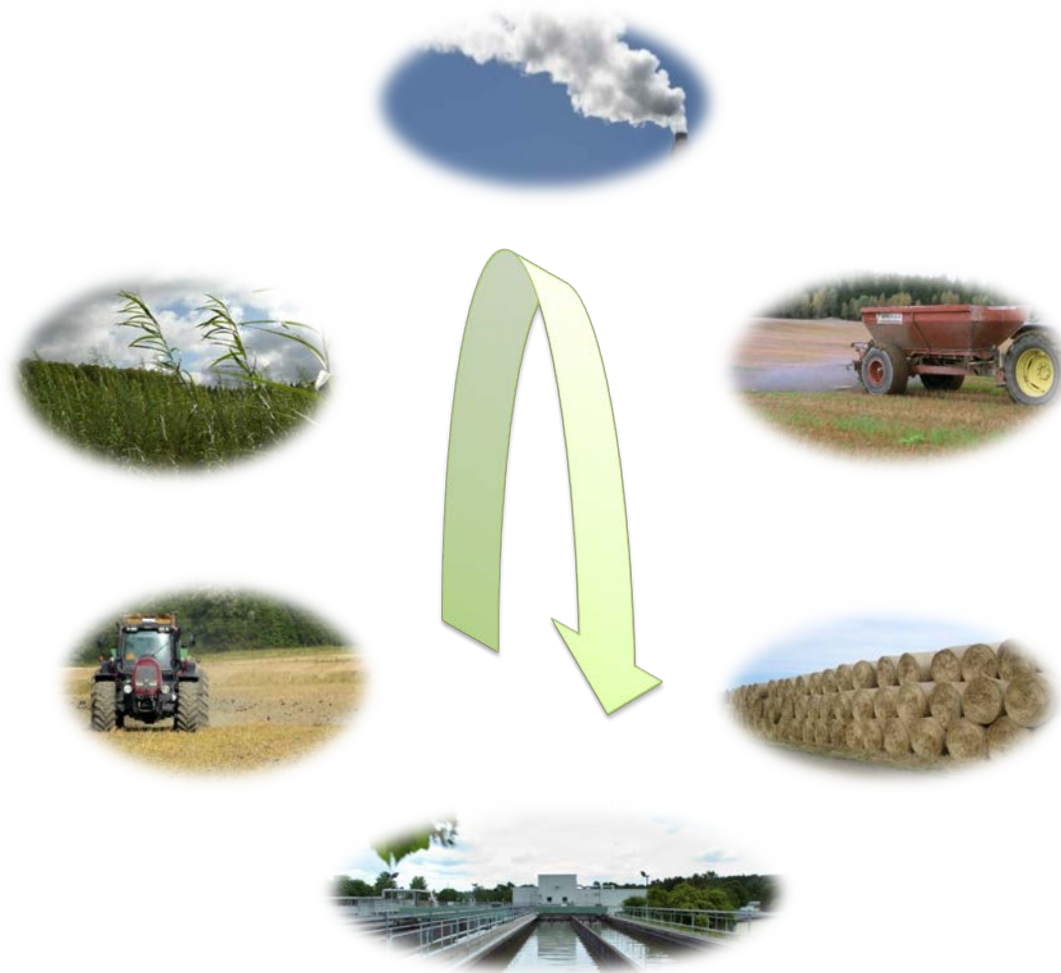


# Energigrödor och slam i lokalt kretslopp- "Boråsmodellen"

Susanne Paulrud, Håkan Rosenqvist, Cecilia Wahlberg Roslund, Marcus Öhman

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



# Energigrödor och slam i lokalt kretslopp-”Boråsmodellen”

Susanne Paulrud, Håkan Rosenqvist,  
Cecilia Wahlberg Roslund, Marcus Öhman

## Abstract

Society is facing a growing challenge when it comes to close cycles and take care of waste and residues and produce nutrients without dependence on fossil fuels. Today we have relatively good skills about how to grow energy crops or dispose of the waste products but we must develop bioenergy solutions and market models that are profitable. The overall objective of the project is to better understand how energy crops and waste products from agriculture can be part of a local cycle that provides a profitable production with the help of synergies from the sludge handling.

Key words: Energigrödor, avloppsslam, kretslopp, kalkyler

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport : 2016:98  
ISSN 0284-5172  
Borås

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>4</b>
<b>Förord</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>6</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2 Beskrivning av råvaror och restprodukter</b>	<b>8</b>
2.1 Rörfilen	8
2.1.1 Halm	9
2.1.2 Salix	10
2.2 Avloppsslam	12
2.2.1 Spridning på åkermark	13
2.3 Aska	14
<b>3 Energigrödor, slam och aska i kretslopp-fallstudie Borås</b>	<b>14</b>
3.1 Borås Energi & Miljö	14
3.1.1 Förbränningsanläggningen	15
3.1.2 Slam från avloppsreningsverket i Borås	15
3.1.3 Samförbränning av slam och biobränsle och separering av aska	16
3.1.4 Behov av energigrödor, restprodukter och åkerareal för slam och askspridning	17
<b>4 Kostnadsanalyser</b>	<b>18</b>
4.1 Metod	18
4.2 Indata till kalkylerna	18
<b>5 Resultat och diskussion</b>	<b>22</b>
5.1 Intäkter och kostnader för slam och aska	22
5.2 Känslighetsanalys	29
5.2.1 Beräkning med jordbruksstöd	29
5.2.2 Ökade spannmålspriser	30
5.2.3 Ökad mängd halm i råvarumix vid förbränning av slam och biobränsle	30
5.3 Affärsmodell och nyttan för alla parter	31
<b>6 Slutsatser</b>	<b>32</b>
<b>7 Referenser</b>	<b>33</b>
<b>Bilaga 1</b>	<b>36</b>
<b>Bilaga 2</b>	<b>37</b>

## Förord

Projektet Energigrödor i lokalt kretslopp-”Boråsmodellen” har finansierats av Energimyndighetens program Tillförsel och Hållbarhet och har genomförts i samarbete mellan SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, fristående konsult Håkan Rosenqvist, Hushållningssällskapet Norrbotten Västerbotten, Luleå tekniska universitet och Borås Energi och Miljö AB. Dialog har även förts med Fredrik Johansson, Lundby Maskinstation och Anders Johnsson, Veolia som bidragit med uppgifter till framförallt kostnadskalkylerna.

Vi vill tacka deltagare och finansiär som har bidragit till att projekten har gått att genomföra.

Susanne Paulrud  
SP Borås, december 2016.

## Sammanfattning

Sverige har areella överskottsytor och betydande andel lantbruksbaserade restprodukter som mer än idag, skulle kunna komplettera livsmedelsproduktionen med produktion av bioenergi. Det finns behov att hitta användningsområden för biomassa för att hålla åkermarken i produktion och för att detta ska kunna realiseras kan en väg vara energiproduktion i form av värme och el som kan kombineras med framställning av växtnäring och hantering av samhällets restprodukter. Borås Energi & Miljö är en stor användare av biobränsle och bolaget genomför nu viktiga investeringar i ett nytt kraftvärmeverk. Energibolaget ser gärna lokalt bränsle som en del av bränsleförsörjningen och lantbruket kan få en betydande roll i framtiden om lösningar kan utvecklas som kan bidra till att det nationella målet om återföring av fosfor lättare kan uppnås och att avloppsslammet kan bli en resurs och inte bara en restprodukt. Det övergripande målet med projektet har varit att öka kunskapen hur energigrödor och restprodukter från lantbruket kan ingå i ett lokalt kretslopp som ger en lönsam produktion med hjälp av samordningsvinster från slamhantering.

I studien har kostnadskalkyler upprättats för fyra olika kretslopp. Ett kretslopp där salixodlingar gödslas med slam från avloppsverket i Borås och där grödan skördas och levereras som bränsle till kraftvärmepannan. I det andra kretsloppet har kostnadskalkyler beräknats för en stråbränslekedja där rörlensodlingar gödslas med slam från avloppsverket i Borås och där grödan skördas och levereras som bränsle till kraftvärmepannan. I det tredje och fjärde kretsloppet har kostnadskalkyler upprättats för en kedja där slam förbehandlats genom torkning och granulering för att därefter samförbrännas med träbränsle och halm i en fluidbädd panna för att därefter återvinna askan ur sandbädden. Askan har sedan använts som gödning i salix och rörlens. Fördelen med att samförbränna slammet är att smittoämnen och läkemedelsrester totalt kan elimineras och toxiska spårämnen kan reduceras, vilket ökar intresset för slam som gödningsmedel. För en stad som Borås som generera relativt stora mängder slam krävs stora arealer för att kunna sprida allt slam. Med en askprodukt kan areal för livsmedelproduktion även vara aktuell, liksom skogen.

Resultatet från beräkningarna visar att det ekonomiskt optimala fosfor kretsloppet som samtidigt ger energi från energigrödor är främst beroende av vilket område (jordens bördighet och alternativt värdet på marken) energigrödan odlas. För salix och rörlens är användning av slam och aska som gödning av störst värde för lantbruket i område 3 (mindre bördiga marker). Per hektar ökar lönsamheten i salixodling med ca 500 kr/ha vid användning av slam istället för handelsgödsel och ca 280 kr/ha vid användning av askgranuler där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna och där priset för salix är 180 kr/MWh. Per hektar ökar lönsamheten i rörlensodling med ca 440 kr/ha vid användning av slam istället för handelsgödsel och ca 360 kr/ha vid användning av askgranuler på rörlensodling där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna och där priset för rörlens är 190 kr/MWh. Kostnaden i Borås för att bli kvitt slammet genom att förbränna det i avfallspannan är ca 175 kr per ton slam och där transport och spridning av slam kostar ca 90 kr/ton (5 mils transport). Det finns därmed ett ekonomiskt värde för värmeverket att i stället sprida slammet på åkermark, såvida åkermarken ligger inom rimligt avstånd. Totalt produceras ca 2600 ton TS slam i Borås vilket motsvarar ca 12000 ton slam med en TS-halt på 21 %. Vid en slamspridning på 5 ton per år motsvarar det ett behov av 2400 hektar energiodlingar vilket generera mer än 10 % av Borås Energi & Miljö:s bränslebehov per år.

# 1 Inledning

Sverige har areella överskottsytor och betydande andel lantbruksbaserade restprodukter som mer än idag, skulle kunna komplettera livsmedelsproduktionen med produktion av bioenergi. Hittills har bioenergi från lantbruket varit mycket begränsad i jämförelse med produktionen från skogen. Det finns dock flera exempel på lyckade lönsamma satsningar inom olika värdekedjor [1,2,3] och dessa kan bli fler, men det krävs att produktion av bioenergi kan generera flera olika nyttor. Tex att energiproduktion i form av värme, el eller drivmedel kan kombineras med framställning av växtnäring och hantering av samhällets restprodukter. Samhället står inför en allt större utmaning när det gäller att sluta kretslopp och ta hand om avfall och restprodukter samt framställa växtnäring utan fossilberoende. Samtidigt måste produktion och användning anpassas till ökade miljö och hållbarhetskrav.

Fosfor är ett ändligt makronäringsämne som utgör en livsviktig resurs för människan, djur och livsmedelsförsörjningen. Tillgången på fosfor minskar då naturtillgångarna världen över krymper. Naturvårdsverket har därför föreslagit ett etappmål som är under utredning och där förslaget är att 2018 ska minst 40 procent av fosfor i avlopp tas tillvara och återföras som växtnäring till åkermark utan att detta medför en exponering för föroreningar som riskerar att vara skadlig för människor eller miljö [4]. Återföringen av fosfor med avloppsslam till åkermark är en omdiskuterad fråga, men det finns möjliga lösningar på avsättningen för slammet där energigrödor/restprodukter från lantbruket kan få en betydande roll. Återföring av avloppsslam/rötslam direkt till åkermark sluter en del av fosforkretsloppet, men att återföra all växtnäring till närliggande odlingsmark genom återvunnet organiskt avfall är inget realistiskt alternativ för många städer i dag. Mycket tyder på att aska kommer att få större betydelse som restprodukt från större städer i framtiden. Bearbetning av aska och utvinning av näringsämnen blir därför ett viktigt steg för att sluta samhällets näringskretslopp. Tidigare forskning vid Umeå och Luleå universitet, har visat att sameldning av slam och kaliumrika biobränslen, såsom halm, under vissa driftbetingelser kan återvinna mer än 80 % av det fosfor och kalium som finns i slammet. De fosfater som då bildas har både visat sig vara växttillgängliga och samtidigt vara motståndskraftiga mot urlakning, vilket minskar risken för fosforläckage från jordbruksmark [5-8]. Slam har dessutom genom sitt oorganiska innehåll en positiv effekt vid sameldning med biobränslen som t.ex. halm och rörflen som har höga alkalihalter då den bidrar till minskade driftsproblem, vilket möjliggör högre drifttemperaturer och därmed bättre energiutvinning i förbränningsprocessen. Slam får idag bara eldas i godkända avfallspannor samt pannor godkända för samförbränning. Det finns idag ett ganska stort antal samförbränningsanläggningar som har tillstånd att elda returflis och andra avfallsklassade biobränslen, vilket gör att det finns potential i många kommuner att samelda slam med biobränsle.

Borås Energi & Miljö AB (BEM) är en stor användare av biobränsle. Bolaget genomför nu viktiga investeringar i ett nytt kraftvärmeverk. En ny anläggning planeras att vara i drift 2019-2020. Borås Energi ser gärna lokalt bränsle som en del av bränsleförsörjningen och lantbruket kan få en betydande roll för projektet om det finns samordningsvinster som kan leda till lönsamhet för alla parter. BEM vill även hitta lösningar som kan bidra till att det nationella målet om återföring av fosfor lättare kan uppnås och att slammet kan bli en resurs och inte bara en restprodukt.

## Projektets mål

Det övergripande målet med projektet är att öka kunskapen hur energigrödor och restprodukter från lantbruket kan ingå i ett lokalt kretslopp som ger en lönsam produktion med hjälp av samordningsvinster från slamhantering. Delmål i projektet är att:

- Undersöka det ekonomiska mervärdet som hantering av slam genom fosforåterföring kan ge vid produktion av stråbränsle för kraftvärme i ett lokalt kretslopp.
- Undersöka det ekonomiska mervärdet som hantering av slam genom fosforåterföring kan ge vid produktion av salix för kraftvärme i ett lokalt kretslopp.
- Undersöka det ekonomiska mervärdet vid återvinning av fosfor från aska vid samförbränning av slam, träbränsle och stråbränsle i ett lokalt kretslopp.

## 2 Beskrivning av råvaror och restprodukter

### 2.1 Rörflen

Rörflen (*Phalaris arundinacea*) är ett flerårigt gräs som kan användas som energigröda. Grödan har bra förutsättningar att odlas i både norra och södra Sverige för användning i närvärmeanläggningar och fjärrvärmeanläggningar. Principiellt kan rörflen eldas både i riven/hackad form, som storbalar och i kompakterad form som briketter. Rörflen är ett torrt bränsle då det bärgas tidigt på våren. Torrsubstansen ligger normalt mellan 80-90 % (figur 1). Beroende på användningsområde och transportavstånd kan rörflen pressas till rundbalar, fyrkantbalar eller fälthackas och direktlastas i vagn. Den vanligaste hanteringen idag är i form av balar då de är lättare att lagra.



Figur 1. Grönt rörflen i fält och rörflen vid bärgning på våren.

2015 odlades ca 800 ha rörflen i Sverige. Eftersom rörflen aldrig fått något större kommersiellt genombrott så har inte ett förädlingsarbete för rörflen som energigröda bedrivits på samma sätt som för salix. De rörflensorter som etablerats i svenska odlingar sedan 2007 är i huvudsak de nordamerikanska fodersorterna Palaton, Chieftain, Venture, och Vantage samt norska Lara. Den enda sorten som tagits fram i Sverige är Bamse som Lantmännen SW-Seed utvecklat för energiodling. Viss utveckling av nya sorter har genomförts på senare år, en sort; SW RF5004 har avkastat tillräcklig mängd biomassa i tillräckligt många försök för att kunna kommersialiseras, vilket Lantmännen Lantbruk nu avser att göra [9].

Anledningen till att produktionen av rörflen stannat vid ett fåtal kommersiella odlingar är den relativt höga produktionskostnaden i relation till överskott på biobränslen och därmed låga marknadspriser med dålig lönsamhet som följd vilket medfört avsättningsproblem. Andra orsaker är bl.a. att fokus under många år har legat på en småskalig användning [10,11]. Då rörflen skördas i torrt tillstånd (85 % torrhalt) så har mycket av utvecklingsarbetet fokuserat på att förädla råvaran till briketter och pellets för användning



i mindre till mellanstora anläggningar. Rörflenets bränsleegenskaper skiljer sig från träbränsle. I första hand är det en högre askhalt som måste hanteras. Denna kan variera mellan 3 och 10 % beroende på vilka jordar den odlats på. Lägst askhalt erhålls på lätta mullrika jordar medan mycket styv lera ger de högsta halterna. Oftast så ligger askhalten över 6 % (tabell 1). För att få lönsamhet på en bränslekedja med ett förädlad bränsle krävs en relativt billig förbränningsteknik, liksom den teknik som används för träpellets idag. För att fungera driftsäkert kräver dock rörflen en mer avancerad förbränningsutrustning samt högre drift och underhållskostnader. Detta gör att lönsamheten för rörflen som ett förädlad bränsle i form av briketter ej går att räkna hem idag [20]. Dock är det svårt att finna lönsamma grödor på många av de mindre bördiga marker där rörflen skulle kunna vara aktuellt idag.

Tabell 1. Visar exempel på bränsledata för rörflen i jämförelse med träbränsle och råghalm [12].

	<b>Rörflen</b>	<b>Träbriketter (stamved)</b>	<b>Råghalm</b>
På torrt prov			
Effektivt värmevärde MWh/ton ts	4,9	5,3	5,0
Aska, vikt-%	6	0,3	2,4
Klor, Cl, vikt-%	0,04	0,01	0,06
Svavel, S, vikt-%	0,07	<0,01	0,06
Kol, C, vikt-%	46,6	50,3	48,7
Väte, H, vikt-%	5,8	6,2	6
Kväve, N, vikt-%	0,48	<0,05	0,57
Syre, O, (diff) vikt-%	41,1	43,2	42

Rörflen är en intressant gröda för de områden där det kan finnas behov att hålla åkermark i bruk inför en framtida ökad efterfrågan på livsmedel samt på mindre bördiga marker där livsmedelsproduktion inte är lönsamt. Till skillnad mot t.ex. salix så har rörflen bättre förutsättningar att användas som råvara inom flera användningsområden, t.ex. som strö men även råvara till biogas. Det är också en gröda som kan lämpa sig väl i ett kretslopp där det finns behov av slamgödsling. Utveckling och användning av rörflen bör dock fokusera mer på användningsområden som motsvarar användningen av halmen idag dvs en kombinerad användning av strö, foder och bränsleråvara i oförädlad form. Liksom för halmen, se nedan, så kan rörflen ha potential att användas i mix med träbränsle i större värmeverk.

### 2.1.1 Halm

I Sverige finns stora tillgångar på halm som skulle kunna utnyttjas som bränsle för bl.a. uppvärmning vid behov. Den mängd halm som kan utnyttjas som bränsle uppskattas till en miljon ton eller ca 4 TWh, men för närvarande används endast en bråkdel av denna kvantitet [13]. Halm används framförallt i mindre anläggningar på gårdsnivå till mellanstora värmeverk. Halm har dock potential att användas i mix med träbränsle i större anläggningar. Det finns flera exempel på väl fungerande lönsamma

halmanläggningar i det mellanskaliga segmentet. Tekniken för halm från pressning till slutanvändning, är idag väl utvecklad. Pressarna har hög kapacitet och balarna en hög densitet. Att transportera halm är mer energieffektivt än transport av fuktig skogsflis. En lastbil med släp kan ta 42 balar vilket motsvarar 25 ton halm eller ca 100 MWh (2).



Figur 2. Effektiv transport av halm.

Tidigare studier visar att bränslemixar av halm och energived fungerar bra att ta fram på terminal, externt alt. vid värmeverket [3]. Förbränningstester med halmmixar hos Borås Energi som gjordes i samarbete med ett Värmeforskningsprojekt visar att det fungerar bra att elda halmmixar (motsvarande 20 vikts-% inblandning) i befintliga biopannor. Inmatningen kan dock påverkas om halmen är för grovt riven [14]. Inom Värmeforskningsprojektet var målsättningen även att beskriva hur alkalirelaterade driftsproblem påverkas när en mix av halm, energivedflis och ”nya” additiv tillförs vid rosterförbränning i en 65 MW ångpanna, samt att beskriva de bakomliggande mekanismerna hur olika halm/trä/additiv- blandningar påverkar korrosion/beläggning/slagning. Att blanda in halm i en befintlig råvarumix kan öka risken för dessa problem då halm innehåller högre halter av K och Cl. Resultatet från projektet visade att inblandning av additiv har positiva effekter och minskar riskerna vid användning av halm [14]. Eftersom halm är en restprodukt och tillgången finns redan idag så är halmen ett strategiskt viktigt område inför en snabb ökad efterfrågan på bioenergi och i dagsläget en underskattad råvara.

### 2.1.2 Salix

Salix är det latinska namnet för sälg, pil och vide. Salix är snabbväxande och odlas som skottskog på åkermark. Som många grödor på åkermark kräver salix skötsel och gödning för att ge en bra avkastning. En salixodling är skördemogen efter tre till fem år från senaste skörd. Det vanligaste skördesystemet idag är direktflisande skörd. Andra skördesystem som tillämpas i mindre skala är skörd av billets, helskottsskörd och rundbalspressning. Salixodlingarna har minskat de senaste åren p.g.a. dålig efterfrågan på marknaden och idag odlas det salix på ca 9000 hektar i Sverige.

I Sverige finns det idag en god kunskap kring produktion och användning av salix. Inom växtförädling är vi världsledande och svenska sorter används på flera håll runt om i Europa. Genom växtförädling finns det tillgång till toleranta och resistent salixsorter

med hög biomassaproduktion. I Sverige är nyplanteringen av salix idag obefintlig men internationellt görs satsningar på flera håll, framförallt i Östeuropa.



Figur 3. Salixodling.

Erfarenheterna kring slamgödsling av energiskog är goda och tillämpas över hela södra Sverige. Det vanligaste användningsområdet för salix idag är biomassaproduktion för energiändamål. Exempel på andra användningsområden är odling för jakt och vilt, naturvård eller snökäppar. Salix kan användas både i småskaliga värmeanläggningar (närvärme, gårdsanläggning) och i storskaliga värmeverk. Den huvudsakliga användningen idag är i bränslemix med andra biobränslen i större kraft- eller värmeverk som använder fuktiga biobränslen.

Salix bränsleegenskaper är relativt lika egenskaperna hos träbränslen från skogen (tabell 2). Den stora skillnaden är att salix är ett snabbväxande trädslag som skördas regelbundet vilket innebär att salix består av klena träd som ger en förhållandevis hög barkandel. Eftersom de kemiska parametrarna är koncentrerade till barken, ökar de askbildande ämnena samt näringsämnen som kväve. Ur bränslesynpunkt är därför en grövre salix att föredra. I jämförelse med grot har salix likartad halt av kväve, svavel och klor samt askbildande ämnena som kalium, (K), och kalcium (Ca). Karakteristiskt för salix är en låg kiselhalt, Si. I jämförelse med träbränslen har Salix högre kadmiumhalt (Cd). Detta beror på att Salix har stor förmåga att ta upp kadmium. Salix har högt energiinnehåll (5,1 MWh/ton ts) [31] per viktenhet men lägre energivärde per volymenhet än träflis.

Tabell 2. Bränsledata för salix i jämförelse med träbränsle och grot.

% torrsubstans	Färsk nyskördad salix	Träbränsle (stamved)*	Grot*
Askhalt	1,2-1,7	0,5-1	1,3-4,7
Kol, C	50	50	50
Väte, H	6	6	6
Syre, O	44	44	41
Svavel, S	0,02-0,03	0,01	0,04
Kväve, N	0,2-0,4	0,06	0,4
Klor, Cl	<0,01	<0,01	0,01
Kisel, Si	0,007-0,012	0,07	0,3
Kalium, K	0,15-0,18	0,05	0,20
Kalcium, Ca	0,3-0,5	0,10	0,5
Magnesium, Mg	0,038	0,01	
Natrium, Na	0,004	0,001	
Aluminium, Al	0,003	0,002	
Fosfor, P	0,09	0,005	0,05
Effektiva Värmevärdet MJ/kg ts	18,4	19,2	19,2

\*Hämtat från bränslehandboken [32].

## 2.2 Avloppsslam

I ett långsiktigt hållbart jordbruk krävs det att man återför den näring till åkermarken som varje år förs bort med skörden. I nuläget är större delen av näringsflödet linjärt, dvs näringen som tillförs åkermarken härstammar från fossilberoende handelsgödsel. Näringen som finns i maten och som konsumeras hamnar till stor del i avloppsslammet i ett kommunalt reningsverk.

I reningsverkets omformas en stor del växttillgängligt kväve i avloppet till luftkväve och förloras från kretsloppet. Likaså, om avloppsslammet läggs på deponi (eller förbränns och askan läggs på deponi) så uppstår inte något kretslopp av näring. I framtiden kommer det att krävas ett cirkulärt flöde av näringsämnen vilket innebär att näringen i de organiska restprodukter som uppstår i samhället, främst matavfall och avloppsvatten, måste återföras till åkermarken på ett eller annat sätt. Under senare år har cirka 25 procent av det slam som produceras på avloppsreningsverk använts för gödning på jordbruksmark [15].

Sammansättningen av slam från avloppsreningsverk beror på vilka verksamheter som finns anslutet till reningsverket och utformningen på avloppsvattenreningen. Ett avloppsreningsverk har som funktion att bryta ned organiskt lättnedbrytbart material, ta bort partiklar, avdöda mikroorganismer, fälla ut fosfor och avlägsna kväve för att dessa näringsämnen inte ska orsaka övergödning i recipienten. Ett avloppsreningsverk kan inte separera ut tungmetaller som kommer in tillsammans med det inkommande vattnet, de flesta metaller sitter ofta fast på partiklar när de anländer till reningsverket och följer därför med ut med slamfasen eller med det utgående vattnet. Sammansättningen i slam från avloppsreningsverk beror därmed på vilka verksamheter och flöden som finns anslutna, såsom industrier, biltvättar, lakvatten från deponi, dagvatten etc.

Nästan allt slam behandlas och stabiliseras innan användning. Den vanligaste metoden för stabilisering av slam på de större avloppsreningsverken är rötning, men slam kan också vara stabiliserat genom kalkning, kompostering, vassbäddar, torkbäddar och aerob stabilisering. En del avloppsslam produceras på REVAQ-certifierade avloppsreningsverk vilket innebär att deras arbete med slamprocessen är tredjepartsgranskat för att säkerställa att de följer speciella certifieringsregler framtagna av Svenskt Vatten i samverkan med LRF, Lantmännen och Svensk Dagligvaruhandel och i dialog med Naturvårdsverket.

Utöver tungmetaller så innehåller även slam en del svårnedbrytbara organiska föreningar och läkemedelsrester. IVL Svenska Miljöinstitutet har i samarbete med Hushållningssällskapet nyligen studerat om avloppsslam som lagts på jordbruksmark innehåller läkemedelsrester som sprids i miljön [16]. Resultatet visade att det slam som studerades innehöll 15 av 24 undersökta läkemedel och i koncentrationer från 1.9 till 1043 ng/g torrsvikt. Däremot uppvisade ingen av markvattenproverna detekterbara halter av de undersökta läkemedlen. De jordarna som behandlats med slam uppvisade endast spår av 4 av de 24 studerade läkemedlen i koncentrationer från 0.4 till 4.9 ng/g torrsvikt. Resultatet av studien tyder på att de läkemedel som studerats fastläggs i jord för att med tiden brytas ned på plats. För att säkerställa resultatet av studien krävs ytterligare kompletterande tester i form av representativa lakningstester samt tester av nedbrytning av läkemedlen i jord.

## 2.2.1 Spridning på åkermark

Enligt lagen får slam spridas i relation till växternas näringsbehov och på ett sätt så att man inte försämrar jorden eller grundvattnet. Slammet ska vara behandlat eller myllas ner inom ett dygn för att minimera smittrisker. Slam får inte spridas på betesmark, vallar för bete eller skörd inom 10 månader, eller där man odlar bär, potatis, rotfrukter, grönsaker eller frukt.

Det finns också fastställda gränsvärden för metaller, dels ett högsta innehåll i slammet och för totalt tillförd mängd och dels för innehållet i marken (Naturvårdsverket SNFS 1994:2). Tabell 3 visar gränsvärden för halten metaller i åkermark vid användning av avloppsslam och tabell 4 gränsvärden för den årliga mängd metaller som högst får tillföras åkermark vid användning av avloppsslam.

Tabell 3. Gränsvärden enligt 8 och 10 §§ för halten metaller i åkermark vid användning av avloppsslam Metall mg/kg torrsubstans i jord.

Metaller	mg/kg torrsubstans i jord
Bly	40
Kadmium	0,4
Koppar	40
Krom	60
Kvicksilver	0,3
Nickel	30
Zink*	100

\*Åkermarkens zinkhalt får uppgå till 150 mg/kg torrsubstans jord i Jämtlands, Stockholms, Södermanlands, Uppsala, Västernorrlands och Västmanlands län. **SNFS 1998:4**

Tabell 4. Gränsvärden enligt 9 § för den årliga mängd metaller som högst får tillföras åkermark vid användning av avloppsslam. Gränsvärdena avser genomsnitt räknat för en sjuårsperiod.

Metallmängderna anges i gram per hektar och år.

Metaller	Gram per hektar och år
Bly	25
Kadmium	0,75
Koppar*	300
Krom	40
Kvicksilver	1,5
Nickel	25
Zink	600

\*För koppar kan större mängder godtas om det kan visas att den aktuella åkermarken där avloppsslam skall spridas behöver koppartillskott.

Enligt P-AI klass I-II får det per spridningstillfälle maximalt tillföras 245 kg P och vid P-AI klass III-V maximalt 154 kg P från organiska gödselmedel. För kväve finns det en gräns på 150 kg N per spridningstillfälle. Under en femårsperiod får det inte gödslas med större mängd per år, än vad som motsvarar ett genomsnittet av 22 kg P per hektar på hela spridningsarealen. Detta innebär att kvantiteten organiska gödselmedel kan överskrida 22 kg P på en del av gårdens spridningsareal så länge det i medeltal blir högst 22 kg P per hektar och år under en femårsperiod.

## 2.3 Aska

År 2012 skattas uppkomsten av askor till cirka 1 460 000 ton askor räknat i torrsvikt [17]. De största mängderna askor (981 600 ton) genererades vid förbränning av ”Fasta avfallsbränslen” följt av ”Fastabiobränslen”(255 300 ton). Askmängden som genereras vid förbränning står alltså för nästan 85 procent av den totala askproduktionen. Bottenaska är den typ av aska som dominerar med cirka två tredjedelar av den totala mängden. Av den totala mängden återfördes ca 3 % till skog och mark och 2 % användes till jordförbättringsmedel. Största andelen, 68 % användes som konstruktionsmaterial på deponier.

Återföring av askan till åkermark är ett naturligt sätt att tillgodose en del av behovet av näringsämnen efter bortförel och förbränning av energigrödor. Idag är det framförallt halmaska som sprids på åkermark. Halmaska är ett kaliumgödselmedel med en viss fosfor- och kalkverkan. Svårigheten med aska är att näringsämnen är mer koncentrerade i jämförelse med slam vilket gör att det är relativt små mängder som kan spridas. Då det är rent tekniskt och kostnadsmässigt svårt att sprida små mängder aska i fast form är alternativet att askan istället sprids i större mängd tex vart femte år.

Spridning av aska från biobränsle odlad på åkermark är inte reglerat i miljölagstiftningen. Det är verksamhetsutövaren som är ansvarig för att askan inte innehåller några farliga ämnen enligt hänsynsreglerna i Miljöbalken. Spridning av gödsel och slam på åkermark är dock reglerat. I avsaknad av särskilda rekommendationer för återföring av aska från bioenergiogrödor odlade på åkermark kan som utgångspunkt de gränsvärden för metaller och fosfor som finns för gödsel och avloppsslam användas (tabell 4).

Liksom för slam kan både mängd fosfor och tungmetaller i aska begränsa hur mycket som får spridas på åkermark. Aska kan framförallt innehålla höga halter av tungmetaller, speciellt om flygaskan skulle användas vid spridning.

## 3 Energigrödor, slam och aska i kretsloppfallstudie Borås

I studien har kostnadskalkyler upprättats för fyra olika kretslopp. Ett kretslopp där salixodlingar gödslas med slam från avloppsverket i Borås och där grödan skördas och levereras som bränsle till kraftvärmepannan i Borås. I det andra kretsloppet har kostnadskalkyler beräknats för en stråbränslekedja där rörlensodlingar gödslas med slam från avloppsverket i Borås och där grödan skördas och levereras som bränsle till kraftvärmepannan. I det tredje och fjärde kretsloppet har slam förbehandlats genom torkning och granulering för att därefter samförbrännas med träbränsle och halm i en fluidbädd panna för att därefter återvinna askan ur sandbädden. Efter förbränning har det antagits att askan spridits i salix- och rörlensodlingar.

### 3.1 Borås Energi & Miljö

Borås Energi och Miljö AB (BEM) ägs av Borås stad och är en stor användare av biobränsle. Bolaget genomför nu viktiga investeringar i ett nytt kraftvärmeverk samt ett nytt avloppsreningsverk. Syftet är att trygga stadens framtida infrastruktur och förbereda för de krav som kommer att ställas på energisystemet framöver. Målsättningar med projektet är att garantera och säkra fjärrvärmeleveranser, kapacitet att uppnå lagstadgade miljögränsvärden för avloppsvatten, förnybar elproduktion motsvarande elanvändning för

ca 3 000 normalhushåll, uppfylla Borås Stads miljömål för förnybar el samt ökad kapacitet för avloppsrening i framtiden. Den nya anläggningen planeras vara i drift 2019. Borås stad ser gärna lokala bränslen som en del av bränsleförsörjningen och lantbruket kan få en betydande roll för projektet om det finns samordningsvinster som kan leda till lönsamhet för alla parter.

Kraftvärmeverket som kommer att ha en effekt på 120 MW ska förses med biobränsle varav målet på sikt är att ca 10 % ska komma från lokal produktion i form av energigrödor och restprodukter från lantbruket. Kommunens mål med hela projektet är att råvaror och restprodukter i allt större omfattning ska ingå i ett kretslopp. Borås Energi & Miljö har i tidigare projekt testat stråbränsle i mix med träbränsle [14] och ser större potential i grödor som rörflen och halm än salix, i området runt Borås. Största anledningen är lantbrukets ovilja att odla salix samt önskemål om en råvara som ger en årlig leverans.

### 3.1.1 Förbränningsanläggningen

Den nya förbränningsanläggningen vid BEM kommer att levereras av Valmet och inkluderar en 120 MW biobränsleeldad HYBEX-panna med fluidiserande bädd (BFB) teknik. Behovet av bränsle per år är ca 450 GWh. Bränslet som ska användas kommer att vara olika biomassor, främst skogsavfall, bark och flis.

Vid användning av salix som bränsle krävs inga speciella åtgärder kring hantering då bränslet levereras i flisad form och direkt kan mixas med övriga träbränslen. Vid användning av rörflen och halm behöver värmeverket tillgång till en sönderdelningsutrustning. Ett alternativ är att använda en stor kross där snittad halm i bal krossas tillsammans med träbränsleråvaror, vilket det finns erfarenheter från tidigare studier [3]. Ett alternativ är en mindre långsamtgående utrustning med balbana som kontinuerligt matar in halm i pannan tillsammans med träbränslet, ett alternativ som gör det möjligt att styra mängden halm. Den här typen av utrustning är dock något mer känslig för kvaliteten på balarna såsom fuktiga partier.

### 3.1.2 Slam från avloppsreningsverket i Borås

Slammet från avloppsreningsverket i Borås avvattnas idag med hjälp av centrifugering och blandas (ca 15 %) med externslam från övriga små reningsverk och rötas under ca 25 dygn. Tabell 5 visar årsmedelvärden för 2015 av de ämnen som finns i slammet från Gässlösa reningsverk.

Den framtida avvattnade rötresten från rötningsanläggningen i den nya anläggningen kommer att vara av relativt likvärdig kvalitet som idag. Den planerade rötningsprocessen blir den samma som på Gässlösa (termofil rötning). Om kraven på uppehållstid ändras (från 2h till 6h) i framtiden för att uppnå hygienisering kan detta eventuellt ändra slammets kvalitet något. Avvattning skall ske till minst 28 % TS. Anläggningen kommer dock att ha en bättre reningsgrad vilket antagligen innebär ökade metaller mm i slammet.

Merparten av slammet i Borås går idag till förbränning i avfallspannan och en viss del går till anläggningsjord. Fördelningen av slammet 2015 var ungefär 60% till förbränning och 40% till anläggningsjord. På sikt är dock målet att utnyttja slammet som den resurs det faktiskt är och inte bara som en restprodukt. Mängd avvattnat slam som producerades i Borås 2015 var ca 2600 ton TS.

Tabell 5. Årsmedelvärden för 2015 av de ämnen som finns i slammet från Gässlösa reningsverk i Borås.

Parametrar	Enhet	Årsmedelvärde	Gränsvärde g/ha och år under en 7- årsperiod
Hg	mg /kg TS	0,59	1,5
Cd	mg /kg TS	0,60	0,75
Pb	mg /kg TS	14	25
Cr	mg /kg TS	21	40
Ni	mg /kg TS	10	25
Cu	mg /kg TS	263	300
Ag	mg /kg TS	1,5	
Zn	mg /kg TS	513	600
Nonylfenol	mg /kg TS	7,34	
PAH	mg /kg TS	0,77	
PCB	mg /kg TS	0,032	
Sb	mg /kg TS	4,8	
Sn	mg /kg TS	17	
S	mg /kg TS		
K	<b>g /kg TS</b>	2	
Ca	<b>g /kg TS</b>	19	
Mg	<b>g /kg TS</b>	2	
N-tot	<b>g/ kg TS</b>	43	
NH4-N	<b>g/ kg TS</b>	14	
P-tot	<b>g/ kg TS</b>	29	
TS	%	21	
Glödrest	% av TS	36	
pH		8	
Bi	mg /kg TS	6,0	

### 3.1.3 Samförbränning av slam och biobränsle och separering av aska

Det råder idag delade meningar kring slamspridning på åkermark. Invändningarna mot att använda slam i jordbruket handlar om slammets innehåll av föroreningar som tungmetaller, hormonstörande substanser, smittämnen, resistenta bakterier, nanoprodukter mm. Det har gjort att flera branschföretag och enskilda livsmedelsföretag inte accepterar att slam tillförs mark som används för odling av livsmedelsråvara.

Naturskyddsföreningen liksom KRAV avvisar all användning av kommunalt avloppsslam i lantbruket.

Genom tidigare forskning i pilotskala (vid Umeå och Luleå universitet, som bygger på 15 års erfarenhet av askkemiska experimentella studier, modellering och teoriutveckling, har det visats att man genom att torka och granulera slammet och samelda slamgranulerna med typiska biobränslen i en bubblande fluidiserad bädd, kan återvinna mer än 80% av det kalium och fosfor i form av biotillgängliga fosfater som återfinns i slammet genom att plocka ut askgranulen efter förbränning. Detta samtidigt som smittoämnen och läkemedelsrester totalt kan elimineras och toxiska spårämnen kan reduceras till nivåer under de krav som ställs för återföring av slam till åkerjord [18, 5, 8]. Detta innebär att askgranulen kan användas som gödning på all typ av åkermark. Eftersom näringsämnena dessutom blir väldigt koncentrerade i jämförelse med ren slam, så kan askgranulen transporteras en längre sträcka.



Lakteter och odlingsförsök visar att mängden växttillgäng fosfor är högre i bildade askpelleter/granuler efter förbränning än vad det ingående slammet visar. Resultaten visar därmed på möjligheten att in-situ i förbränningsanläggningen/bädden extrahera P-rika askgranuler som förhoppningsvis kan förädlas med de kväveföreningar som återvinns från tork-/granuleringssteget, integrerat med själva förbränningsanläggningen. Tidigare forskning visar att signifikanta andelar av det kväve som återfinns i slammet ev. kan återvinnas [19]. Det vill säga att på ett effektivt sätt använda värdefulla restströmmar från vatten och avfall som till stor del genereras inom kommunal och industriell verksamhet och återvinna såväl energi som viktiga näringsämnen i förbränningsanläggningar som ofta ägs av kommunala/industriella/energi aktörer och på så sätt sluta kretsloppet av näringsämnen mellan stad/industri och land (åker och skog).

Ett pågående Vinnova Bioinnovationsprojekt ”Ny teknik för hållbar och effektiv återvinning av näringsämnen från avloppsslam genom förbränning” syftar till att demonstrera ny hållbar teknik som möjliggör separation av fosfor från kommunalt avloppsslam samtidigt som innehållet av oönskade ämnen i fosfor-produkten minskas. Deltagare i projektet är Sandviken Energi AB, Andritz, Umeå universitet och Luleå tekniska universitet. Projektet bygger på tidigare forskningsresultat, se ovan. Projektmålet är att tekniskt verifiera optimala egenskaper för askgranulen samt hur denna skall avlägsnas från fluidbädden. En konceptuell design av ett tork- och granuleringsystem och askseparationssystem (i fluidbädden) samt en kostnadsbedömning av konceptet med utgångspunkt i Sandviken Energis anläggningar utförs också inom projektet.

### **3.1.4 Behov av energigrödor, restprodukter och åkerareal för slam och askspridning**

Det finns idag få befintliga odlingar av energigrödor runt Borås. 2015 fanns det ca 43 ha energiskog i Sjuhäradsområdet och troligen knappt 20 hektar rörflen inom ca 12 mils radie från Borås (SJV statistik 2014). Tillgången på halm är relativt god och potentialen bedöms inledningsvis till ca 5000 ton halm från en större halmleverantör i området, vilket motsvarar ca 1250 MWh om halm tas från ett område runt 10 mil från Borås. Med fler leverantörer så bedöms mängden kunna fördubblas.

För att tillgodose ett behov på 10 % av Borås bränslebehov krävs stora arealer av energigrödor och stora mängder halm. 10 % av bränslebehovet i Borås motsvarar ca 45 GWh vilket ca 1400 hektar salix eller 1900 ha rörflen kan generera.

Totalt produceras ca 2600 ton TS slam i Borås vilket motsvarar ca 12000 ton slam med en TS-halt på 21 %. Vid en slamspridning på 5 ton per år och hektar (se kapitel 4.2, sid 19) motsvarar det ett behov av 2400 hektar energiodlingar.

Vid en inblandning av 25 % slam vid samförbränning med biomassa, så åtgår 11 ton slam per producerad ton askgranul. Vid spridning av 3 ton askgranul (se kapitel 4.2, sid 19) per hektar så motsvarar det utnyttjande av ca 30 ton slam under en femårs period vilket motsvarar 6 ton slam per år och ett behov av en spridningsareal på 1500 hektar.

## 4 Kostnadsanalyser

### 4.1 Metod

För att studera det ekonomiska värdet av slam och aska i salix och rörflen har två metoder använts. I den ena metoden fastställs intäkter och kostnader för att sprida slam i grödor med hjälp av Greppa näringens stallgödselkalkyl. Detta kalkylverktyg finns beskrivet på Greppa näringen hemsida (Greppa.nu).

I den andra metoden görs grödberäkningar på salix och rörflen, med och utan slam- och askspridning. Alternativvärde på marken har fastställts genom att visa på lönsamheten för andra grödor än salix och rörflen. I och med att avkastningsnivåerna skiftar mellan olika marker har beräkningar gjorts för olika avkastningsnivåer. På detta sätt blir även beräkningarna tillämpbara för olika områden i Sverige. Område 1 i dessa beräkningar avser den ca fjärdedel av Sverige med högst skördenivåer och område 4 avser den ca fjärdedel av Sverige med lägst skördenivåer. Som underlag för beräkningarna har framförallt indata och kalkyler använts som är publicerade på Jordbruksverkets hemsida och framtagna av Håkan Rosenqvist [20]. Data kring slam är hämtat från analyser hos Borås Energi & Miljö.

### 4.2 Indata till kalkylerna

I kalkylerna ingår alla kostnader utom markkostnad. Markkostnaden beräknas separat genom att räkna fram ett alternativvärde för mark, som därefter kan läggas in i odlingskalkylerna. Gårdsstöd eller andra miljöstöd ingår inte eftersom detta inte påverkar lönsamhetsförhållandet mellan de olika grödorna när lönsamheten räknas som kronor per hektar. Däremot kan markkostnaden påverka produktionskostnaden per ton eller per MWh för olika grödor på grund av olika höga skördenivåer. Kostnad för arbete, ränta, företagsgemensamma kostnader som till exempel bokföring, telefon mm samt hela maskinkostnaderna inklusive avskrivning ingår i kalkylerna.

#### Salixkalkyler

Det har upprättats tre salixkalkyler för varje skördenivå (produktionsområde). I kalkylen utan slam och aska har handelsgödsel (NPK) använts som gödning på våren efter skörd. I kalkylen med slam beräknas 25 ton slam och 3 ton aska användas som gödning per hektar i genomsnitt vart femte år.

I kalkylen med 25 ton slam gödslas det inte med kväve eller fosfor utöver slammet då fosformängden i slamgivan är betydligt högre än bortförseln. Däremot finns det med en kostnad för kaliumgödsling. I och med att kaliuminnehållet i slam endast antas till 0,4 kg per ton våt slam och slamgivan antas till 25 ton, blir det endast 10 kg K per hektar under en femårsperiod när det gödslas med slam. I beräkningarna är kaliumgivan minskad med 10 kg per omdrev, jämfört med kaliumgivan i kalkylen med handelsgödsel.

I salixkalkylen med aska gödslas det på samma sätt med kväve som i salixkalkylen med handelsgödsel då askgranulen ej innehåller något kväve. Däremot gödslas det inte med fosfor utöver det som finns i askan då tillförseln är högre än bortförseln under en femårsperiod. Tre ton aska antas innehålla ca 50 kg kalium, vilket är mindre än bortförseln i salix under en femårsperiod. I beräkningarna har kaliumgödslingen från handelsgödsel reducerats med 10 kg kalium per år.

### **Rörflenskalkyler**

Liksom för salix har det upprättats kalkyler för rörflen för varje skördeområde för slam och aska och en kalkyl med enbart handelsgödsel. Skörden i rörflen antas vara densamma i alla tre kalkylerna för varje produktionsområde.

I kalkylerna med 25 ton slam är det inte räknat med någon kvävegödsling det år som slam sprids, d.v.s. vart femte år. Under fyra år av fem antas att gödsling med kväve kommer från handelsgödsel. Kvävegivan under dessa fyra år är minskad med 7 kg jämfört med kalkylen med handelsgödsel. Anledningen till minskningen med 7 kg kväve per år är efterverkan av kväve i slam. I rörflenkalkylen med 25 ton slam tillkommer inget mer fosfor än det som finns i slammet. Med 25 ton våt slam och ett kaliuminnehåll på 0,4 kg per ton blir det endast 10 kg kalium per spridningstillfälle. I kalkylerna har det använt samma kaliumgiva som med handelsgödsel med undantag för vart femte år då kaliumgivan minskas med 10 kg per hektar.

I rörflenkalkylen där aska används som gödning tillförs kväve i samma mängd som i kalkylen med enbart handelsgödsel. Fosfor i askan täcker mer än väl behovet i rörflen medan kalium behöver kompletteras via handelsgödsel. Kaliumgödslingen från handelsgödsel har reducerats med 10 kg kalium spridningsåret. Lagringskostnaden för rörflen är beroende av leverans och lagringssituation. I beräkningarna har det antagits att rörflen transporteras direkt från fält till värmeverk utan långtidslagring.

### **Alternativvärde på mark**

Alternativvärdet på mark räknas fram för att se lönsamheten av andra grödor än salix och rörflen. Om alternativvärdet på mark läggs in som en kostnad i salix- eller rörflenkalkylen är salix och rörflen lika lönsamt som de grödor som ligger till grund för alternativvärdet när dessa uppvisar ett nollresultat i grödkalkylerna.

Alternativvärde på mark har beräknats genom att ta medeltalet av resultatet från fyra kalkyler med höstvetete med reducerad jordbearbetning, höstvetete med plöjning, vårkorn med plöjning samt höstraps med reducerad jordbearbetning. Prisnivån i kalkylerna avser 2015 års prisnivå. Resultatet från dessa fyra kalkyler ingår i alternativvärdet på mark med 25 procent vardera. Om träda är ett lönsammare alternativ än dessa fyra odlingskalkyler, utgör träda alternativvärde för marken.

### **Mängd att sprida och näringsämnen i slam och aska**

Både mängd fosfor, kväve och tungmetaller i slam, kan begränsa hur mycket slam som får spridas på åkermark. I kalkylerna har det antagits att det slam som sprids på åkermark inte har så pass höga tungmetallnivåer att det utgör någon begränsning om givan antas till 25 ton slam under en femårsperiod. Med det kväveinnehåll och fosforinnehåll i slam som redovisas i tabell 5 kommer fosfor att utgöra en större begränsning av slammängd per hektar än vad kvävet kommer att göra. För askgranulat är kväveinnehållet mycket lågt och även här utgör fosfor den begränsande faktorn för hur stor giva som får spridas per hektar.

I tabell 6 nedan visas de mängder fosfor, kväve och kalium som kan spridas om hänsyn tas till ett fosfortak på 154 kg per hektar och tillfälle, vid användning av slam från Borås. I tabell 7 redovisas data för näringsvärden som använts för beräkningar av värdet av slam och aska i Greppa näringens stallgödselkalkyl.

Näringsstillförseln från aska baseras på en bränslmix bestående av 25 % slam, 10 % halm och 65 % grot (se data bilaga 1) samt att 85% av ingående P och K innehåll i bränslmixen återfinns i den producerade askgranulen. Det senare antagandet bygger på resultat från tidigare förbränningsstudier [5,8].

Tabell 6. Näringstillförsel i kg växtnäringsämnen från 25 ton slam med ts på halt på 21 % och 3 ton aska med 95 % ts halt.

	25 ton slam	3 ton aska
Kväve (totalkväve), kg	225	0
Kväve (varav ammoniumkväve), kg	72	0
Fosfor, kg	152	153
Kalium, kg	10	54

Tabell 7. Data för näringsvärden som använts för beräkningar av värdet av slam och aska i Greppa näringens stallgödselkalkyl.

Gödselslag	Slam	Askgranulat
<u>Växtnäring i produktion</u>		
TS %	21	95
Ton N (kg/ton ts %)	42	0
NH <sub>4</sub> (kg/ton ts)	14	0
P (kg/ton ts)	29	51
P verkan (%)	100	100
K (kg/ton ts)	2	18
K verkan (%)	100	100
N pris (kr/kg)	7	7
P pris (kr/kg)	18	18
K pris (kr/kg)	9	9
<u>Transportkostnader</u>		
Avstånd lastbilstransport (km)	50	50
Transportkostnad med lastbil (kr/ton km)	1	1,8
Avstånd transport med traktor (km)	0	0
Transportkostnad med traktor (kr/ton km)	0	0
<u>Gemensamma förutsättningar</u>		
Jordart	L1	Kk
	Lättlera	Lättlera
Värdet av normal spannmålsskörd (kr/ha)	8000	8000
Värdet av normal vallskörd (kr/ha)	7000	7000
Gödselgiva (ton/ha)	25	2
<u>Spridning</u>		
Gröda att sprida på	Vall	Vall
Tidpunkt för spridning	Fastgödselspridare	Handelsgödselspridare
Spridartyp	Vårbruk	Vårbruk
Spridarteknik	1-stegs tallrik	Centrifugalspridare
Nedbrukning	Ingen	Ingen
Kostnad (kr/ton)	40	80
Arbetsbredd (m)	12	24
Lassvikt (ton)	12	3
Ringtryck (kPa)	2	2
Antal axlar	2	2

### Pris på bränsle

Priset på salixflis fritt levererat Borås värmeverk med kontrakt antas vara runt 180 kr per MWh, vilket motsvarar ca 918 kr per ton ts. Rörflen antas ha ett något högre pris p.g.a. hög torrhalt, 190 kr per MWh fritt levererat värmeverket i balform vilket motsvarar ett pris på 930 kr per ton ts. Kostnader för hantering och sönderdelning vid värmeverket bedöms till 39 kr/MWh eller 190 kr per ton ts [3] (tabell 8).

Tabell 8. Kostnader för hantering och sönderdelning på värmeverk [3].

Kostnader för sönderdelning	Kr per ton ts
Lastare för avlastning bal	9
Lastare vid sönderdelning	29
Borttagning snöre	40
Sönderdelning	112
Summa kostnader	190

### Pris på gödning

Gödselpriserna har stor inverkan på lönsamheten att sprida slam och aska. Priserna på kväve och fosfor var relativt låga under hösten 2016, jämfört med hur priserna varit under senare år. Kalium har dock inte haft denna prisnedgång. Priser nedan är från Yara på Borgeby fältdagar i slutet på juni 2016. Dessa priser inkluderar ej rabatter, transportkostnader, lagringskostnader eller återbärningar och får därmed ses som ungefärliga.

N27 + Mg                      1,86 kr per kg = 6,89 kr per kg N, använder 7 kr per kg N i kalkyler

P20 Amfert                      3,53 kr per kg = 17,65 kr per kg P, använder 18 kr per kg P i kalkyler

NK 20-15+3S                      2,71 kr per kg = 8,83 kr per kg K använder 9 kr per kg K i kalkyler

### Kostnader för slam- och askhantering

Transportkostnaden för slam från reningsverk till fält bedöms till 10 kr per ton och mil, vilket motsvarar 50 kr med 5 mils transport och 100 kr per ton med 10 mils transport. Därtill tillkommer lastnings och spridningskostnad på fält till en kostnad av 40 kr per ton slam. Kostnaden i Borås för att bränna slam i avfallspanna är ca 175 kr per ton slam med 21 procent TS, vilket motsvarar ca 833 kr per ton TS. Hämtning och transport av aska till terminal för behandling i Borås kostar i normalfallet ca 154 kr per ton. Kostnaden för behandling av aska på terminal och spridning i skogen är 306 kr per ton inkl. transport på 10 mil vilket ger en total kostnad på 460 kr per ton aska. Om askan i stället sprids på åker minskar kostnaden till 260 kr per ton för tio mils transport samt spridning, vilket ger en total kostnad på 414 kr per ton. Dessa siffror är enbart kostnader och beaktar inte nyttan av askan i skogen eller på åkern. Deponeringskostnaden för aska är ca 600 kr per ton.

Raffinering av slam från avloppsreningsverk (kommunal/industriell) genom samförbränning med biobränsle med högt kalium- och kalciuminnehåll i askan kan ge en produkt i form av askgranuler med högt innehåll av växttillgängligt fosfor. Utnyttjande av den processen skulle kunna sänka kostnaderna för återföring av fosfor i avloppsslam till produktiv åker- och skogsmark genom att de mängder som hanteras minskas väsentligt. Ekonomiskt sett kan innovation/tekniken ge intäkter till kommunen/industrin från flera källor samtidigt. Minst nedanstående tre möjligheter skall inledningsvis vara realistiska:

- Intäkt som alternativ till handelsgödsel
- Intäkt av fjärrvärmeleverans /nyttjande som processånga (industrin)

- Intäkt för mottagning alternativt kvittblivning av råslam

Avgörande för totalekonomin är emellertid vilka kostnader som är förenade med tekniken. Resultat från tidigare utförda tekno-ekonomiska studier visar på att kostnaden för slamraffinering för en helt nyetablerad anläggning med en slambehandlingskapacitet av 8 000 ton TS/år i storlek bedöms leda till en kostnad för slamgranulerna motsvarande 6,3 kr/kg fosfor (utan hänsyn tagen till möjligheten att återvinna N) [21]. Vid en om- och tillbyggnation av en befintlig anläggning bedöms denna kostnad kunna sänkas betydligt. Uppskattningar visar att man vid en om- och tillbyggnation av befintlig anläggning skulle nå en break-even situation enbart genom att kommunens intäkt för mottagning alt. kvittblivning och extra fjärrvärmeleverans vid en slambehandlingskapacitet om några tusen ton TS/år, det vill säga utan intäkt från avyttring av askgranulen. I detta arbete har därför kostnaden för att producera askgranulen satts till 0 kr/kg fritt askfickan vid kraftvärmeverket.

### **Stöd till Salix och rörflen**

I det nuvarande Landsbygdsprogrammet finns det stöd till vallodling på 500 kr per hektar och år. Till salix finns det ett investeringsstöd på som normalt utgår med 5800 kr under planteringsåret. Inget av dessa två stöd är beaktade i grundkalkylerna men ingår i känslighetsanalysen. Stöd för stängsling eller kostnad för stängsling ingår inte i salixkalkylerna.

## **5 Resultat och diskussion**

### **5.1 Intäkter och kostnader för slam och aska**

I tabell 9 visas intäkter och kostnader för en slamgiva på 25 ton per hektar och spridningstillfälle under en femårsperiod. Som framgår av tabellen blir värdet ca 160 kr per ton slam om all växtnäringen ersätter handelsgödsel. För den här slamgivan är dock fosforgivan högre än den mängd handelsgödsel som skulle ha använts, vilket innebär att slammet inte har fullt ekonomiskt värde.

I tabell 10 visas intäkter och kostnader för en askgiva på 3 ton per hektar och spridningstillfälle under en femårsperiod. Som framgår av tabellen är kostnader för transport och spridning relativt små i förhållande till växtnäringsvärdet i askan p.g.a. den höga koncentration av fosfor. Det finns även betydligt mer kalium i aska där halm utgjort en del av bränslet, jämfört med slam, men i stort sett inte något kväve. Fosfor har dock mest ekonomisk betydelse p.g.a. ett högre kilopris även om gödslingsrekommendationen i kilo är högre per hektar för kalium (Jordbruksverket, 2016). Som framgår av tabellen är asktransporten dyrare per ton än slamtransporten p.g.a. att det levereras mindre kvantitet aska per spridningsplats, vilket innebär mer administration per ton aska som levereras.

Resultaten i tabell 9 och 10 grundar sig på att det är näring i handelsgödsel som ersätts. Fosforgivor på ca 150 kg fosfor per hektar är betydligt mer än vad rörflen och salix bortför under en 5 års period. Enligt Rosenqvist (2010) har salix en bortförsel på ca 0,8 kg P och 4 kg K per ton TS och bortförseln i rörflen är 3 kg P och 13 kg K per ton TS. Om det antas att 40 procent av fosfor har full ekonomiskt värde utifrån behov hos gröda, merskörd p.g.a. högre fosforklass och ett framtida minskat fosforbehov, sjunker slamvärdet till i stort sätt ett nollvärde.

Tabell 9. Kostnader, intäkter och värde per ton slam i kr per ton utifrån grundantaganden i tabell 7. Beräkningarna är gjorda i Greppa Näringens stallgödselkalkyl.

	Värde och kostnader kr/ton slam
<u>Intäkter</u>	
N	20,3
P	109,8
K	3,6
Kväveefterverkan	9,5
Bördighet	15
Summa intäkter	158,2
<u>Kostnader</u>	
Transportkostnad lastbil*	50
Spridning	40
Markpackning	6,6
Summa kostnader	96,6
Netto per ton	61,6

\*50 Km transport

Tabell 10. Kostnader, intäkter och värde per ton aska i kr per ton utifrån grundantaganden i tabell 7.

	Värde och kostnader kr/ton aska
<u>Intäkter</u>	
N	0
P	918
K	162
Kväveefterverkan	0
Bördighet	0
Summa intäkter	1080
<u>Kostnader</u>	
Transportkostnad lastbil*	90
Spridning	80
Markpackning	0
Summa kostnader	170
Netto per ton	910

### Kväve i aska

I huvudberäkningarna för aska antas det att askan inte innehåller något kväve. Vid ett antagande att det går att återvinna 50 procent av kvävet i form av NH<sub>4</sub> i slammet innan förbränning kan värdet på askan öka med ca 10 kr/ton, där slam utgör ca 25 procent av ts i bränslemixen.

### Kostnader och lönsamhet för de olika grödorna

Nedan visas produktionskostnad och lönsamhet för salix och rörflen för fyra områden med olika avkastningsnivåer, och där framförallt område 2 och 3 är aktuella för Boråsområdet (tabell 11-22). Resultaten redovisas utan och respektive med alternativvärde på marken, dvs lönsamheten för traditionella grödor beaktas. Alternativvärdet på mark ändras dock när lönsamheten i traditionell växtodling ändras, vilket ger ett mer osäkert resultat när beräkningarna används för att ta ställning till långsiktiga beslut.

Av tabell 11-22 framgår att salix har lägre produktionskostnad och en högre lönsamhet än rörflen för alla områden vid ett pris på 180 kr/MWh. Produktionskostnaden minskar när slam och aska ersätter handelsgödsel och lägst produktionskostnad per MWh uppvisar salix gödslad med slam. Rörflen visar ett negativt hektarresultat för alla gödslingsalternativ i områden 1 och 2, vid ett pris på 190 kr/MWh, oberoende av om alternativvärde på mark beaktas eller ej. I område 3 och 4 visar dock rörflen ett positivt resultat när slam eller aska används som gödning och när markkostnaden beaktas. I område 3 och 4 är alternativvärdet på mark negativt (tabell 18 och 21).

I tabell 23 visas ersättning i kronor per ton för slam och aska som behövs för att uppnå ett nollresultat, utan och respektive med beaktande av alternativvärde på marken. Som framgår av tabellen så finns det en betalningsförmåga för slam när salix uppvisar samma lönsamhet som alternativvärdet på mark i samtliga områden och för aska i alla områden utom område 1. För rörflen finns betalningsförmåga för slam och aska enbart för område 3 och 4 när alternativvärdet på mark beaktas.

För ett värmeverk som vill ha kontinuerlig leverans av energigrödor finns fördelar att kunna ta emot flera typer av energigrödor. Exempelvis kan rörflen som skördas på våren (mars-april, södra Sverige) kombinerat med halm som skördas på hösten (augusti-september) och salix som skördas på vintern (november-mars) komplettera varandra på ett bra sätt. Tidigare beräkningar som gjorts på halm som bränsle till värmeverket i Borås visar att kostnaden för halm inklusive fem mils transport fritt anläggning direkt från fält, dvs ej lagrat är 861 kr per ton ts vilket motsvarar 187 kr per MWh [3]. I den siffran ingår en relativt hög ersättningsnivå för halm i sträng (83 kr /MWh). Med en lägre ersättning hamnar kostnaden på ca 165 kr/MWh [3].

Tabell 11. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 1. Alternativvärde på mark ingår inte i beräkningarna.

Område 1	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	11,1	918	1410	791	155
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	11,1	918	2204	719	141
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	11,1	918	1813	755	148
Rörflen med handelsgödsel	7,4	931	-289	970	198
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	7,4	931	327	887	181
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	7,4	931	210	903	184

Tabell 12. Alternativvärde mark för område 1.

Alternativvärde mark, Område 1	Medelskörd Ton/ha, år	Pris kr/ton	Resultat kr/ha
H-vete, bröd	9,0	1350	2074
Korn	6,9	1140	-727
H-raps	4,0	3200	4826
Alternativvärde mark*			2062
Träda			-837

\* Hälften av veten är red. jordbearbetning och hälften är med plöjning. Medel 50% vete, 25% korn, 25% raps.



Tabell 13. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 1 där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna.

Område 1 inkl. alternativvärde på mark	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	11,1	918	-652	977	192
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	11,1	918	142	905	177
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	11,1	918	-249	940	184
Rörflen med handelsgödsel	7,4	931	-2351	1249	255
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	7,4	931	-1735	1166	238
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	7,4	931	-1852	1182	241

Tabell 14. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 2. Alternativvärde på mark ingår inte i beräkningarna.

Område 2	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	8,8	918	768	830	163
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	8,8	918	1412	757	148
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	8,8	918	1108	792	155
Rörflen med handelsgödsel	6,1	931	-532	1018	208
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	6,1	931	-7	932	190
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	6,1	931	-103	948	193

Tabell 15. Alternativvärde mark för område 2.

Alternativvärde mark, område 2	Medelskörd Ton/ha, år	Pris kr/ton	Resultat kr/ha
H-vete, bröd	7,5	1350	859
Korn	5,4	1140	-1814
H-raps	3,3	3200	3045
Alternativvärde mark*			<b>737</b>
Träda			-837

\* Hälften av veten är red. jordbearbetning och hälften är med pöjning. Medel 50% vete, 25% korn, 25% raps.

Tabell 16. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 2 där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna.

Område 2 inkl. alternativvärde på mark	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	8,8	918	31	914	179
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	8,8	918	675	841	165
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	8,8	918	371	876	172
Rörflen med handelsgödsel	6,1	931	-1269	1138	232
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	6,1	931	-744	1053	215
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	6,1	931	-840	1068	218

Tabell 17. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 3. Alternativvärde på mark ingår inte i beräkningarna.

Område 3	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	6,5	918	127	898	176
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	6,5	918	621	822	161
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	6,5	918	403	856	168
Rörflen med handelsgödsel	5,0	931	-758	1084	221
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	5,0	931	-317	995	203
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	5,0	931	-393	1010	206

Tabell 18. Alternativvärde mark för område 3.

Alternativvärde mark, område 3	Medelskörd Ton/ha, år	Pris kr/ton	Resultat kr/ha
H-vete, bröd	6,0	1350	-356
Korn	4,2	1140	-2685
H-raps	2,3	3200	500
Alternativvärde mark*			<b>-724</b>
Träda			-837

\* Hälften av veten är red. jordbearbetning och hälften är med pöjning. Medel 50% vete, 25% korn, 25% raps

Tabell 19. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 3 där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna.

Område 3 inkl. alternativvärde på mark	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	6,5	918	851	786	154
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	6,5	918	1345	710	139
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	6,5	918	1127	744	146
Rörflen med handelsgödsel	5,0	931	-34	938	191
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	5,0	931	407	849	173
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	5,0	931	331	864	176

Tabell 20. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 4. Alternativvärde på mark ingår inte i beräkningarna.

Område 4	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton ts	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	4,6	918	-385	1001	196
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	4,6	918	-12	921	181
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	4,6	918	-162	953	187
Rörflen med handelsgödsel	4,1	931	-931	1161	237
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	4,1	931	-556	1068	218
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	4,1	931	-617	1083	221

Tabell 21. Alternativvärde mark för område 4.

Alternativvärde mark, Område 4	Medelskörd Ton/ha, år	Pris kr/ton	Resultat kr/ha
H-vete, bröd	4,5	1350	-1570
Korn	3,0	1140	-3555
H-raps	1,5	3200	-1535
Alternativvärde mark*			-2058
Träda			-837

\* Hälften av veten är red. jordbearbetning och hälften är med pöjning. Medel 50% vete, 25% korn, 25% raps.

Tabell 22. Kostnad och lönsamhet för de olika grödorna med och utan slam och aska för produktionsområde 3 där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna.

Område 4 inkl. alternativvärde på mark	Medelskörd Ton ts/ha, år	Pris kr/ton ts	Resultat kr/ha	Kostnad kr/ton	Kostnad kr/MWh
Salix med handelsgödsel	4,6	918	452	820	161
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	4,6	918	825	739	145
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	4,6	918	675	772	151
Rörflen med handelsgödsel	4,1	931	-94	954	195
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	4,1	931	281	862	176
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	4,1	931	220	877	179

Tabell 23. Ersättning i kronor per ton för slam och aska som behövs för att uppnå ett nollresultat utan- resp. med beaktande av alternativvärde på marken. När det står ett minustecken framför beloppet betyder det att odlaren har utrymme att betala för att ta emot slam eller aska och när det är ett positivt tal behöver odlaren ha betalt för att ta emot slam eller aska.

	Utan alternativvärde mark	Med alternativvärde mark
<b>Område 1</b>		
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	-441	-28
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	-3021	415
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	-65	347
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	-349	3087
<b>Område 2</b>		
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	-282	-135
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	-1846	-618
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	1	149
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	172	1400
<b>Område 3</b>		
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	-124	-269
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	-671	-1878
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	63	-81
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	655	-551
<b>Område 4</b>		
Salix med slam 25 ton, 1 år av 5	2	-165
Salix med aska 3 ton, 1 år av 5	269	-1125
Rörflen med slam 25 ton, 1 år av 5	111	-56
Rörflen med aska 3 ton, 1 år av 5	1028	-367

Sammanfattningsvis visar resultatet att det ekonomiskt optimala fosfor kretsloppet som samtidigt ger energi från energigrödor är främst beroende av vilket område (jordens bördighet och alternativ värdet på marken) energigrödan odlas.

För en gröda som rörflen som har en svag lönsamhet p.g.a. av höga produktionskostnader så finns det ett värde i att använda slam och aska som gödning vid odling på mindre bördiga marker (område 3 och 4). Med 25 ton slam per hektar har slammet ett värde på 81 kr per ton i område 3, dvs det finns en betalningsförmåga för slammet om rörflen ska vara lika lönsamt som alternativvärdet på mark (lönsamheten för andra grödor). Vid användning av 3 ton aska per hektar har askan ett värde, en betalningsförmåga på 551 kr per ton för att rörflen skall vara lika lönsamt som alternativvärdet i område 3.

Salix är en gröda som lämpar sig ekonomiskt bättre att odla i fler områden i jämförelse till rörfilen. Vid odling av salix finns det ett värde från odlarsidan för att få slam spridit som gödning i alla områden. Liksom för rörfilen är slammet dock mest värt i område 3, där slammet har ett värde för odlaren på 269 kr per ton vid spridning av 25 ton, om salix skall vara lika lönsamt som alternativvärdet på mark. Motsvarande siffra för 3 ton aska är 1878 kr per ton. En förutsättning för ovanstående värde på slam och aska är att det går att sprida en relativt hög nivå per hektar, dvs att tungmetallerna inte begränsar slam- eller askgivans storlek.

I ovanstående beräkningar finns det även en osäkerhet kring fosfortillgängligheten i slam och aska. I beräkningarna har det antagits att fosforverkan är 100 % vid både användning av slam och aska som gödning. Tidigare studier tyder dock på att fosforverkan åtminstone på kort sikt är högre i aska i jämförelse till slam [18].

Slammets innehåll av humusämnen leder också till mullhaltshöjning. Denna höjning ger jorden förbättrad struktur, ökar dess vatten- och näringshållande förmåga liksom den biologiska aktiviteten. Sammantaget ökar bördigheten [33], men effekten är komplex. Hur stort det ekonomiska värdet är av ökad mullhalt är skiftande och beroende av ett antal faktorer som jordart, ursprunglig mullhalt samt vilka grödor som odlas. Med hjälp av Greppa Näringsens stallgödselkalkyl kan värdet för bördighet i slam bedömmas till storleksklass 15 kr/ton slam.

Hantering av slam och aska är även förenade med vissa kostnader. Att transportera slam 5 mil och sprida kostar 90 kr per ton, en kostnad som ökar till 140 kr per ton om transportsträckan utökas till 10 mil. Kostnaden i Borås för att förbränna slam i avfallspanna är ca 175 kr per ton slam, det finns därmed ett ekonomiskt värde för värmeverket att i stället sprida slammet på åkermark, såvida åkermarken ligger inom rimligt avstånd. Att hantera, transportera och sprida aska är förenade med högre kostnader. Idag har BEM en kostnad på 460 kr per ton aska från dagens biobränslepannor för behandling av aska på terminal, spridning i skogen och en transport på 10 mil. Om askan i stället sprids på åkermark minskar kostnaden till 414 kr per ton. Idag har dock askan för höga halter av tungmetaller då flygaskan inte separeras från bottenaskan för att lämpa sig för spridning på åkermarken.

Vid utveckling av en process där slam torkas, granuleras, sameldas med biobränsle samt separeras som askgranul från bädden, så visar pågående studier att det finns goda förutsättningar att få fram ett gödningsmedel som lämpar sig väl för åkermark. Då processen är under utveckling finns det dock fortfarande osäkerheter kring kostnaden att få fram en askgranul och i detta arbete har därför en schablonkostnad nyttjats. Fördelen med att samförbränna slammet är att smittoämnen och läkemedelsrester totalt kan elimineras och toxiska spårämnen kan reduceras, vilket ökar intresset för slam som gödningsmedel. För en stad som Borås som generera relativt stora mängder slam krävs stora arealer för att kunna sprida allt slam. Med en askprodukt kan areal för livsmedelproduktion även vara aktuell, liksom skogen.

Andra fördelar med samförbränning är att förbränningsprocessen kan utnyttjas till att fraktionera och därmed avskilja miljöpåverkande och toxiska tungmetaller i slammet från fosforföreningarna samt att direkt i processen styra mot bildande av mer växttillgängliga fosfater [5,8,18]. Dessutom kan sameldning med biobränslen som innehåller höga halter av kalium och kalcium ytterligare öka värdet av den aska som produceras [5,8]. Slam har dessutom genom sitt oorganiska innehåll (P, S, Si, Al) en positiv effekt vid sameldning med problematiska biobränslen som har höga alkalihalter (halm) då den bidrar till minskade askrelaterade driftsproblem, i jämförelse med mono-förbränning av dessa [7]. Vilken ev. kostnadsreduktion slam kan bidra med p.g.a. lägre kostnader för drift och underhåll genom minskad slaggningsstendens och mindre korrosiva askor är svårt att

uppskatta utifrån de studier som hittills genomförts. Fler fullskaleförsök bör genomföras med olika slamblandningar och bibränsleblandningar för att verifiera vilka effekter slam kan ha på t. ex askrelaterade driftproblem.

### **Andra processer att återvinna fosfor**

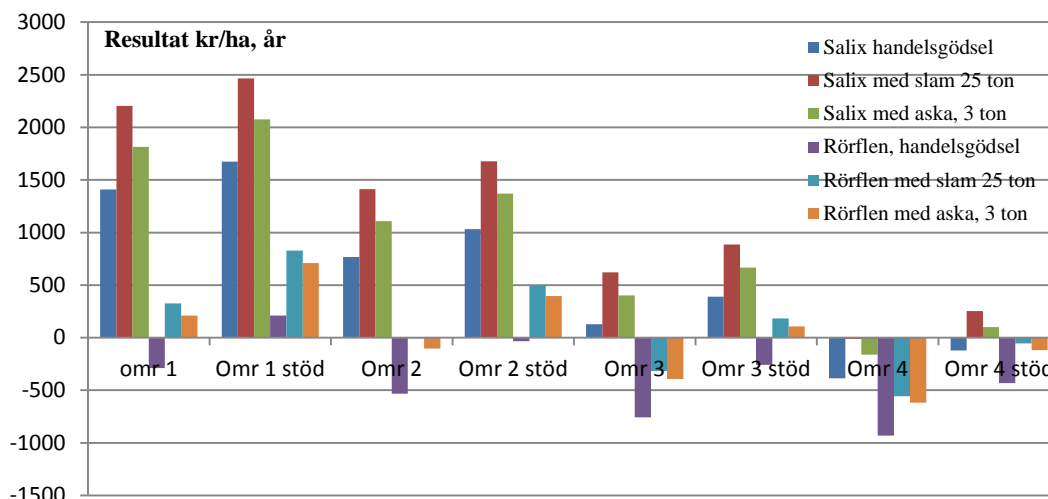
Flera processer har föreslagits för återvinning av fosfor från slam såväl nationellt som internationellt. Dessa är ofta baserade på direkt extraktion i vilken fosfor utvinns genom t.ex. syralakning av slam (t.ex. Cambi/KREPRO-processen) [23,24] eller genom en tvåstegsprocess där rötslammet först förbränns (monoförbränning) och sedan utvinns fosfor genom lakning ur den producerade askan [25]. En nackdel med dessa tekniker är att mängden kemikalier som används är stor och att energianvändningen är hög. Ingen av dessa processer har därför visat sig vara ekonomisk gångbar. I BioCon-processen (pyrolys) [23,24] förbränns slammet i ett första steg och den genererade askan mals och extraheras med svavelsyra. I denna process upplöses såväl P som de toxiska spårelement i samma steg och därför återfinns dessa tyvärr tillsammans i produkten [26]. 2012 anordnade bla. KSLA en rad workshops kring ämnet slam i samband med att Naturvårdsverkets föreslagna ertapp mål för fosfor togs fram. I en av dessa rapporter gjordes en uppskattning på kostnader för en metod med förbränning och efterföljande extraktion av P från askan och här anges en siffra på 50 kr per kg fosfor [30], vilket kan jämföras med en kostnad på handelsgödsel där kostnaden är 18 kr per kg fosfor.

Andra förfaranden har föreslagits, såsom SEPHOS-processen [27], där slamaska som produceras behandlas med svavelsyra vid pH <1,5. Det fasta materialet separeras därefter och pH i det återstående filtratet sökas stegvis till pH 3,5 och därigenom separeras P från de giftiga elementen. CleanMAP tekniken [28] är en nyligen presenterad process som har visat sig ge höga utbyten av fosfor från olika råmaterial. Kostnadsläget för att återvinna P från denna process har ännu dock inte publicerats publikt. Tidigare studier har visat att det mesta P under vanlig förbränning av slam återfinns i förbränningsanläggningars flygaska vilken även då innehåller andra giftiga spårelement som förflyktigats vid förbränningen [29]. Ett vanligt problem för de processer som nämns ovan är att kvaliteten och sammansättningen av de ingående råvarorna i processen, såsom aska, både påverkar hur mycket fosfor som kan återvinnas och hur effektivt farliga element kan reduceras från produkten.

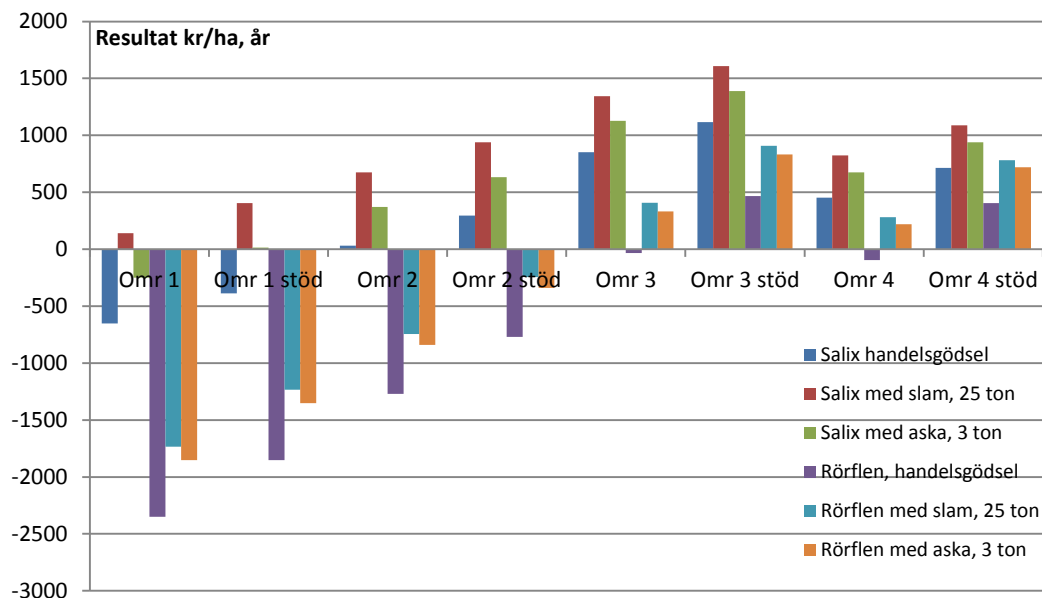
## **5.2 Känslighetsanalys**

### **5.2.1 Beräkning med jordbruksstöd**

Om det finns möjlighet att få ett investeringsstöd till salixplantering på 5800 kr per hektar under etableringsåret eller ett årligt vallstöd på 500 kr per hektar till rörlan, ökar konkurrenskraften för grödorna något. I figur 3 visas resultatet i kr/ha med respektive utan stöd och i figur 4 visas samma resultat där alternativvärdet på mark ingår. För rörlan ändras tex. resultatet i område 3 från ett negativt till ett positivt resultat vid gödsling med slam eller aska (figur 3). Som resultaten i grundkalkylerna visade är det dock alternativvärdet på marken som har störst betydelse för resultatet vid odling av energigrödor, vilket tydligt framgår av figur 4.



Figur 3. Resultatet i kr/ha med respektive utan jordbruksstöd. Alternativvärdet på mark ingår ej.



Figur 4. Resultatet i kr/ha med respektive utan jordbruksstöd. Alternativvärdet på mark ingår.

## 5.2.2 Ökade spannmålspriser

Vid beräkningar med ett alternativvärde på mark med 20 % högre spannmålspriser och där bränslepriserna är oförändrade behöver odlaren ha betalt för att ta emot slam och aska i både salix och rörflen i alla områden med undantag av produktionsområde 4.

Alternativvärdet på mark är alltså en mycket viktig variabel för att lantbrukare skall ha ekonomiska incitament att odla salix eller rörflen.

## 5.2.3 Ökad mängd halm i råvarumix vid förbränning av slam och biobränsle

I grundkalkylen består bränslemixen som ligger till grund för askgranulaten av 25 procent slam, 65 procent grot och 10 procent halm. Då resultaten från tidigare försök [18, 6, 8]

visat på potentialen att återvinna stora mängder kalium i askgranulen genom sameldning av stråbränslen och slam såväl som möjligheterna att elda mer problematiska stråbränslen utan större risk för askrelaterade driftsproblem genom sameldning med slam, redovisas resultatet även för en bränslemix bestående av 25 procent slam, 0 procent grot och 75 procent halm (bilaga 2). Denna kalkyl är inte relevant för Borås men däremot för Skåne och flertalet regioner i Europa och Asien m fl.

Jämfört med bränslemixen i grundkalkylen minskar av fosforinnehållet med 18 procent, medan kaliuminnehållet ökar kraftigt med 155 procent. Eftersom det finns en restriktion på maximalt 154 kg fosfor per spridningstillfälle går det att öka askgivans storlek från 3 ton aska med 95 procent ts i till en askagiva på 3,6 ton per hektar, förutsatt att metallhalterna inte överskrider gränsvärdena.

Som framgår av tabell 24 så minskar värdet på fosfor från 918 kr/ton till 756 kr/ton och för kalium ökar värdet från 162 till 414 kr/ton vilket ger ett totalt värde på 1170 kr/ton. Vid mer inblandning av halm blir det även en bättre balans vad avser tillförd växtnäring och bortförd växtnäring mellan fosfor och kalium. På bördiga jordar kan till exempel tillförsel och bortförsel av kalium ligga i nivå med varandra. På medelgoda och mindre bördiga marker uppkommer dock ett fosforöverskott vid gödsling med aska vart femte år.

Tabell 24. Kostnader, intäkter och värde per ton aska i kr per ton utifrån grundantaganden i ovanstående tabell.

	Värde och kostnader kr/ton aska
<u>Intäkter</u>	
N	0
P	756
K	414
Kväveefterverkan	0
Bördighet	0
Summa intäkter	1170
<u>Kostnader</u>	
Transportkostnad lastbil*	90
Spridning	80
Markpackning	0
Summa kostnader	170
Netto per ton	1000

### 5.3 Affärsmodell och nyttan för alla parter

Resultatet från kostnadskalkylerna visar att det finns ett värde och nytta för alla parter (lantbruket, entreprenörer och energibolaget) där energigrödor utnyttjas dels genom att gödsla odlingarna med slam och dels genom att samförbränna slam med energigrödor och sedan återvinna och sprida askan. Angående affärsmodeller för produktionskedjor med slam, aska och biobränslen är det väsentliga att deltagande aktörer utför de moment som varje aktör har bäst kompetens och resurser för. Den ekonomi som gäller för hela värdekedjan måste fördelas så att alla aktörer kan fungera och vara lönsamma. Varje värdekedja måste hitta sin affärsmodell utifrån de aktörer som finns att tillgå. Erfarenheter från Swedish Biogas säger att det inte spelar någon roll att flera aktörer ingår i kedjan (tex odlare, energibolag, maskinentreprenörer, kommun). Det viktiga är fördelningen av ekonomin inom kedjan och att varje moment är kostnadseffektiv.

## 6 Slutsatser

Samhället står inför en allt större utmaning när det gäller att sluta kretslopp och ta hand om avfall och restprodukter och framställa växtnäring utan fossilberoende. Vi har i dag relativt god kompetens om hur vi ska odla energigrödor eller omhänderta restprodukterna men vi måste utveckla bioenergilösningar och marknadsmodeller som är lönsamma. Det övergripande målet med projektet har varit att öka kunskapen hur energigrödor och restprodukter från lantbruket kan ingå i ett lokalt kretslopp som ger en lönsam produktion med hjälp av samordningsvinster från slamhantering.

Slutsatser från projektet är:

- Det ekonomiskt optimala fosforkretsloppet som samtidigt ger energi från energigrödor är främst beroende av vilket område (jordens bördighet och alternativt värdet på marken) energigrödan odlas.
- För salix och rörflen är användning av slam och aska av störst värde för lantbruket i område 3 (mindre bördiga marker) och som är typiskt för flera områden kring Borås.
- Per hektar ökar lönsamheten i salixodling med ca 500 kr/ha vid användning av slam istället för handelsgödsel och ca 280 kr/ha vid användning av askgranuler där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna och där priset för salix är 180 kr/MWh.
- Per hektar ökar lönsamheten i rörflenodling med ca 440 kr/ha vid användning av slam istället för handelsgödsel och ca 360 kr/ha vid användning av askgranuler på rörflensodling där alternativvärde på mark ingår i beräkningarna och där priset för rörflen är 190 kr/MWh.
- Kostnaden i Borås för att bli kvitt slammet genom att förbränna det i avfallspanna är ca 175 kr per ton slam, det finns därmed ett ekonomiskt värde för värmeverket att i stället sprida slammet på åkermark såvida åkermarken ligger inom rimligt avstånd. Transport och spridning av slam kostar ca 90 kr/ton (5 mils transport).
- Totalt produceras ca 2600 ton TS slam i Borås vilket motsvarar ca 12000 ton slam med en TS-halt på 21%. Vid en slamspridning på 5 ton per hektar och år motsvarar det ett behov av 2400 hektar energiodlingar vilket ungefär motsvarar mer än 10 % av Borås Energi & Miljö:s bränslebehov per år.
- Genom att samförbränna slammet med biobränslen kan smittoämnen och läkemedelsrester totalt elimineras och toxiska spårämnen kan reduceras, vilket ökar intresset för slam som gödningsmedel. Med en askprodukt kan areal för livsmedelproduktion även vara aktuell vid spridning, liksom skogen.
- Sameldning av slam med biobränslen som innehåller höga halter av kalium och kalcium såsom halm kan ytterligare öka värdet av den aska som produceras. Vid mer inblandning av halm blir det en bättre balans mellan fosfor och kalium avseende tillförd och bortförd växtnäring.
- Slam har genom sitt oorganiska innehåll (P, S, Si, Al) en positiv effekt vid sameldning med problematiska biobränslen som har höga alkalihalter (halm) då den bidrar till minskade askrelaterade driftsproblem.



- Processen med att granulera slam och samförbränna med biobränslen i en fluidbäddpanna är under utveckling och det finns fortfarande osäkerheter kring kostnaden för att få fram en askgranul.
- Det finns en osäkerhet kring fosfor tillgängligheten i slam och aska och inom detta område finns behov av fortsatta studier.
- För att få fungerande produktionskedjor med slam, aska och energigrödor är det väsentligt att deltagande aktörer utför de moment som varje aktör har bäst kompetens och resurser för och att varje moment är kostnadseffektivt och att det finns lönsamhet för alla parter i kedjan.

## 7 Referenser

- [1] JTI, 2012. Lönsam salixodling, Tre goda exempel. JTI, Uppsala.
- [2] Paulrud S, Eriksson, M. 2014. Halm till mellanstora värmeanläggningar (1-5 MW)– från åker till färdig värme. SP-rapport 2014:63. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- [3] Paulrud, S, Johansson, F, Rosenqvist, H. 2015. Lokala terminaler för ökad användning av nya biobränslesortiment i värmeverken. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport:2015:07
- [4] Naturvårdsverket. 2013. Hållbar återföring av fosfor. Rapport 6580, september 2013. Naturvårdsverket.
- [5] Nils Skoglund, Dan Boström, Alejandro Grimm, Marcus Öhman, Återvinning av fosfor och energi ur avloppsslam genom termisk behandling i fluidiserad bädd – Utvärdering och optimering av prestanda för slutprodukten. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr 2012-10, 2012.
- [6] Nils Skoglund, Dan Boström, Evelina Brännvall, Jurate Kumpiene, Alejandro Grimm, Marcus Öhman. Återvinning av fosfor och energi ur avloppsslam genom termisk behandling i fluidiserad bädd. Slutrapport NWI Dp 4, Sept 2012
- [7] Skoglund, N., Grimm, A., Öhman, M., Boström, D. Effects on ash chemistry when co-firing municipal sewage sludge and wheat straw in a fluidised bed Influence on the ash chemistry by fuel mixing. Energy Fuels 2013, 27, 5725–5732
- [8] Skoglund, N., Grimm, A., Öhman, M., Boström, D. Combustion of biosolids in a bubbling fluidized bed, Part 1: Main ash-forming elements and ash distribution with a focus on phosphorus. Energy Fuels 2014, 28, 1183–1190
- [9] Palmborg, C. 2016. Fördjupade studier av sortskillnader. Rapport 1:2016 SLU, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap Umeå.
- [10] Paulrud, S. 2014. Förädlad biobränsle från åker-från frö till färdig värme. SP Rapport :2014:04. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

- [11] Lundmark B, Sidkvist A. 2014. Rörflén i glesbygdens småskaliga närvärmesystem. Glommers MiljöEnergi AB.
- [12] Paulrud S, Gustavsson L, Schmidt H. 2013. Fältutvärdering av pannor och brännare för rörflenseldning. SP-rapport 2013:46. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- [13] Nilsson, D, Bernesson, S. 2009. Halm som bränsle, Del 1 Tillgångar och skördetidpunkter. SLU rapport 011.
- [14] Paulrud, S, Hjörnhede, A, Öhman, M. 2015. Färdig bränslemix av halm, flis och additiv från terminal till kraftvärmeverk. Värmeforskrapport RAPPORT 2015:149. Energiforsk.
- [15] Svenskt Vatten. 2013. Slamanvändning och strategier för slamanvändning. Meddelande M137, Mars 2013. Svenskt Vatten.
- [16] Magnér J, Rosenqvist L, Rahmberg M, Graae L, Eliaeson, K, Örtlund, L, Fång, J, Broström-Lunden, E. 2016. Fate of pharmaceutical residues-in sewage treatment and on farmland fertilized with sludge. IVL rapport No. B 2264, Sept 2016. IVL Swedish Environmental Research Institute.
- [17] Askor I Sverige 2012-statistik utförd av SCB på uppdrag av svenska Energiaskor. [www.energiaskor.se](http://www.energiaskor.se)
- [18] Kumpiene J, Brännvall E, Wolters M, Skoglund N, Čirba S, Aksamitauskas V, Č. Phosphorus and cadmium availability in soil fertilized with biosolids and ashes. *Chemosphere* **2016**, 151, 124-132.
- [19] Widman S, Boström D, Öhman M, Broström M. Early Release of NH<sub>3</sub> from Nitrogen Rich Fuels - A TG-FTIR Study. Proc of the 21th European Biomass Conference & Exhibition, Copenhagen Denmark 6-10 June 2013, Denmark, 2013, pp 974-976, ISBN: 978-88-89407-53-0
- [20] Jordbruksverket, 2015. Kalkyler för energigrödor, 2015. Jordbruksverket, Jönköping
- [21] Lundh, R., Kjellström, B. Ekonomiska förutsättningar för slamraffinering, Intern rapport, 2013.
- [22] Rosenqvist H., 2010. Kalkylmetodik för lönsamhetsjämförelser mellan olika markanvändning. Rapport 1128. Värmeforsk, Stockholm.
- [23] Hansen B. et al. Operational experiences from a sludge recovery plant. *Water Science & Tech.*, 41, 2000, 23-30
- [24] Hultman B. et al. Effects of waste water treatment technology on phosphorus recovery from sludge's and ashes. Second international conference on recovery of phosphates from sewage and animal waste, Noordwijkerhout, Netherlands 2001
- [25] Tan Z, Lagerkvist A. Phosphorus recovery from the biomass ash: a review. *Renewable and Sustainable Energy Rev.*, 2011, 15, 3588-3602

- [26] Hultman B et al. Recovery of phosphorus and other products from sludge and ash. Report no. 6 Stockholm Vatten AB, Sweden, 2001
- [27] Schaum C et al. Possibilities for a phosphorus recovery from sewage sludge ash. Management of residues from water and wastewater treatment, Johannesburg, 2005
- [28] The CleanMAP™ Technology - improving ammonium phosphate production, 2016, <http://www.easymining.se/processes1.html> [Accessed 2016-12-28]
- [29] Pettersson A et al. Leaching of ashes from co-combustion of sewage sludge and wood- Part II: The mobility of metals during phosphorus extraction. Biomass & Bioenergy, 32, 2008, 236-244
- [30] KSLA. 2013. Slam och fosfor i kretslopp. Nummer 6, 2013, årgång 152, Kungliga Skogs och Lantbruksakademins tidskrift
- [31] Paulrud, S, Öhman, M. 2014. Lagring/torkning av salix-effekt på slaggnings- och beläggningstendens vid förbränning. SP-rapport 2014:46. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- [32] Strömberg B, Herstad Svärd S. 2012. Bränslehandboken. Värmeforsk rapport 1234, 2012.
- [33] Andersson P-G. 2015. Slamspridning på åkermark. Hushållningssällskapens rapportserie 17.

## Bilaga 1

	<b>Bränslemix (25 % slam, 10% halm, 65% grot (vikts% på TS basis)</b>	<b>Askgranul (25 % slam, 10% halm, 65% grot (vikts% på TS basis)****</b>	
<b>Hg</b>	0,157	0	mg /kg TS
<b>Cd</b>	0,290	1,20	mg /kg TS
<b>Pb</b>	4,56	18,97	mg /kg TS
<b>Cr</b>	7,98	66,40	mg /kg TS
<b>Ni</b>	3,70	30,78	mg /kg TS
<b>Cu</b>	67,81	564,10	mg /kg TS
<b>Ag</b>	0,38	1,58	mg /kg TS
<b>Zn</b>	165,49	688,27	mg /kg TS
<b>Nonylfenol</b>	1,83	0 (Eldas upp )	mg /kg TS
<b>PAH</b>	0,19	0 (Eldas upp)	mg /kg TS
<b>PCB</b>	0,00806	0 (Eldas upp)	mg /kg TS
<b>Sb</b>	1,27	10,58	mg /kg TS
<b>Sn</b>	4,31	35,87	mg /kg TS
<b>S</b>			
<b>K</b>	2,66	18,82	<b>g /kg TS</b>
<b>Ca</b>	8,08	57,09	<b>g /kg TS</b>
<b>Mg</b>	1,05	7,41	<b>g /kg TS</b>
<b>N-tot</b>	10,69	0 Avgår	<b>g/ kg TS</b>
<b>NH4-N</b>	3,39	Avgår och kan ev återvinnas i torken	<b>g/ kg TS</b>
<b>P-tot</b>	7,56	53,48	<b>g/ kg TS</b>
<b>Askhalt**</b>	12,02	100	<b>% av TS</b>

\*) Medianvärde från Bränslehandboken [32]

\*\*) Medianvärde från Phyllis bränsledatabas över wheat straw

\*\*\*) Medianvärde från bränslehandboken över slam fällda med i huvudsak Al-s [32]

\*\*\*\*) Antaganden tagna utifrån tidigare förbränningsförsök i fluidbädd i pilotskala 800 C samt fullständig kontakt mellan de olika bränslepartiklarna (Dr thesis Skoglund N)

## Bilaga 2

	<b>Bränslemix (25 % slam, 75% halm, 0% grot (vikts% på TS basis)</b>	<b>Askgranul (25 % slam, 75% halm, 0% grot (vikts% på TS basis)****</b>	
<b>Hg</b>	0,14	0	mg /kg TS
<b>Cd</b>	0,30	1,03	mg /kg TS
<b>Pb</b>	3,61	12,42	mg /kg TS
<b>Cr</b>	7,26	50	mg /kg TS
<b>Ni</b>	3,23	22,27	mg /kg TS
<b>Cu</b>	68,46	471,31	mg /kg TS
<b>Ag</b>	0,38	1,31	mg /kg TS
<b>Zn</b>	142,73	491,34	mg /kg TS
<b>Nonylfenol</b>	1,84	0 (Eldas upp )	mg /kg TS
<b>PAH</b>	0,19	0 (Eldas upp)	mg /kg TS
<b>PCB</b>	0,0081	0 (Eldas upp)	mg /kg TS
<b>Sb</b>	1,20	8,29	mg /kg TS
<b>Sn</b>	4,31	29,69	mg /kg TS
<b>S</b>			
<b>K</b>	8,21	48,04	<b>g /kg TS</b>
<b>Ca</b>	6,89	40,30	<b>g /kg TS</b>
<b>Mg</b>	0,97	5,69	<b>g /kg TS</b>
<b>N-tot</b>	10,69	0 Avgår	<b>g/ kg TS</b>
<b>NH4-N</b>	3,40	Avgår och kan ev återvinnas i torken	<b>g/ kg TS</b>
<b>P-tot</b>	7,55	44,21	<b>g/ kg TS</b>
<b>Askhalt**</b>			<b>% av TS</b>
<b>*</b>	14,52	100	

\*) Medianvärde från Bränslehandboken [32]

\*\*) Medianvärde från Phyllis bränsledatabas över wheat straw

\*\*\*) Medianvärde från bränslehandboken över slam fällda med i huvudsak Al-s [32]

\*\*\*\*) Antaganden tagna utifrån tidigare förbränningsförsök i fluidbädd i pilotskala 800 C samt fullständig kontakt mellan de olika bränslepartiklarna (Dr thesis Skoglund N)

### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

SP-koncernens vision är att vara en internationellt ledande innovationspartner. Våra 1 400 medarbetare, varav över hälften akademiker och cirka 380 med forskarutbildning, utgör en betydande kunskapsresurs. Vi utför årligen uppdrag åt fler än 10 000 kunder för att öka deras konkurrenskraft och bidra till hållbar utveckling. Uppdragen omfattar såväl tvärtekniska forsknings- och innovationsprojekt som marknadsnära insatser inom provning och certifiering. Våra sex affärsområden (IKT, Risk och Säkerhet, Energi, Transport, Samhällsbyggnad och Life Science) svarar mot samhällets och näringslivets behov och knyter samman koncernens tekniska enheter och dotterbolag. SP-koncernen omsätter ca 1,5 miljarder kronor och ägs av svenska staten via RISE Research Institutes of Sweden AB.



### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

SP Rapport :2016:98

ISSN 0284-5172

PART OF **RISE**