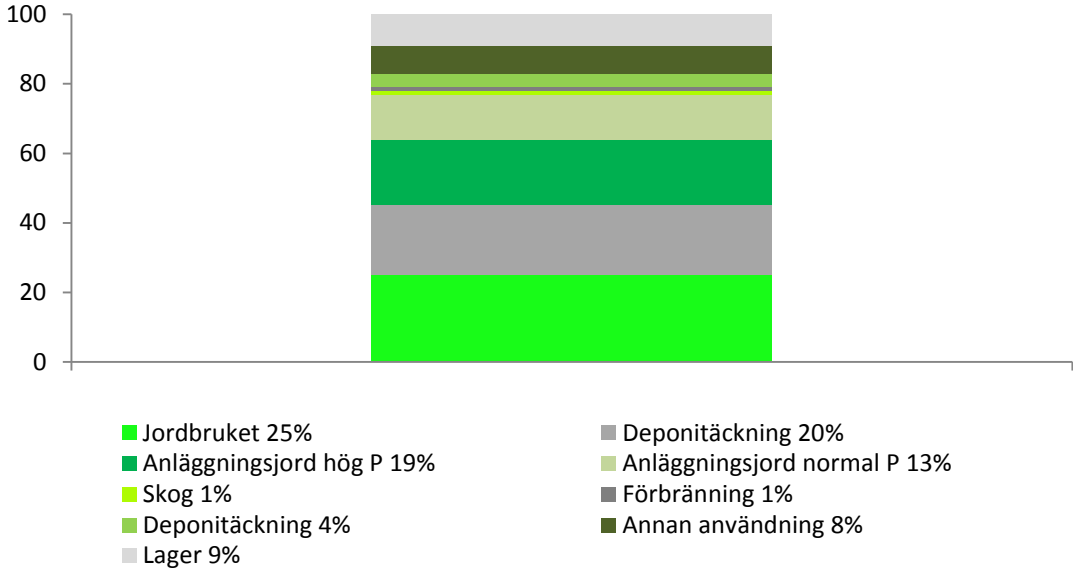
Analysen utgår från dagens förhållanden och prisnivåer i Helsingborg 2013. Tidshorisonten 2035 som anges i Helsingborgs Energiplan och utbyggnadsmålet för H+ tas endast med som en diskussionspunkt.

1.3 Slamhanteringen i Sverige

Vid Sveriges kommunala avloppsreningsverk produceras årligen cirka 1 miljon ton fuktigt avloppsslam. Omräknat till torrsubstans (TS) är det cirka 214 000 ton TS, vilket motsvarar cirka 22 kg TS per person och år (1) (2). Slam från avloppsreningsverk består till cirka hälften av organiskt material och det innehåller även näringsämnen som fosfor och kväve, mullbildande material och en lång rad viktiga mikronäringsämnen. Strävan är därför att kunna använda rötat avloppsslam som gödning på åker- och skogsmark.

Riksdagens har som mål att näringsämnen från avloppen skall återföras till produktiv mark och som ett första delmål skall 60 procent av fosforn återföras senast år 2015. Slammet kan dock även innehålla oönskade komponenter som tungmetaller och läkemedelsrester som inte får spridas ut i för stora mängder. Ett alternativ till att sprida

slammet på åkermark är att utvinna fosforn ur rejektvattnet och sedan förbränna slammet, antingen i en separat panna eller i samförbränning tillsammans med annat avfall. Detta sker idag endast i liten utsträckning i Sverige, år 2008 förbrändes endast cirka 0,2 procent av det svenska avloppsslammet medan samma siffra i Danmark låg på cirka 30 procent (1).

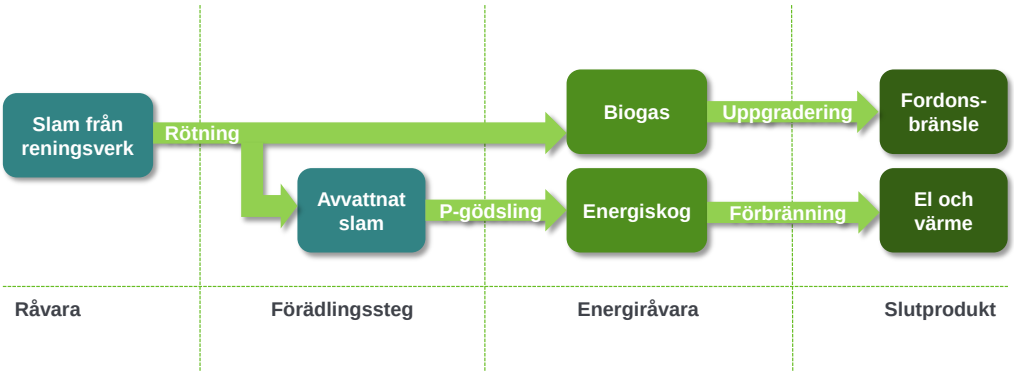


Figur 1. Användningen av slam från reningsverk i Sverige. Totala produktionen uppgick till 203 500 ton TS under år 2010. Procentsatsen är beräknad i förhållande till nettoproduktionen. SCB, MI 22SM 1201

2 Utredningsalternativen

2.1 Basalternativ

Basalternativet, som studeras i Urban Waters mulitkriterieanalys, innebär att slammet från reningsverket sprids på åkermark där det odlas energrödor i form av Salix. När energiskogen skördas erhålls biomassa som sedan förbränns i ett kraftvärmeverk (se Figur 2).



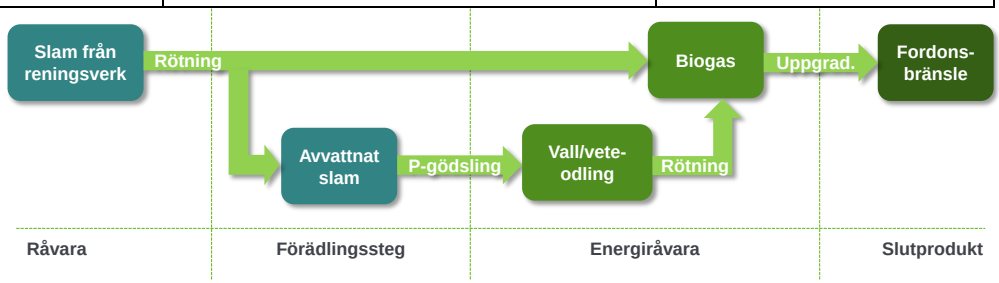
Figur 2. Basalternativet för slamhantering i EVAA. Slammet sprids på åkermark där det odlas energigrödor i form av Salix. När energiskogen skördas erhålls biomassa som sedan förbränns i ett kraftvärmeverk vilket ger el och värme.

2.2 Alternativa slamutnyttjanden

De alternativa slamutnyttjanden som studeras och jämförs med basalternativet är:

- Alternativ 1 - Att sprida slammet på åkermark där grödor odlas för produktion av biogas
- Alternativ 2 - Att förbränna slammet för el och värmeproduktion samt att utvinna fosfor ur rejektvattenströmmen vid avvattning av rötslammet. Den utvunna fosforn sprids sedan på energiskogsodling för el och värmeproduktion alternativt på åkermark för produktion av grödor till biogas.

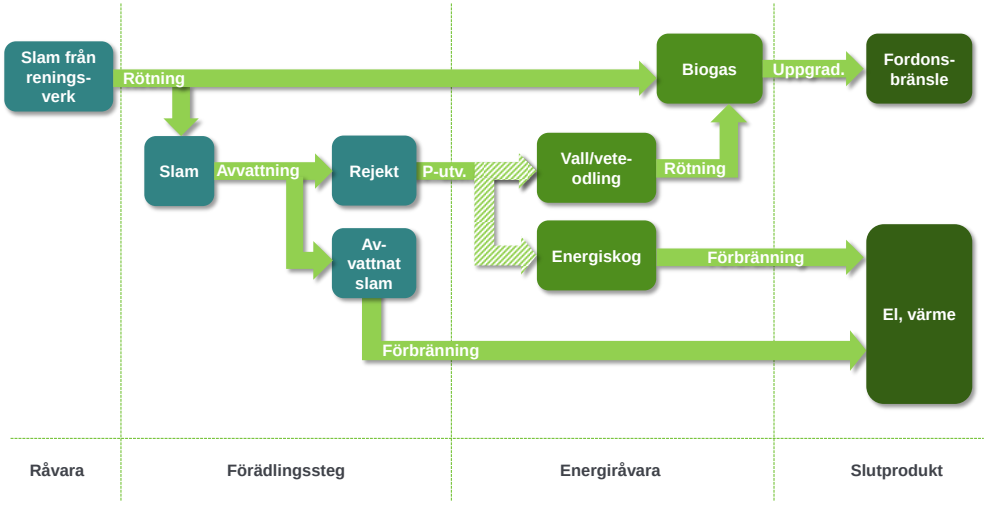
De båda alternativen visas schematiskt i Figur 3 och Figur 4. Det första alternativet avser att visa på en alternativ användning av slammet, som kan bli aktuellt för att kunna producera mer biogas för att möta den ökade efterfrågan på fordonsbränsle. Det finns nationella mål att minska de organiska avfallsmängderna, från vilket en stor del av biogasen idag produceras, varför det kan komma att finnas ett behov av att odla grödor för biogasproduktion.



Figur 3. Alternativ 1 - att sprida slammet på åkermark där grödor odlas med syfte att användas som substrat till biogasproduktion. I det här fallet studeras odling av vall alternativt vete för biogasproduktion.

Så som det beskrevs i inledningen, kan det finnas oönskade föroreningar eller substanser i avloppslammet, där koncentrationen beror på den vattenrening som sker för att förhindra att detta når haven. Om det är farligt eller förenat med förhöjda risker att sprida slammet på åkermark för odling av foder eller livsmedel, råder det lite delade meningar om. Idag finns det ett certifieringssystem som har som målsättning att hela tiden förbättra slamkvalitén, så att dessa risker minimeras.

Ett alternativ till återföring av slammet till odlingsmark är istället att förbränna slammet, vilket är betydligt vanligare ute i Europa än i Sverige. Förbränning ligger dock inte helt i linje med de svenska nationella miljömålen om att näring ska återföras till åkermark. Det är framförallt fosforn som åsyftas, då denna är en ändlig resurs. Ett komplement till förbränningen är att återvinna en del av fosforn ur slammet innan det förbränns. Det finns tekniker för detta, dock inte i kommersiellt bruk i Sverige. Ett alternativ som har diskuterats är näringsutvinning ur förbränningsaskan, men för detta finns det i dagsläget ingen kommersiell teknik.



Figur 4. Alternativ 2 - att utvinna fosfor ur rejektvattenströmmen vid avvattningen av rötslammet och att förbränna slammet. Fosforn som utvinns sprids på åkermark för odling av vall/vete till biogas alternativt på energiskogsodling för el och värmeproduktion.

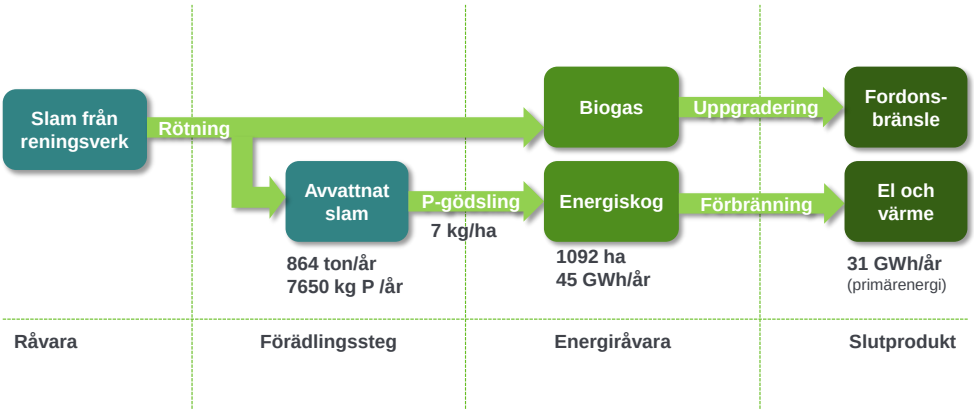
Alla tre alternativen jämförs vidare med att installera solceller (s.k. solängar) på åkermark.

3 Analys av de olika alternativen

3.1 Basalternativet

Det antas i System 1 i Urban Waters multikriterieanalys att slammängden från reningsverket uppgår till 864 ton per år från H+ området. Fosforhalten i slammet uppskattas uppgå till 7650 kg. Om det avvattnade slammet sprids på energiskogsodlingar (Salix) räcker slammet att spridas till 1 092 hektar då fosforgivan uppskattas till 7 kg per hektar. Enligt Börjesson kan avkastningen från Salixodlingar uppgå till 43 MWh per hektar och år. Enligt samma källa uppgår nettoutbytet[1] till 41 MWh vilket ger 45 GWh per år. Används biomassan för el och värmeproduktion kan 31 GWh (primärenergi) produceras per år. (3)

Salix skördas idag vart 3-5 år och vanligen eldas inte Salix som ensamt bränsle utan det samförbränns oftast med andra skogsbränslen. Inblandningen av Salix uppgår till cirka 10-20 procent.



Figur 5. Basalternativet för slamhantering i EVAA. Slammet sprids på åkermark där det odlas energigrödor i form av Salix. När energiskogen skördas erhålls biomassa som sedan förbränns i ett kraftvärmeverk. Om 7 kg fosfor sprids på energiskogsodlingarna antas slammet räcka till 1092 hektar. Detta ger biomassa motsvarande 45 GWh per år. Vid el och värmeproduktion kan 31 GWh (primärenergi) per år erhållas.

3.1.1 Kostnaden för förbränning av energiskog

Den årliga kostnaden för förbränningen av energiskog fås som summan av annuiteten från kapitalkostnaden (från investeringen i kraftvärmeanläggningen) och rörliga kostnader från bränslehantering samt drift och underhållskostnader. Energiskog antas samförbrännas med annat biobränsle i en 80 MW panna med en investeringskostnad på cirka 1000 MSEK och årliga D&U-kostnader på 4 procent av investeringen[2]. Alfa-värdet (kvoten mellan elproduktion och värmeproduktion) för pannan antas vara 0,44 vilket är samma som för biobränslepannan med Salix-inblandning i Enkö-

[1] Nettoutbyte =energiutbyte – insatt energi
[2] Siffror baserade på tidigare WSP-utredningar av kraftvärmeproduktionskostnader

ping[3]. Kostnaden för energiskogsförbränningen allokeras från totalkostnaden proportionellt med energiskogens energibidrag till den totala förbränningen. Kostnaden för hantering av bränslet antas vara något högre än kostnaden för flis och sätts till 230 SEK/MWh. Detta ger produktionskostnaden 0,44 SEK/kWh för kraftvärmeproduktionen och primärenergikostnaden enligt tabell nedan.

Tabell 1. Uppskattad produktionskostnad vid samförbränning av energiskog

Uppskattad produktionskostnad	
Produktionskostnad per kWh primärenergi	0,56 SEK/kWh
Årskostnad vid produktion av 33 GWh primärenergi	17,8 MSEK

3.1.2 Intäkter från el- och värmeförsäljning

Enligt energiprisuppskattningar från Öresundskraft är elpriset 366 SEK/MWh år 2013. Fram till år 2035 kommer förnybar elproduktion även ge gröna elcertifikat vilket ger ytterligare intäkt på omkring 200 SEK/MWh. Fjärrvärmepriset uppskattas till 334-489 SEK/MWh (prisdifferens för sommar- och vinterpriser). Dessa priser ger beräknade intäkter från energiskogsförbränning enligt tabell nedan.

Tabell 2. Uppskattad möjlig intäkt från el- och fjärrvärmeförsäljning

Möjlig intäkt från el- och fjärrvärmeförsäljning	
Intäkt år 2013	19 MSEK

3.1.3 Jämförelse med Skånes jordbruksmark

I Skåne finns omkring 446 000 hektar åkermark och 57 000 hektar betesmark vilket ger drygt 500 000 hektar jordbruksmark. Mat- och foderproduktion står för totalt 429 000 hektar vilket är cirka 96 procent av den totala åkermarken På 2 307 hektar odlas energiskog, vilket är cirka 0,5 procent av den totala åkermarken. (4)

I basalternativet ovan antas att slammet sprids på energiskogsodlingar. I nuläget finns drygt 12 000 hektar energiskogsodlingar i Sverige. Att få till stånd att sprida slammet på cirka 1 200 hektar kan eventuellt vara ett väl ambitiöst mål då avståendet till odlingarna troligen är en begränsande faktor. Att anlägga nya energiskogsodlingar kräver förutom ett ekonomiskt övervägande även övervägande om att utnyttja marken för odling av energi istället för att producera livsmedel och foder. Då det enligt ovan redan finns 2 307 hektar energiskog i Skåne, innebär det dock att slammet från H+ kommer att räcka till cirka 50 procent av odlingarna, förutsatt att de ligger relativt nära Helsingborgsområdet.

[3] http://www.enae.se/se/fjarrvarme/produktion/vara-anlaggningar

3.2 Alternativ 1 – Biogasproduktion från grödor

Det första alternativet som analyseras och diskuteras är att slammet sprids som gödsel på åkermark för odling av grödor till biogasproduktion istället för energiskogsproduktion. I utredningen har antagits att vall odlas för biogasproduktion, dels med anledning av att det har ett relativt bra gasutbyte men främst för att många lantbrukare anser att vallen är positivt att ha i växtföljden och därmed inte konkurrerar med annan odling.

3.2.1 Odling av vall för biogasproduktion

När vallgrödor odlas för biogasproduktion uppskattas produktionen (nettodrivmedelsutbyte[4]) till 36 GJ/ha[5] och år (5). Enligt Urban Waters analys innehåller slammet i basalternativet 7 650 kg fosfor. Det är enligt Jordbruksverkets hemsida (120907) tillåtet att maximalt sprida 22 kg P per hektar och år. Genom att utgå från den maximala fosforgivan[6] räcker slammet till att spridas på minst 348 hektar åkermark. Således går det att producera $\frac{36*348}{3600} = 3{,}5$ GWh biogas per år. Biogasen kan sedan användas som fordonsbränsle efter uppgradering till fordonsgas.

3.2.2 Alternativa grödor

Alternativt skulle vete eller majs kunna odlas för biogasproduktion. När vete odlas för biogasproduktion och även restprodukten halm bärgas som substrat uppskattas produktionen (nettodrivmedelsutbyte) till 55 GJ/ha och år (6). Enligt ovan kan slammet spridas till 348 hektar åkermark, vilket medför att det går att producera $\frac{55*348}{3600} = 5{,}3$ GWh biogas per år.

Om halmen istället plöjs ned i marken skulle nettodrivmedelsutbytet minska, d.v.s. effektiviteten i åkermarksutnyttjande ökar då även halmen bärgas som substrat för biogas. Halm är dock ett svårrötbart material, även om det är relativt energirikt. Det kräver en betydande förarbetning och blir därmed dyrt att röta. Ett alternativ till att utnyttja halmen för biogasproduktion är att bärga den och förbränna den för värmeproduktion. Detta har ej studerats i denna utredning.

3.2.3 Möjlig energitillförsel vid odling av grödor för biogasproduktion

Som kan ses i Tabell 3 erhålls högre nettodrivmedelsutbyte när vete odlas för biogasproduktion än vallgrödor. När vallgrödor odlas tillkommer dock andra fördelar och konkurrensen mellan livsmedel och spannmålsproduktion uteblir, se under Diskussion – grödor till biogas. Figur 6 illustrerar flödet av slam, odling av grödor samt biogasproduktionen.

---

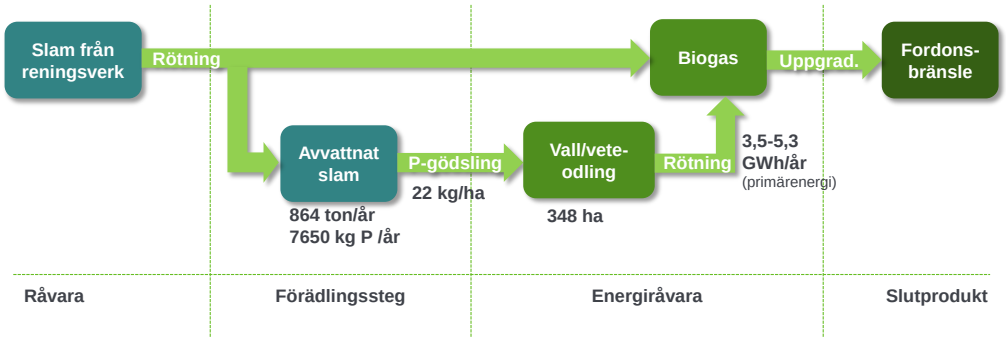
[4] Nettodrivmedelsutbytet = utbytet då tillförd energi dragits av

[5] Baserat på användning av primärenergi. Uträkningarna baseras på andra primärenergifaktorer än vad som används i H+ projektet.

[6] Antagande om att den maximala fosforgivan används för att få fram det minsta möjliga utbytet. Det är dock troligt att fosforgivan är betydligt lägre per hektar och att utbytet därmed blir betydligt större.

Tabell 3. Möjlig primärenergitillförsel vid odling av grödor för biogasproduktion

Möjlig energitillförsel vid odling av grödor för biogasproduktion	GWh/år
Vall odlas för biogasproduktion	3,5
Vete och halm bärgas för biogasproduktion	5,3



Figur 6. Alternativ 1 - att sprida slammet på åkermark där grödor odlas med syfte att användas som substrat till biogasproduktion. I det här fallet studeras odling av vall alternativt vete för biogasproduktion. Det antas att 22 kg fosfor kan spridas per hektar. Detta medför att odlingsarealen uppgår till 348 hektar och 3,5-5,3 GWh biogas kan produceras per år.

3.2.4 Kostnader för produktion av biogas

Kostnaden för produktion av biogas och uppgradering till fordonsgaskvalitet varierar stort beroende på bland annat storlek på anläggningen, tillgång till distributionskanaler samt vilket substrat som används. Energimyndigheten har genomfört en utredning som anger att den totala kostnaden för produktion av uppgraderad fordonsgas (biogasproduktion, uppgradering, distribution och försäljning) varierar mellan 0,8 och 2,4 SEK/kWh med en snittkostnad på 1,50 SEK/kWh (7). Detta ger 1,35 SEK/kWh primärenergi. För att uppnå den lägre nivån gäller att alla enheter i biogasens värdekedja tillhör de mest kostnadseffektiva i sin kategori. Uppskattad produktionskostnad för vall respektive vete redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Uppskattad produktionskostnad utifrån snittproduktionskostnaden

Uppskattad produktionskostnad	kSEK/år
Produktionskostnad vid produktion av 3,5 GWh (från vallgröda)	4725
Produktionskostnad vid produktion av 5,3 GWh (från vete och halm)	7155

Grödor för biogasproduktion har ett alternativkostnadsvärde då grödan vanligen har fler alternativa användningsområden. Priset sätts vanligen utifrån spannmålspriserna. Detta medför att substratkostnaden varierar över tiden beroende på hur de internationella livsmedels- och spannmålspriserna utvecklas. Det är därför troligt att produktion av biogas från grödor ger höga råvarukostnader och därmed att den totala produktionskostnaden hamnar mer i den högre delen av intervallet än i snittproduktionskostnaden.

3.2.5 Avsättning för gasen och möjligt försäljningspris

Energin i biogas kan nyttjas på olika sätt:

- Värmeproduktion genom förbränning i panna
- Kraft- och värmeproduktion med gasmotor eller turbin
- Som fordonsdrivmedel genom uppgradering till fordonsgaskvalité (eller naturgaskvalité)

Användning av uppgraderad biogas inom tranportsektorn är det område där efterfrågan växer snabbast och betalningsviljan är högst. Under 2011 uppgraderades hälften av den producerade biogasen. Det är därför rimligt att anta att detta kommer att vara den prissättande sektorn för biogas både på kort och på lång sikt. Betalningsviljan i transportsektorn är hög och ökar prisnivåerna för fossila bränslen, kommer troligen även biogaspriserna öka.

Priset på fordonsgas vid försäljningsställe varierar beroende på tillgången av biogas och naturgas i närområdet samt hur väl utbyggd infrastrukturen för distribution av gasen är. Det genomsnittliga priset för fordonsgas är i dagsläget (2012-08-06) 13,67 SEK/Nm^3 (8) inklusive moms vilket ger försäljningspriset 1,116 SEK/kWh exklusive moms.

Tabell 5. Möjlig intäkt från försäljning av biogas utifrån 2012 års priser

Möjlig intäkt från försäljning av biogas (år 2012)	kSEK/år
Försäljning av 3,5 GWh (från vall)	3 910
Försäljning av 5,3 GWh (från vete och halm)	5 910

3.2.6 Diskussion – grödor till biogas

Som nämns ovan ger grödor för biogasproduktion höga råvarukostnader, förutom transport och andra hanteringskostnader tillkommer biomassans marknadsvärde. Redan i dagsläget förekommer svårigheter att få lönsamhet i produktionen i flertalet befintliga biogasanläggningar. Dessa anläggningar använder i stor utsträckning restprodukter och organiskt avfall och i många fall får de betalt för att ta emot det organisakt avfallet som de använder som substrat i sin produktion. Att börja utnyttja grödor för energiutvinning kräver förutom ekonomiskt övervägande även överväganden om att utnyttja energi ur grödor istället för att producera livsmedel eller foder.

Som nämnts tidigare kan olika grödor användas för produktion av biogas, ex vallgrödor, vete eller majs. Vallgrödor har hittills rönt stort intresse för framställning av biogas och det kan odlas på de flesta jordarna. Odling av vallgrödor för biogasproduktion kan också ge andra vinster för lantbrukaren då det ökar mullhalten, förbättrar markstrukturen och minskar risken för växtsjukdomar och därmed behovet av bekämpningsmedel. Jämförs därför vetebaserad biogas med vallbaserad kan vallbaserad antas vara mer fördelaktig ur miljösynpunkt då det ger lägre kväveläckage och minskad användning av gödsel och bekämpningsmedel. Sett ur energiperspektiv erhålls dock ett högre nettodrivmedelsutbyte vid odling av vete i jämförelse med vallgrödor.

3.2.7 Övriga aspekter

Idag finns det ett certifieringssystem för avloppsslam som betecknas Revaq, vilket syftar till att reningsverken ska kontinuerligt arbeta med förbättring av slamkvalitén så att detta kan återföras till jordbruksmark. Öresundsverkets slam är idag Revaq-certifierat och sprids på åkermark. Det är dock inte alla livsmedelproducenter eller organisationer som godkänner att avloppslam läggs på åkermark där grödor odlas för deras produkter eller vissa typer av produkter. Enligt uppgift finns det idag dock avsättning för all certifierat slam i Skåne.

Den producerade biogasen föreslås primärt användas till fordonsgas. Gasen kan distribueras med hjälp av lastbil, men effektivare bör istället vara via det distributionsnät som finns i Helsingborgsområdet. För detta behöver dock gasens energivärde ökas något genom att tillsätta en energirikare gas (ofta propan), för att uppnå samma kvalité som naturgas. I Europa görs dock inte alltid detta, utan där finns det nät med olika gaskvalitéer.

3.3 Alternativ 2 – P-utvinning och slamförbränning

Det andra alternativet som diskuteras och analyseras är att utvinna fosfor ur rejektvattenströmmen vid avvattningen av rötslammet och istället för att sprida slammet på åkermark förbränna det i ett kraftvärmeverk. Fosforn som utvinns sprids på energiskogsodling för produktion av el och värme alternativt på åkermark för produktion av grödor för biogasproduktion. Ett ytterligare alternativ hade kunnat vara att sprida den utvunna fosforn på åkermark för livsmedelproduktion, men då livsmedelproduktion inte ingår i detta uppdra har inga vidare analyser gjorts för detta.

Nedan beskrivs nyttan, gångbarheten samt kostnaden av att utvinna fosfor ur rejektvattnet, förbehandling och förbränning av slammet samt energitillförseln från energiskogen alternativt biogasproduktionen från grödor.

3.3.1 Utvinning av fosfor från rejektvattnet

Fosfor är en ändlig resurs och är ett nödvändigt näringsämne för uppbyggnaden av alla celler. Hur länge den kommer att räcka är dock oklart. Mot bakgrund av detta är det viktigt att hushålla med denna resurs och inte låta den gå förlorad.

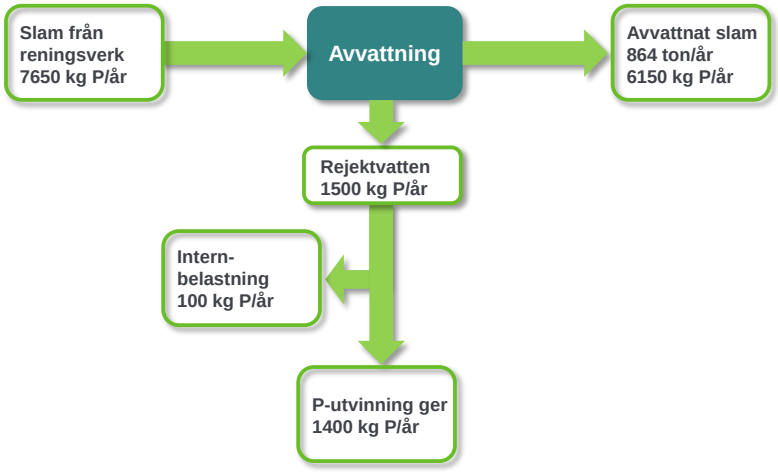
I reningsverken avskiljs fosforn vanligtvis genom att tillsätta fällningskemikalier så att fosforn binds till slammet. Det finns även andra metoder där fosforn avskiljs biologiskt och där fosforn kan utvinnas ur delströmmar i aktivslamprocessen eller ur rejektvattnet. Ett sätt att ta tillvara fosforn är att fälla ut den i form av magnesium-ammoniumfosfat, så kallad struvit. Struvit är ett salt som löser sig långsamt och fungerar därför bra som gödningsmedel för jordbruket. (7)

3.3.2 Utvinning av fosfor – Gångbarhet och nytta

För utredningen har det tagits hjälp av Ekobalans, ett miljöteknikföretag från Lund som erbjuder tjänsten att avskilja fosfor ur det s.k. rejektvattnet. Denna teknik används vid försök med en pilotanläggning vid Öresundsverket i Helsingborg. Rejektvattnet som uppkommer efter avvattning av rötslam innehåller en andel av den totala fosformängden. Koncentrationerna är betydligt högre för reningsverk såsom

Öresundsverket, som inte använder fällningskemikalier då dessa annars binder fosforn. En hög fosforhalt i rejektvattnet är en förutsättning för att ge en gångbar process och ett bättre resultat. Ekobalans uppger att en koncentration på uppemot 100 mg P/L krävs för att utvinning med deras teknik ska vara lönsam.

I ett antagande gjort av Ekobalans står rejektvattnet från slamavvattningen för ungefär 20 procent av den totala fosforbelastningen på ett avloppsreningsverk. Med den teknik de erbjuder kan rejektvattnet renas på mer än 95 procent av fosforn (och en mindre del av kvävet) vilket medför en minskad driftkostnad för verkets fosforavskiljning på nästan 20 procent och belastningen på reningsverkets egna fosforreningssteg blir lägre. Det mesta av fosforn som lämnar rötkammaren (cirka 90 procent) kommer ändå att återfinnas i slammet oavsett om Ekobalans teknik tillämpas eller inte.



Figur 7. Schematisk skiss över fosforbelastningen efter rötkammaren som härrör från H+. Rejektet uppskattas uppgå till 6 000 m^3 per år med ett totalt fosforinnehåll på 1,5 ton. Den årliga slamproduktionen uppskattas till knappt 900 ton per år. Värdena baseras på WSP:s beräkningar utifrån data från Ekobalans och Urban Water.

Produkten som erhålls är struvit ($NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$), med lägre innehåll av till exempel kadmium än handelsgödsel.

3.3.3 Utvinning av fosfor - Kostnad

Den betalningsmodell som Ekobalans erbjuder är att priset sätts efter hur mycket fosfor (och kväve) som avskiljs. Alternativt erbjuds en modell med fastpris där Ekobalans garanterar lägstanivåer i returflödet som går tillbaka till reningsverkets huvudlinje. Enligt Ekobalans uppgår normalt kostnaden för avskiljning av fosfor och kväve till cirka 100 respektive 150 SEK/kg på ett generellt reningsverk. Vilket pris som sätts per avlägsnat kg varierar med kostnadsbilden för det enskilda reningsverket. Uppskattningsvis kommer priset för att utvinna fosfor ur rejektet från Öresundsverket att ligga i storleksordningen om cirka 90 SEK/kg P.

Rejektet från H+ området uppskattas uppgå till 6 000 m³ per år med ett totalt fosforinnehåll på 1,5 ton. Om 1,4 ton (95 procent) avskiljs och kostnaden per kilo uppgår till 90 SEK blir den totala kostnaden 126 kSEK/år som bör jämföras med reningsverkets egna kostnad för fosforavskiljning. Öresundsverket betalar idag cirka 400

SEK/ton slam som avhämtas vilket för H+-slammet innebär en kostnad på cirka 350 kSEK/år.

Marknadspriset på ren fosforprodukt för gödsling ligger enligt Lantmännen (120905) mellan 17 och 18 SEK/kg. Det innebär att värdet på den avskilda fosforn hamnar på cirka 25 kSEK/år. Detta tillfaller dock Ekobalans. Enligt Jordbruksverkets hemsida (120907) är det tillåtet att maximalt sprida 22 kg P per hektar jordbruksmark och år vilket innebär att den avskilda fosforn från H+ räcker till att gödsla minst 64 hektar åkermark. Sprids fosforn på energiskogsodlingar skulle det räcka att gödsla 200 hektar.

Tabell 6. Utvinning av fosfor

Utvinning av fosfor från rejektet m.h.a. Ekobalans teknik	
Möjlig P-utvinning från H+ -området	1,4 ton per år
Uppskattad kostnad för att utvinna P mha Ekobalans teknik	126 kSEK/år
Åkermark som den utvunna P räcker till	64 ha alt 200 ha
Kostnad för avhämtning av slam från H+-området baserat på dagens kostnad	350 kSEK/år

3.3.4 Diskussion och miljönyttan

Det finns fördelar med att utvinna fosfor från slammet förutom att det hjälper till att uppfylla miljömålet om 60 procent återföring av fosfor till jordbruks- och skogsmark[7]. Produkten (struvit) som erhålls har hög renlighet (renat från tungmetaller), det bidrar till en hållbar näringsåterföring och många i fall erhålls miljövinster pga. av lägre lagrings och transportbehov då det jämförs med slam.

Kostnadsmässigt bör pristaket för struvit sättas lika med handelsgödsel. Då priset för handelsgödsel förväntas stiga till följd av ökade framställningskostnader kan detta öka värdet på att återvinna fosfor. Det finns även andra användningsområden för struviten, till exempel i cement och som material i flamskyddande paneler. Om billiga produktionsformer utvecklas kan även struviten utgöra fosforkällan i tvättmedel, kosmetika och djurfoder. (7)

3.3.5 Alternativ för användningen av struviten

Fosforn (struviten) som utvinns ur rejektet sprids i detta alternativ antingen på energiskogsodling för el och värmeproduktion eller på åkermark där grödor för biogasproduktion odlas. Struviten är en mycket ren produkt och kan dock tänkas vara för ”fin” för att spridas på energiskogsodlingar eller på grödor för biogasproduktion.

Sprids struviten på energiskogsodling antas att fosforn räcker att spridas till 200 hektar (1400 kg/7kg per hektar). Detta medför att det går att producera 8,6 GWh biomassa och slutligen 6 GWh primärenergi, se Figur 8. Sprids struviten på odling av grödor för biogasproduktion antas att det räcker att spridas till 64 hektar (1400kg/22

[7] http://www.naturvardsverket.se/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Avlopp/Avlopsslam/Miljokvalitetsmal-for-avloppsslam/

kg per hektar). Biogasproduktionen från 64 hektar vall uppgår till cirka 0,6 GWh, se Figur 8.

Tabell 7. Produktion av primärenergi från alternativa odlingar.

Struvit på energiskog alt på grödor för biogasproduktion	GWh
Energitillförsel – energiskog för el och värmeproduktion	6 GWh
Energitillförsel – biogasproduktion från grödor	0,6 GWh

3.3.6 Slamförbränning

Som tidigare nämnts är ett alternativ till att sprida slammet på åkermark att förbränna det. Detta kan dels ske i anläggningar där torkat slam förbränns i en separat panna eller dels i anläggningar där otorkat eller delvis torkat slam samförbränns tillsammans med annat bränsle. Då fukthalten i avvattnat rötslam vanligen är omkring 70-80 procent är det svårt att elda slammet separat utan att det först torkas. Förbränning av fuktigt slam kräver därför samförbränning med annat bränsle med en möjlig inblandning av cirka 10-20 procent slam, där högre slaminblandning kräver inblandning av en energirik avfallsström (exempelvis plast).

Energitillskottet är inte den enda anledningen att förbränna slam. De senaste årens forskning har visat att inblandning av slam vid avfallsförbränning minskar askrelaterade driftsproblem såsom bäddagglomerering och korrosion. Slammet kan därför förutom att det utgör ett visst bränsletillskott ses som ett mycket nyttigt additiv som kan förlänga pannans livslängd. Mängden som behövs för att få full effekt av rötslammet bör vara cirka 5-10 procent av TS eller cirka 10-20 procent av fuktigt bränsle. För att kunna blanda in den högre andelen slam kan därmed torkning av slam vara av intresse (10) (11) (12) (13).

En annan anledning att torka slammet innan förbränning är ifall monoförbränning ska tillämpas, d.v.s. att slammet förbränns i en egen panna istället för att samförbrännas med annat bränsle. Detta leder till högre investeringskostnader då en torkanläggning samt separat panna behövs men ger fördelen att fosforutvinning ur askan underlättas vid monoförbränning. Dock sker fosforutvinning ur aska idag endast på pilotskala och det finns ännu inga kommersiella metoder framtagna för att effektivt utvinna fosforn ur askan (1).

3.3.7 Slamförbränning i Filbornaverket

Det nya Filbornaverket (avfallsförbränningsanläggning) kommer ha en kapacitet på cirka 160 000 ton avfall per år och med tillstånd för inblandning av 15 000 ton slam. En årlig slamproduktion på knappt 900 ton per år från H+ området ryms väl inom Filbornaverkets tillstånd.

Det effektiva värmevärdet på fuktigt rötslam varierar mellan 0,6-1,8 MJ/kg, beroende på bland annat fukthalten (10). Då slammets energiinnehåll därmed i stort sett går åt till att torka rötslammet i eldstaden blir energitillskottet i pannan mycket lågt. Med rökgaskondensering efter förbränningen kan stora delar av värmen i det förångade vattnet tillgodogöras som fjärrvärme. Det gör att värmevärdet på slammet i förbränningen kommer närmare det kalorimetriska värmevärdet på cirka 2,5–3,9 MJ/kg. Exempelvis skulle det i en anläggning med rökgaskondensering gå att producera

fjärrvärme motsvarande cirka 1,7-2,9 MJ/kg rötslam. Slammängden 900 ton ger då en möjlig årlig energiutvinning på cirka 420-720 MWh vilket kan jämföras med Filbornaverkets totala årsproduktion på cirka 464 GWh fjärrvärme och 136 GWh el. Med primärenergifaktorn 0,3 för värme motsvarar produktionen 130 – 220 MWh.

Tabell 8. Möjlig energitillförsel vid förbränning av slam i Filbornaverket

Energitillförsel vid slamförbränning	MWh/år
Energitillförsel vid förbränning av slam med rökgaskonsensering (primärenergi)	130-220

3.3.8 Kostnaden för slamförbränning

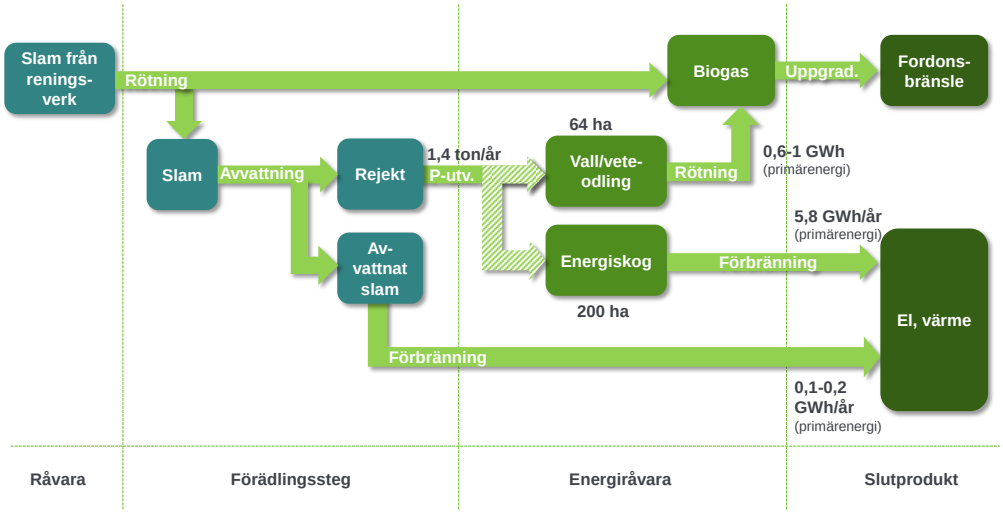
Kostnaden för slamförbränning beror mycket på hur förbränningen sker, främst ifall det krävs en ny panna vid monoförbränning (vilket inte sker i Sverige idag) eller om det ska samförbrännas i en befintlig avfallsförbränningsanläggning. Om det senare är fallet krävs endast kompletterande utrustning till pannan såsom en slamsilo, en pump och ett rörsystem för att pumpa in slammet. Ytterligare aspekter som tillkommer vid en kostnadsberäkning är vilka intäkter som uppkommer från eventuell extra (el-) och värmeproduktion samt alternativa intäkter/kostnader om slammet kan säljas och ge intäkter ifall det inte förbränns. Vid samförbränning med avfall i en anläggning med tillräcklig kapacitet på rökgassidan och med stor rökgaskondenseringspotential kan situationen uppstå att blött slam med lågt värmevärde gör det möjligt att förbränna en större mängd avfall alternativt en energirikare avfallsström vilket skulle ge mer intäkter till anläggningen i form av ökade mottagningsavgifter och ökad mängd producerad värme.

Totalt sett är det dock svårt att se att det går att få betalt för slammet som bränsle. Det går kanske att minska kostnaderna för att bli av med slammet om den mottagande förbränningsanläggningen ser fördelarna med att använda slam som additiv för att minska korrosion och andra bränslerelaterade driftproblem. Lönsamheten beror då på ur vems perspektiv slamförbränningen studeras. Rekommendationen är att inte se slamförbränning som en direkt inkomstkälla eller utgiftspost utan snarare bedöma om man kan tillvarata det energiinnehåll som slammet har samt se till slammets möjlighet att användas som additiv vid förbränning av besvärliga avfallsbränslen för att öka livslängden och minska driftproblem i pannan.

För att kunna ta betalt för avloppsslam som bränsle och/eller som additiv är det troligt att det skulle behöva torkas och att det då skulle kunna klassas som en produkt och inte som ett avfall. För att avgöra om slamförbränning kan bli lönsamt krävs en mer detaljerad studie av de många olika aspekterna av slamförbränning, delvis eftersom det är en ovanlig teknik i Sverige.

3.3.9 Möjlig energitillförsel från alternativ 2

Summeras energitillförseln från Alternativ 2 kan 0,7-1,2 GWh per år erhållas då grödor för biogasproduktion odlas. Sprids stuviten istället på energiskogsodling för el och värmeproduktion kan 5,9 – 6,0 GWh per år tillföras.



Figur 8. Alternativ 2 - fosfor utvinns ur rejektvattenströmmen vid avvattningen av rötslammet. Fosforn (som struvit) sprids alternativt på åkermark där grödor för biogasproduktion odlas eller alternativt på energiskogsodlingar för el och värmeproduktion. Det avvattnade slammet förbränns.

Tabell 9. Summering av alternativ 2

Möjlig energitillförsel från alternativ 2	GWh/år
Alternativ 2 - struviten sprids på åkermark där grödor för biogasproduktion odlas	0,7 -1,2
Alternativ 2 - struviten sprids på energiskogsodling för el och värmeproduktion	5,9 – 6,0

4 Sammanställning av alternativen

I Tabell 10 presenteras en jämförelse alternativen emellan. Det är viktigt att framhålla att de redovisade beräkningarna inte utgör fullständig ekonomisk analys. Den ekonomiska analysen syftar främst till att visa relationen mellan alternativens kostnader. För att få en mer fullständig värdering krävs en mer omfattande utredning som analyserar alla påverkande faktorer gällande framtida prisbildning och teknikutveckling.

Tabell 10. Sammanställning av alternativen, avseende primärenergi och ekonomi

	Bas-alternativ	Alternativ 1	Alternativ 2	
			P-utvinning & Biogas [a]	P-utvinning & El och värme [a]
Möjlig energitillförsel [GWh/år]	31	3,5-5,3	0,7 – 1,2	5,9 – 6,0
Årskostnad för investering, hantering, D&U [MSEK/år]	17,8	4,7 – 7,2	1,1-1,6	3,4
Kostnad per tillförd [SEK/kWh]	0,56	1,35	1,5	0,58
Årsintäkter från el-, värme-, biogasförsäljning år 2013 [MSEK]	19	3,9	0,7-1,0	3,5
Resultat, intäkter minus kostnader [SEK/kWh]	0,04	-0,35	-(0,32-0,39)	0,02

[a)] Bidraget från slamförbränningen antas försumbart jämfört med kostnader och intäkter från biogasframställning och energiskogsförbränning Kostnaden för utvinning av fosfor är inkluderad.

Som kan ses enligt tabellen erhålls högst energitillförsel samt lägst kostnad vid basalternativet. Det som dock är en nackdel med basalternativet är att betydligt fler hektar måste tas i anspråk (1200 hektar) jämfört med de övriga alternativen. Biogasalternativet är det alternativ som ger lägst tillförsel av energi och högst kostnad. Här bör dock poängteras att den fosforgiva som utgåtts ifrån (22 kg per hektar) eventuellt kan minskas och därmed skulle fosforn räcka till en större areal vilket skulle ge ett betydligt större utbyte (11-17 GWh vid samma fosforgiva som i basalternativet). Ur resurseffektivitetsynpunkt är det mer hållbart att sprida slammet på åkermark för livsmedelproduktion än att producera den biomassa som krävs för att tillgodose behovet av el och värme eller fordonsbränsle i H+ området. Alternativet att sprida slammet på åkermark för livsmedelproduktion har dock inte ingått i denna utredning varför vidare analys saknas.

Den framtida produktionskostnaden och försäljningspriset för uppgraderad biogas är svårt att spekulera i då det är många faktorer som kommer att spela in. En utökning av biogasproduktionen till 2035 kan dels medföra att tekniken utvecklas och stora anläggningar kan byggas med låga produktionskostnader där nytta kan dras av stordriftsfördelar. Samtidigt finns det en risk för ökad konkurrens om avfall och restprodukter mellan olika rötningsanläggningar, vilket kan medföra längre och ökade transporter i alla led. En annan faktor som har en stor avgörande roll för utvecklingen av produktionskostnaden och försäljningspriset är olika politiska styrmedel, både nationella och nationella. Även framtida el och fjärrvärmepriser är svåra att spekulera i då det är många faktorer som spelar roll.

5 Energi från solängar

Att odla energiskog för el och värmeproduktion som i basalternativet eller att odla grödor för biogasproduktion medför att ett stort antal hektar mark måste tas i anspråk. Ett alternativt sätt att uppnå samma energitillförsel på är att istället installera solcellsmoduler eller solfångarmoduler på så kallade solängar där solenergi omvandlas till el eller värme. Detta skulle kräva mindre areal för samma energitillförsel. Det är dock viktigt att de näringsämnen som återfinns i slammet återvinns på något sätt och återförs till jordbruksmarken.

Hur mycket energi som kan tillföras från en soläng beror på storleken på anläggningen, hur stark den inkommande solstrålningen är samt verkningsgraden på omvandlingstekniken.

5.1 Solceller jämfört med solfångare

Dagens kommersiella solceller för elproduktion har en verkningsgrad på cirka 10-15 procent, beroende på val av solcell, växelriktare och andra komponenter (14). Verkningsgraden hos solfångare beror även på vilken temperatur som ska åstadkommas på vattnet och för en solfångaranläggning kopplad till ett fjärrvärmenät krävs temperaturer på omkring 80°C vilket ger en verkningsgrad på omkring 40 procent [8]. El är däremot en mer högvärdig energiform än värme och om ett primärenergiperspektiv tillämpas så värderas elen betydligt högre än värmen vilket gör att tillförseln av primärenergi blir högre om solceller väljs framför solfångare. Dessutom är det lätt att få avsättning för all den producerade elen medan värmen främst produceras på sommaren då behovet är som lägst vilket leder till en konkurrenssituation mellan solvärmen och kraftvärmeproduktion från bland annat avfallsförbränning. Därför är solängar med solceller troligtvis en bättre satsning att föredra framför solfångaranläggningar, åtminstone på orter med tillgång till ett fjärrvärmenät med kraftvärmeproduktion från avfallsförbränning.

5.2 Inkommande solstrålning och elproduktion från solceller

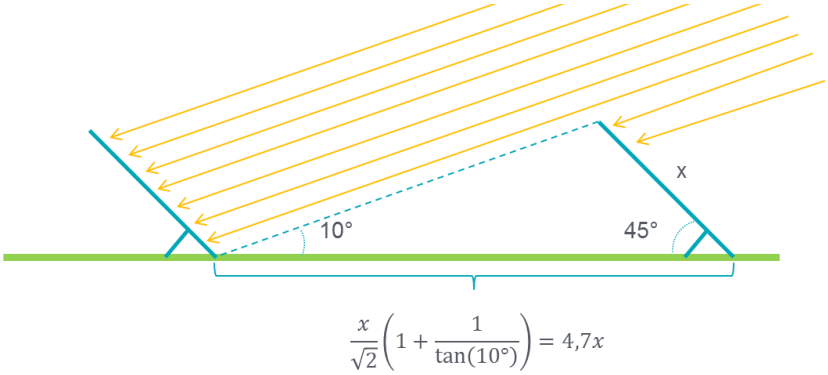
Solstrålningen för olika platser i Sverige går att ta fram från strålningsmodellen STRÅNG som SMHI tillhandahåller (15). En genomsnittlig årsinstrålning i Helsingborg blir 1036 kWh/m^2. Årsinstrålningen multipliceras med en solcellsmoduls toppeffekt för att erhålla årsproduktionen av el. Med en toppeffekt på 140 W/m^2 samt en systemverkningsgrad på 88 procent (från förluster i växelriktare mm) erhålls en årlig elproduktion på; $140 * 1036 * 0{,}88 = 128$ kWh/m^2 (14).

5.3 Tillgänglig yta och total elproduktion

Solcellsmoduler bör placeras med ca 30-50° lutning mot horisontalplanet för att fånga så mycket solstrålning som möjligt vilket ger upphov till skuggningseffekter. För att inte tappa för mycket av den årliga solstrålningen väljs vinkeln mellan under-

[8] Uppgift från leverantörs datablad (solfångare från Ahlsell)

kanten på en modul till överkanten på modulen framför till 10° (se Figur 9). Detta ger en minskning av solstrålningen på 5,7 procent under hela året (16).



Figur 9. Solcellsmoduler placerade på rimligt avstånd från varandra utifrån ett skuggningsperspektiv. Avståndet (i antal moduler) mellan två moduler uppgår till 4,7.

Som kan ses i Tabell 10 kan 33 GWh erhållas i basalternativet. Jämförs detta med att istället producera samma energimängd från solceller behövs X hektar = 128 kWh/m^2 x 1,9 (primärenergifaktorn) x 0,943 (skuggningsförlustfaktor) x 4,7 (avståndsfaktor för moduler) = 31 000 000 kWh => X = 64 hektar, det vill säga för att producera 31 GWh (primärenergi) från solceller behövs 64 hektar. På liknande sätt erhålls antal hektar från de andra alternativen, se Tabell 11.

En tätare position mellan modulerna skulle ge en högre totalproduktion men innebära en lägre produktion per modul på grund av mer skuggning mellan modulerna.

Tabell 11. Antal hektar solceller för att producera samma energimängd som i basalternativet samt i de andra två alternativen.

Alternativ	Energitillförsel (GWh)	Antal hektar solceller
Basalternativet	31	64
Alternativ 1 – Biogasproduktion från grödor	3,5 - 5,3	7,2 – 10,9
Alternativ 2 – Fosforutvinning, slamförbränning samt biogasproduktion från grödor	0,7 – 1,2	1,4 – 2,5
Alternativ 2 – Fosforutvinning, slamförbränning samt energiskogsodling för el och värmeproduktion	5,9 – 6,0	12,2 – 12,4

5.3 Kostnader för solängar

Med en specifik investeringskostnad på 14 SEK/W_p[9] blir investeringen för en anläggning på 64 hektar (13,6 ha solceller) omkring 265 MSEK exklusive moms. Driftkostnaden för en solcellsanläggning är mycket låg i förhållande till investeringskostnaden och den kan därför försummas i denna beräkning. Däremot är det troligt att växelriktarna behöver bytas ut en gång under de första 25 åren vilket ger

[9] Uppgifter hämtade från leverantörer

en ytterligare kostnad på omkring 1,5 SEK/W_p. Totalkostnaden inklusive en installationskostnad på 2,5 SEK/W_p uppgår då till cirka 341 MSEK. Livslängden kan antas vara 25 år och en kalkylränta på 6 procent ger då annuiteten 24 MSEK. Annuiteten dividerat med årsproduktionen i primärenergi ger produktionskostnaden 0,78 SEK/$kWh_{primärenergi}$ för solängarna.

Försäljningspriset på el uppskattas till 0,366 SEK/kWh år 2013[10]. Dessutom tillkommer elcertifikat fram till år 2035 vilket ger cirka 0,2 SEK/kWh (17) utöver intäkterna från elförsäljningen. Den totala intäkten blir då 0,566 SEK/kWh_{solel}. Elcertifikatsystemet sträcker sig fram till år 2035 och därefter är intäkterna endast från elförsäljning. Enligt Öresundskrafts[11] elprisprognos väntas dock ett högre el pris 2035 än vad elpriset och elcertifikatspriset ger tillsammans år 2013. Det kan därför antas att ett högre elpris ändå ger en lägre total produktionskostnad (kostnad- intäkt) 2035 jämfört med 2013.

Tabell 12. Antal hektar solceller som krävs för att producera samma primärenergimängd som basalternativet och de två andra alternativen.

Kostnader för solängar & total produktion	Basalternativet	Alternativ 1	Alternativ 2a	Alternativ 2b
Antal hektar	64	7,2 – 10,9	1,9 - 3,1	12,2 – 12,4
Möjlig årsproduktion (GWh)	31	3,5 - 5,3	0,7 – 1,2	5,9 -6
Möjlig produktionen under 25 år (GWh)	775	88-133	18-30	148 - 150
Investeringskostnad (MSEK)	331	39-58	8-13	65 - 66
Produktionskostnaden [SEK/kWh]	0,78	0,78	0,78	0,78
Årlig intäkt [MSEK]	9,2	1,0 – 2,0	0,2 – 0,4	1,8
Resultat, intäkt minus-kostnader [SEK/kWh]	-0,48	-0,48	-0,48	-0.48

Som kan ses i tabellen ovan behöver inte lika många hektar tas i anspråk om solängar anläggs istället för energiskog eller grödor för biogasproduktion för att uppnå samma energitillförsel. Då det dock antas att vi har ett slam som ska utnyttjas på bästa möjliga sätt och det finns ett nationellt mål att återvinna en stor del av de viktiga näringsämnena kan det diskuteras vad som är den bästa lösningen ur ett hållbarhetsperspektiv. I dagsläget är solängar en dyr satsning som är svårt att få lönsamhet i för ett energibolag. Solängar på hela den tillgängliga ytan bedöms därför inte som en rimlig investering. Tack vare en hög primärenergifaktor för den producerade elen så utgör solängarna dock ett bra alternativ sett till kostnaden för att tillföra en kWh primärenergi till energisystemet.

[10] Uppskattning av framtida elpriser från Öresundskraft
[11] Uppgifter från Öresundskraft, användes i H+ energisystem projektet

6 Diskussion

Jämförs de olika alternativen, ses enligt Tabell 10 att basalternativet är det alternativ som ger störst energitillförsel till lägst kostnad, i varje fall för 2013. Energiskogsodlingar (Salix) ger även förutom högt energiutbyte en del miljöfördelar gentemot alternativet att odla grödor för biogasproduktion. Energiskog som är en flerårig gröda fungerar bättre som en kolsänka jämfört med ettåriga jordbruksgrödor då de har en högre inbindning av kol i markväxtsystemet och följaktligen en minskad halt av koldioxid i atmosfären. Salix har även en viss förmåga att binda kadmium, vilket medför att Salix kan hjälpa till att avlasta åkermarken från kadmium härrörande från bland annat kadmiumhaltiga fosforgödselmedel. Vidare tillämpas endast ogräsbekämpning primärt vid etableringen av grödan och minskas därefter radikalt varför även detta ger miljövinster jämfört med traditionell livsmedelsproduktion. Nackdelen med basalternativet är dock att betydligt fler hektar måste tas i anspråk jämfört med de övriga alternativen. Idag finns det över 2000 hektar energiskog i Skåne och förutsatt att dessa ligger inom ett relativt nära avstånd kan det tänkas att en del av slammet kan spridas på dessa. Om det inte kan avsättas på dessa arealer behöver nya odlingar komma till stånd, vilket skulle behöva ett aktivt handlande av t.ex. en intressentgrupp. I dag finns det en viss negativ inställning till odling av energiskog, dels då det påverkar landskapsbilden och dels då det medför risktagande i form av att binda marken under lång tid. Dessutom lever de negativa erfarenheterna från 1990-talets odlingar kvar hos ett antal lantbrukare då odlingarna resulterade i låga skördenivåer på grund av dålig ogräsbekämpning, utebliven gödsling, olämpliga sorter samt plantering på lågproduktiv åkermark.

Biogasalternativet är det alternativ som ger lägst tillförsel av energi och högst kostnad i inledningen, se Tabell 10. Kostnadskalkylen ser däremot betydligt bättre ut för år 2035 då det antas att intäkterna kommer öka kraftigt framöver på grund av ökad efterfrågan av förnybara drivmedel. Här bör som tidigare nämnts poängteras att den fosforgiva som utgåtts ifrån (22 kg per hektar) eventuellt skulle kunna minskas och därmed skulle fosforn räcka till en större areal, vilket skulle ge ett större utbytet. Antas samma fosforgiva som för basalternativet uppgår energiutbytet till 11-17 GWh istället för 3,5-5,3 GWh. Kostnaden per producerad kWh uppgraderad biogas varierar avsevärt och beror dels på vilket substrat som används men också på rötningsprocess, rötkammarens och uppgraderingsanläggningens storlek, samt hur biogasen distribueras och över vilken distans. Detta medför att de redovisade kostnaderna är uppskattade i ett intervall och ungefärliga. Att ta fram mer exakta kostander är därför inte möjligt utifrån de förutsättningar som föreligger i denna delutredning. Troligt är dock att biogas från åkergrödor hamnar i den högre delen av kostnadsintervallet då grödorna har ett alternativvärde.

I alternativet att förbränna slam är det viktigt att inte enbart se energitillskottet som det enda skälet då det finns andra fördelar med slamförbränning. Rekommendationen är att inte se slamförbränning som en direkt inkomstkälla eller utgiftspost då lönsamheten beror på ur vems perspektiv slamförbränningen studeras.

När de olika alternativen jämförs med varandra är det viktigt att inte enbart titta på energitillförsel, utan även belysa dess miljönytta. Exempelvis kan luktstörning förekomma i samband med spridning av slam. Det finns så vitt vi vet inte studier som

visar på väsentliga skillnader i näringsläckage vid gödsling av olika typer av organiska eller oorganiska gödselmedel och därav kan man anta att gödsling av avloppslam, utvunnen fosfor (struvit) eller handelsgödsel i stort sett ger samma läckage, Läckaget beror framförallt istället på odlingsmetoder och val av grödor. Det finns fördelar med att utvinna fosfor från slammet, dels att produkten (struvit) som erhålls har hög renlighet och dels att det i många fall erhålls miljövinster pga. av lägre lagrings och transportbehov då det jämförs med slam.

Som kan ses i Tabell 11 kan samma energitillförsel som erhålls i de olika alternativen fås från solceller men från betydligt mindre arealer. Att placera solceller på ett fält blir i dagsläget dock ett dyrt alternativ, även om potentialen för energiutvinning är stor. Priset för solceller har minskat kraftigt de senaste åren och om den utvecklingen håller i sig kan det bli betydligt mer lönsamt om några år. En investering år 2035 är därför mycket svår att bedöma och vid stora investeringar kan priserna också minska ytterligare. I dagsläget är det däremot mer lönsamt att satsa på solcellsinvesteringar i anslutning till nybyggnationer istället för separata solängar. Solcellerna kan då integreras i byggnader och ersätta byggnadsmaterial vilket ger lägre investeringskostnader.

Sammanfattningsvis kan sägas att det alternativ som med hänsyn till energitillförsel och kostnad ger bäst resultat är som nämns ovan att sprida slammet på energiskogsodling och sedan skörda biomassan för el och värmeproduktion. Ur energi- och resurssynpunkt är det dock inte hållbart att producera biomassa för att erhålla den energi H+ området efterfrågar då det kräver att betydande arealer måste tas i anspråk. Vidare uppstår en konkurrenssituation om marken gällande valet att producera energi eller livsmedel och foder. Sålunda är det ur resurseffektivitetssynpunkt mer hållbart att i första hand sprida slammet på åkermark för livsmedelsproduktions och sedan exempelvis anlägga ett antal solängar för att producera energi med hjälp av solceller. Slam för energiproduktion kan dock ses som ett alternativ då det är svårt att få avsättning för avloppslammet för livsmedelsproduktion. Solängarna kan producera samma energimängd som energiskogsodlingarna men på cirka 5 procent av den areal som krävs med energiskogsodlingarna. Således utnyttjas samhällets resurser på bästa sätt och näringsämnena i slammet återförs till produktiv mark och bidrar till att sluta kretsloppet. Ur ekonomisk synvinkel är dock inte solängar konkurrenskraftiga med dagens elpriser.

7 Slutsatser och rekommendationer

Utifrån denna delutredning kan det konstateras att hur återföring av slam och dess näringsämnen ska ske är en komplex fråga. Framförallt då diskussionen handlar om näringsåterföring till livsmedelsproduktion kontra odling av energigrödor. Analys av spridning av avloppsslam på åkermark för livsmedelsproduktion har inte ingått i denna utredning, men utifrån utredningen anses dock att grundsynen bör vara att i första hand arbeta med sortering av näringsflöden och ett uppströmsarbete för att förbättra slamkvalitéer, så att näringscirkulationen kan ske till jordbruksmark för livsmedelsproduktion framför mark för odling av energigrödor.

Det anses vidare ur resurssynpunkt vara bättre att producera högvärdig elenergi med solceller än att producera den mängd biomassa, i form av energiskog, som krävs för att tillgodose det energibehov som det framtida H+ området kommer efterfråga. Vidare är det osäkert om det är möjligt att förbränna energiskog i de befintliga förbränningsanläggningarna i anslutning till H+ området utan större modifieringar i anläggningarna.

Fosforutvinning bör ses som ett komplement till direkt näringsåterföring via slamspridning. Utvinningen har dock den fördelen att den färdiga produkten är lättare att hantera miljö- och transportmässigt.

Det har kostaterats att återföring av slam för odling av grödor för biogasproduktion ger ett betydligt sämre energiutbyte jämfört med odling av energiskog. I denna analys ligger dock en del osäkerheter avseende av t.ex. odlingsbetingelser och processval, som påverkar utfallet och som behöver studeras vidare för att säkerställa utfallet.

Innan beslut fattas gällande hanteringen av reningsverkets slam från ett framtida H+ området rekommenderas att vidare analyser utförs gällande slamspridning på tillgänglig jordbruksmark för livsmedelsproduktion samt för spridning på energiskogsodling inom rimligt avstånd. Även mer detaljerad ekonomisk analys rekommenderas.

8 Litteraturförteckning

1. **Henriksson, Gunilla, o.a., o.a.** *Rätt slam på rätt plats.* Borås : Waste Refinery, 2012.

2. **Svenskt_Vatten.** Slam och slamhantering. [Online] [Citat: den 15 08 2012.] http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/Slam-och-slamhantering/.

3. **Börjesson, Pål.** *Livscykelanalys av Salixproduktion.* Lund : LTH, 2006.

4. **Jordbruksverket.** *Jordbrukstatistisk årsbok 2012.* Örebro : SCB, 2012.

5. **Persson, Margareta.** *Basdata om Biogas.* Malmö : Svenskt Gastekniskt Center, 2006.

6. **Börjesson, Pål.** *Energianalys av drivmedel från spannmål och vall.* Lund : LTH, 2004.

7. **Energimyndigheten, Jordbruksverket och Naturvårdverket.** *Förslag till en sektorsövergripande biogasstrategi.* Eskilstuna : Energimyndigheten, 2010.

8. **Gasbilen.se.** Aktuella Priser. [Online] [Citat: den 07 08 2012.] http://www.gasbilen.se/Att-tanka-din-gasbil/Aktuella-priser.

9. **Heldt, D.** *Återvinning av fosfor ur rejektvatten från rötat bio-P-slam.* Stockholm : KTH, Stockholm vatten, 2005.

10. **Strömberg, Birgitta och Herstad-Svärd, Solvie.** *Bränslehandboken 2012.* Stockholm : Värmeforsk, 2012.

11. **Herstad-Svärd, Solvie, o.a., o.a.** *Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem; Ramprogram.* Stockholm : Värmeforsk, 2006.

12. **Herstad-Svärd, Solvie, o.a., o.a.** *Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, Etapp 2.* Stockholm : Värmeforsk, 2007.

13. **Herstad-Svärd, Solvie, o.a., o.a.** *Ramprogram – Åtgärder för samtidig minimering av alkalirelaterade driftproblem, Etapp 3.* Stockholm : Värmeforsk, 2011.

14. **Stridh, Bengt och Hedström, Lars.** *Solceller - Snabbguide och anbudsformulär.* Stockholm : Solelprogrammet, 2011.

15. **SMHI.** Strång. [Online] [Citat: den 26 04 2012.] strang.smhi.se.

16. **Solelprogrammet.** Energiberäkningar. [Online] [Citat: den 15 08 2012.] http://www.solelprogrammet.se/Projekteringsverktyg/Energiberakningar/#Uppskattning.

17. **Kraftnät, Svenska.** Elcertifikat. [Online] [Citat: den 15 08 2012.] https://elcertifikat.svk.se/ .

18. **Energimyndigheten.** Solceller håller i minst 25 år. *Energimyndigheten - Pressmeddelanden.* [Online] [Citat: den 24 08 2012.]

http://energimyndigheten.se/sv/Press/Pressmeddelanden/Pressmeddelanden-2006/Solceller-haller-i-minst-25-ar/.

19. **Dunlop, Ewan och Halton, David.** *The Performance of Crystalline Silicon Photovoltaic Solar Modules after 22 Years of Continuous Outdoor Exposure.* Hoboken, New Jersey : Wiley InterScience, 2005. DOI: 10.1002/pip.627.

20. **Göransson, Anders, o.a., o.a.** *Fjärrvärmen i framtiden – behovet* . Stockholm : Svensk Fjärrvärme, 2009.

21. **IEA.** *Technology Roadmaps - Solar Photovoltaic Energy.* Paris : OECD/IEA, 2010.

22. **LRF_Konsult och Svenska_Biogasföreningen.** *GÅRDSPRODUKTION AV BIOMETAN* . u.o. : LRF, Svenska Gasföreningen och E.ON Gas Sverige AB, 2007.

23. **Reich, Marcus Carlsson.** *Sammhällsekonomisk analys av system för återanvändning av fosfor ur avlopp.* Stockholm : Naturvårdsverket, 2002.