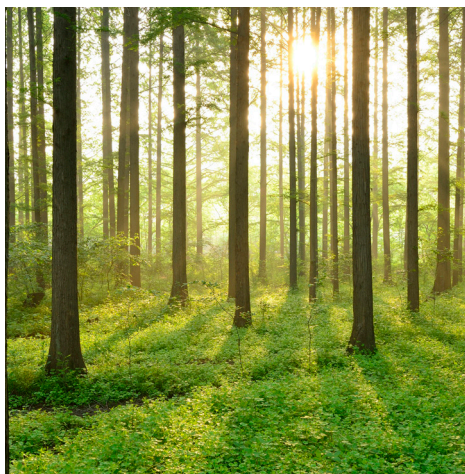


# VATTENVERKSSLAM REDUCERAR BIOGASENS SVAVELVÄTE

RAPPORT 2017:344



ENERGIGASTEKNIK





# Vattenverksslam reducerar biogasens svavelväte

– Bra för miljön och ekonomin

TOBIAS PERSSON, LARS MÅNSSON, IRENE BOHN

ISBN 978-91-7673-344-8 | © 2017 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

Tack vare ett bra samarbete mellan ett antal företag och biogasproducenter har det varit möjligt att genomföra detta projekt för att utvärdera användningen av ett avfall (vattenverksslam) som en resurs för biogasindustrin.

Projektet har genomförts under ledning av Tobias Persson vid Sydvatten AB i nära samarbete med Lars Månsson Sydvatten AB och Irene Bohn vid OX2 Bio Produktion i Helsingborg. Projektet ingår i Samverkansprogram Energigasteknik som finansieras av Energimyndigheten, Sydvatten AB, OX2 Bio Produktion i Helsingborg, NSVA i Helsingborg och C4 Energi i Kristianstad.

13 biogasproducenter som använder vattenverksslammet i sina biogasanläggningar har delat med sig av erfarenheter kring användningen, vilket har gjort det möjligt att skriva denna rapport. Stort tack för er medverkan och för den tid ni tagit er för att besvara alla de frågor ni fått.

Författarna till rapporten har tillsammans med Jan-Erik vid NSVA i Helsingborg, Sven Norup vid Norups Gård och Bengt Stuhre vid C4 Energi i Kristianstad har alla deltagit i referensgruppen och gett värdefull information, bra kommentarer och genomtänkta inlägg till rapporten. Stort tack för er medverkan i projektet.

Ett stort tack också till Torbjörn Stridh vid Maglasäte Gård för ett mycket trevligt studiebesök med en mycket givande diskussion kring användningen av vattenverksslammet i er biogasanläggning.

Slutligen också ett stort tack till Anton Fagerström vid Energiforsk för handledningen under projektet.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

## Sammanfattning

**Lönsamheten i den svenska biogasindustrin är relativt dålig och många biogasproducenter kämpar för att uppnå ett positivt resultat. En betydande kostnad ligger i att reducera svavelvätekonzentrationen under rötnings och särskilt i anläggningar som använder gödsel som substrat. Idag är tillsats av järnklorid till processen den vanligaste lösningen på detta problem.**

Vid dricksvattenproduktionen i Sydvattens vattenverk Ringsjöverket används järnklorid i den kemiska fällningen för att ta bort det organiska innehållet från råvattnet (sjövattnet från Bolmen). Slammet som bildas i denna process deponeras huvudsakligen idag. Nyligen har det uppmärksammats att detta slam kan användas i biogasproduktionen för att reducera svavelvätekonzentrationen istället för t.ex. järnklorid. Syftet med denna studie var att tekniskt och ekonomiskt utvärdera användningen av vattenverksslam inom biogasproduktionen.

Resultaten visar att detta är möjligt och ekonomiskt fördelaktigt så länge som transportkostnaderna inte är för höga. Kostnaderna kan minskas med upp till 50 % om vattenverksslam används istället för järnklorid. Kvaliteten på vattenverksslammet är hög och dess innehåll av tungmetaller är mycket lågt, särskilt i jämförelse med de riktvärden som anges vid certifieringen inom SPCR 120 av biogödsel.

Slutsatsen från detta projekt är att slam från vattenverk, jämförbara med Ringsjöverket, som använder järnklorid i den kemiska fällningen är ett bra alternativ till direkt användning av järnklorid för att minska vätesulfidkonzentrationen i röt-kammaren. Genom att ersätta järnklorid med vattenverksslam minskar både den miljömässiga och den ekonomiska kostnaden och samhället tar ytterligare ett steg mot en cirkulär ekonomi.

## Summary

**The profitability in Swedish biogas industry is relatively poor and many biogas producers struggle to achieve a positive result. A significant cost lies in the reduction of hydrogen sulfide during anaerobic digestion and especially in plants using manure as substrate. Today, ferric chloride is commonly used to solve this problem.**

During drinking water production at the water treatment plant Ringsjöverket, owned by Sydsvatten AB, ferric chloride is used in the chemical precipitation, which aims to remove the organic matter from the raw water. The sludge formed in this process is today landfilled. Recently, it has been noted that this sludge can be used in the biogas production in order to reduce the hydrogen sulfide concentration instead of ferric chloride. The purpose of this study was to technically and economically evaluate the usage of sludge to reduce the hydrogen sulfide concentration during anaerobic digestion and to replace a relatively expensive chemical with something that today is considered to be a waste.

The results show that this is possible as long as the transportation costs are not too high. It is shown that the costs can be reduced up to 50 % by using sludge instead of ferric chloride. The quality of the sludge is high and its content on heavy metals is very low especially considering the metals evaluated in the certification within SPCR 120 of the digestate.

The conclusion is that sludge from water treatment plants, similar to Ringsjöverket, that are using ferric chloride in their process is a good alternative to direct usage of ferric chloride to reduce the hydrogen sulphide concentration in the digester. This utilization will reduce both the environmental and the economic cost and is one step closer to a circular economy.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>9</b>
1.1	Svavelväte i biogasanläggningar	9
1.2	Syfte med projektet	10
<b>2</b>	<b>Vattenverksslammet</b>	<b>11</b>
2.1	Vattenverksslammets ursprung	11
2.2	Slammets egenskaper	12
2.3	Användning av vattenverksslammet på biogasanläggningar certifierade enligt SPCR 120 eller Revaq	13
<b>3</b>	<b>Resultat från fullskaliga biogasanläggningar</b>	<b>15</b>
3.1	Kostnader förknippade med användningen av vattenverksslam	15
3.1.1	Transportkostnad per ton vattenverksslam	15
3.1.2	Övriga kostnader associerade med användningen av vattenverksslam	15
3.1.3	Kostnad för vattenverksslam jämfört med järnklorid	15
3.2	Användning av vattenverksslam	16
3.2.1	Förbrukning av vattenverksslam	16
3.2.2	Varierar funktionen beroende på om slammet lagras i ett varmt eller kallt klimat?	17
3.2.3	Inblandning av vattenverksslammet och observerade driftstörningar	17
3.2.4	Transportering av vattenverksslam	18
3.3	Vattenverksslammets påverkan på Rötresten	18
<b>4</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>22</b>
	<b>Bilaga 1 – Tungmetallanalyser</b>	<b>23</b>
	<b>Bilaga 2 – Genomsnittsvärden för tungmetaller i vattenverksslam och beräkning av TS</b>	<b>25</b>



# 1 Bakgrund

## 1.1 SVAVELVÄTE I BIOGASANLÄGGNINGAR

Lönsamheten inom Svenska biogasindustrin är förhållandevis dålig och många biogasproducenter kämpar för att nå positiva resultat. Det segment som har den största utnyttjade potentialen för biogasproduktion i Sverige, men också de största ekonomiska utmaningarna, är lantbrukssektorn. För att det ska ske en tillväxt inom detta segment krävs att det går att redovisa en lönsamhet för verksamheten.

Att reducera svavelvätekoncentrationen vid rötning är idag förknippat med betydande kostnader och en hantering av korrosiva kemikalier. För gårdsbaserade biogasanläggningar är detta extra påfrestande eftersom dessa anläggningar är små, har små ekonomiska marginaler och begränsade resurser för att hantera farliga kemikalier. Dessutom innehåller gödsel (framförallt svingödsel) svavel som kan omvandlas till flera tusen ppm svavelväte under röttningsprocessen. Hur mycket svavelväte som bildas under röttningsprocessen beror på svavelinnehållet i substratet som i form av sulfat eller som svavel bundet i aminosyror (Schnürer och Jarvis 2009; Möestedt m.fl. 2013). Höga kostnader för svavelvätereduktion kan innebära skillnaden mellan ett positivt eller ett negativt ekonomiskt resultat vid årets slut för en gårdsanläggning och därmed också något som begränsar utbyggnaden av biogasproduktionen inom lantbruket i Sverige idag.

Reduktionen av svavelväte är också en betydande kostnad för samröttningsanläggningar. Här är kraven på avskiljningen av svavelväte högre än vid gårdsbaserade biogasanläggningar som producerar kraft/värme eftersom biogasen som produceras i vid samröttningsanläggningar i princip utslutande uppgraderas till fordonsgaskvalitet. När det gäller reningsverk är det framförallt anläggningar som har biologisk fosforavskiljning som kan ha höga svavelvätekoncentrationer vid rötningen. Även för dessa anläggningar är reduktion av svavelväte associerat med kostnader som gör biogasaffären mindre lönsam varför alternativa lösningar kan vara av intresse.

Svavelvätet är korrosivt och måste avlägsnas innan biogasen uppgraderas till fordonsbränsle eller användas för kraft/värme-produktion. Före uppgradering av biogas måste allt svavel vara borta om inte uppgraderingen sker med en vattenskrubber, eller i vissa fall aaminskrubber, då några hundra ppm kan accepteras. När biogasen skall användas för kraft/värme-produktion är kraven vanligen runt 50-200 ppm, men genom att sänka koncentration ytterligare kan livslängden ökas och underhållsbehovet minskas på motor/turbinen som används för kraft/värme-produktionen. Tillsats av järnklorid, järnoxider eller vattenverksslam binder upp svavelvätet i slurryn i röt-kammaren och minskar problemet med att svavelvätet annars kan hämma biogasproduktionen (Schnürer och Jarvis 2009). Tillsats av järn kan också öka tillgängligheten av spårmetaller som mikroorganismerna behöver och på så sätt öka biogasprocessens effektivitet (Yekta, 2014). Tillsats av luft och syre reducerar svavelvätekoncentrationen i gasfasen, men tar inte i samma utsträckning bort problemet med att svavelvätet hämmar mikroorganismerna i biogasproduktionen. Dessutom är användning av

syre/luft förenat med en del risker och det är viktigt att biogasproducenter har god marginal till den undre explosionsgränsen för biogas. Det är inte möjligt att använda luft om biogasen skall uppgraderas till fordonskvalitet utan då måste luftens syre först avskiljas från luftens kväve i en extern process (Bauer m.fl. 2013). Järnklorid och järnoxid har liknande egenskaper när det gäller att bind sulfid, men med den skillnaden att järnoxid är mindre reaktivt samt mindre korrosivt och därmed lättare att hantera.

Oavsett vilken metod som används är reduktionen av svavelväte associerat med betydande kostnader för biogasproducenten (med undantag från de anläggningar som bara använder luft). En studie från hushållningssällskapet (Broberg, 2013) visade att kostnaden för svavelvätereduktion idag ligger runt 10-20 öre per Nm<sup>3</sup> biogas på gårdsbiogasanläggningar. Kostnaden är något högre för de anläggningar som vill ha en stabil nivå under 100 ppm i den producerade biogasen.

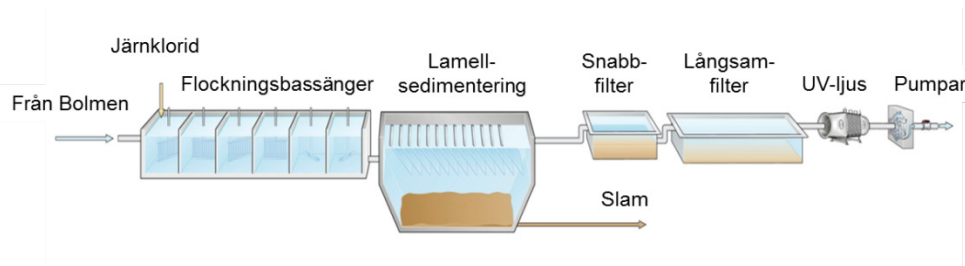
## 1.2 SYFTE MED PROJEKTET

Slam från dricksvattenproduktion vid Sydsvattens vattenverk i Stehag är idag ett avfall utan användningsområde. Sydsvattens intresse i projektet är att minimera de mängder slam som deponeras samt att uppnå ett ökat kretsloppstänkande. Slammet innehåller till största delen järn i olika former som härstammar från den kemiska fällningen med järnklorid i vattenverket. Syftet med denna studie är att tekniskt och ekonomiskt utvärdera användning av slammet för reduktion av svavelväte och studera parametrar såsom hur stora mängder som krävs för att reducera svavelvätekoncentrationen i olika biogasanläggningar samt hur rötrestens kvalitet påverkas av slammet och om det går att använda av anläggningar som är certifierade genom SPCR 120 eller Revaq.

## 2 Vattenverksslammet

### 2.1 VATTENVERKSSLAMMETS URSPRUNG

På Sydsvattens vattenverk Ringsjöverket i Stehag produceras årligen ca 9000 ton slam med 15 % TS. Slammet bildas i den kemiska fällningen som är första delen i vattenverkets process. Råvattnet kommer ifrån sjön Bolmen i Småland och det organiska innehållet i Bolmens vatten är inert, d.v.s. det kommer ej bidra till biogasproduktionen i röt-kammaren. Idag används järnklorid som fällningskemikalie för att fälla ut organiskt material i vattnet. Vattnet pH korrigeras med lut före tillsatsen av fällningskemikalien. Slammet sedimenterar i en lamell-sedimentering och förtjockas därefter i gravitationsförtjockare efter tillsats av järnklorid, kalkvatten och polymer för att kunna nå upp till torrhalt på ca 2 % (se Figur 1). Därefter pumpas slammet till en slamhanteringsanläggning där slammet pressas i silbandspressar efter tillsats av ytterligare polymer och järnklorid till en torrhalt på ca 15 % (se Figur 2). Slammet sprids slutligen ut på en nerlagd torvtäkt.



Figur 1. Processen som används vid Ringsjöverket för att rena Bolmens vatten till dricksvatten.



Figur 2. Silbandspressen som pressar upp slammets torrhalt till ca 15%.

Det förekommer driftsituationer på vattenverket då inget järninnehållande slam produceras. Detta inträffar framförallt om det sker ett ras i tunneln som går mellan sjön Bolmen i Småland och Ringsjöverket. Detta har historiskt inträffat vid tre tillfällen under de senaste 30 åren och då har tunneln behövt tappas ner och renoveras. Vid dessa tillfällen används vatten från Ringsjön vid vattenverket och då används en aluminiumbaserad fällningskemikalie istället för järnklorid. Slammets som bildas då kan inte användas inom biogasindustrin. Dessa driftstörningar tar vanligen mellan ett och två år att åtgärda. Det är därför viktigt för biogasproducenterna som väljer att använda vattenverksslammets att de snabbt kan övergå till en alternativ lösning, såsom järnklorid, under en sådan period.

## 2.2 SLAMMETS EGENSKAPER

Vattenverksslammets har ett svartbrunt utseende (se Figur 3) och om det legat i kontakt med luft under en tid bildas små svarta järnkristaller på ytan. Slammets är vattenlösligt och har svag järnlukt. Densitet ligger runt 1,1 kg/dm<sup>3</sup> och slammets är lite surt med ett pH värde runt 4,2. Slammets består till största delen av järnföreningar (ca 30 % järn och >40 % järnoxider) och olika organiska föreningar (ca 25 % TOC). I vattenverket tillsätts före avskiljningen av slammets endast järnklorid och lut. Därefter tillsätts en mindre mängd av den dricksvattenklassade polymeren Magnafloc LT22S-DWI tillsammans med ytterligare järnklorid i både förtjockaren och silbandspressen för att underlätta avvattningen.



Figur 3. Lagring av vattenverksslam (till vänster) och gödsel till höger vid en biogasanläggning. (Foto Annika Nyberg)

En detaljerad metallanalys har gjorts på slammets vid tre olika tillfällen. Resultat för de mest relevanta metallerna redovisas i Tabell 1 och de kompletta analysresultaten återfinns i Bilaga 1. I Tabell 1 jämförs analysresultaten med de gränsvärden som finns inom Avfall Sveriges certifieringsregler för biogödsel, SPCR 120, utgivna 2016 (Avfall Sverige 2016a, [www.avfallsverige.se](http://www.avfallsverige.se)) och Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark vid känslig markanvändning utgivna 2009 (Naturvårdsverket 2009, [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)). Där framgår det tydligt att vattenverksslammets metallinnehåll med mycket god marginal understiger dessa nivåer för i princip samtliga metaller. Det är endast gränsvärdet för Arsenik som är i samma storleksordning i slammets som Naturvårdsverkets riktvärde för förorenad mark vid känslig markanvändning. Revaq är ett certifieringssystem med syfte att minska flödet av farliga ämnen till reningsverk och skapa en hållbar återföring av växnäring genom spridning av slam på åkermark ([www.svensktvatten.se](http://www.svensktvatten.se)). De

tungmetaller som har störst fokus i Revaq och som kräver tätast analysintervall inom Revaq är Bly, Kadmium, Koppar, Krom, Nickel, Zink, Kvicksilver, Silver och Tenn och analysresultat från samtliga dessa är inkluderade i Tabell 1 nedan. Även i detta fall är koncentrationerna låga jämfört med de riktvärden som finns. Bilaga 1 innehåller resultat för samtliga metallanalyser som rekommenderas enligt Revaq.

I Tabell 1 framgår det också att järnhalten är förhållandevis konstant under året med endast små variationer. Detta är viktigt för att biogasproducenterna skall kunna använda en liknande dosering för olika slamleveranser.

**Tabell 1: Jämförelse mellan vattenverksslammets metallinnehåll och maximalt metallinnehåll enligt Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark vid känslig markanvändning utgivna 2009 samt riktvärden för metallinnehåll enligt SPCR 120.**

Metall	Riktvärden för förorenad mark	SPCR 120	2015-10-12	2016-04-11	2016-06-27	Enhet
Antimon	12		<2,1	<2,1	<2,1	mg/kg TS
Arsenik	10		7,2	5,1	8,6	mg/kg TS
Barium	200		40	<23	45	mg/kg TS
Bly	50	100	6,5	5,3	11	mg/kg TS
Järn			30	29	28	% av TS
Kadmium	1,5	1	<0,11	<0,11	0,13	mg/kg TS
Kobolt	15		4,3	5	4,7	mg/kg TS
Koppar	80	600	11	17	15	mg/kg TS
Krom	80	100	12	18	15	mg/kg TS
Kvicksilver	0,25	1	<0,051	<0,051	0,052	mg/kg TS
Molybden	40		4,1	4,5	4,1	mg/kg TS
Nickel	40	50	5,5	5,3	6,7	mg/kg TS
Silver			<0,51	<0,51	<0,52	mg/kg TS
Tenn			<0,51	0,7	0,82	mg/kg TS
Vanadin	100		47	47	64	mg/kg TS
Zink	250	800	49	50	65	mg/kg TS

### 2.3 ANVÄNDNING AV VATTENVERKSSLAMMET PÅ BIOGASANLÄGGNINGAR CERTIFIERADE ENLIGT SPCR 120 ELLER REVAQ

Under 2016 har vattenverksslammet accepterats som en godkänd tillsats till rötningsprocessen inom certifieringssystemet SPCR 120. Det är därför numera möjligt för de biogasanläggningar som har denna certifiering att använda vattenverksslammet för att reducera svavelvätekoncentrationen i biogasen.

När det gäller certifiering enligt Revaq bör användning av vattenverksslammet endast påverka kadmium(Cd)/fosfor(P) kvoten marginellt eftersom kadmiuminnehållet är mycket lågt. Dock är även fosforinnehållet lågt, vilket gör att även en låg kadmiumkoncentration kan ha en negativ inverkan på Cd/P-kvoten. Även storleken på slamgivan påverkas eftersom denna regleras inte enbart av metallkoncentrationen utan även av mängden av en viss metall som får läggas ut per ytenhet. Detta gäller framförallt metallerna bly, kadmium, krom, nickel,

zink och kvicksilver. Dock är innehållet av dessa metaller mycket lågt och bör endast innebära en mindre påverkan. I reglerna för certifieringssystemet Revaq står det dock att "Certifikatsinnehavaren ska inte ta emot sådant material som bedöms påverka kvaliteten på slam negativt, genom lågt näringsinnehåll eller högt innehåll av föroreningar. De 60 spårelementen ska alltid analyseras innan man tar emot en ny typ av material". Detta kan innebära ett problem för användningen av vattenverksslammet i Revaqcertifierade reningsverk, men det är egentligen inte annorlunda än att använda järnklorid för att reducera svavelvätekonzentrationen eftersom även denna innehåller en del andra tungmetaller.

## 3 Resultat från fullskaliga biogasanläggningar

Under projektet har 13 biogasproducenter använt vattenverksslammet i fullskala. Erfarenheterna från dessa anläggningar har samlats in och sammanställs här nedan under olika kategorier.

### 3.1 KOSTNADER FÖRKNIPPADE MED ANVÄNDNINGEN AV VATTENVERKSSLAM

#### 3.1.1 Transportkostnad per ton vattenverksslam

Transportkostnaden varierar mellan olika biogasproducenter beroende på avstånd och hur transporten utförs. Vissa använder lastbilar med släp och andra utan. Vissa kör några få mil medan andra kör upp emot 40 mil. Förutom själva transporten av slammet måste också transportören lägga tid på rengöring av flaket efteråt. Den kostnaden som redovisats av biogasproducenterna i olika delar av landet varierar mellan 150 och 400 kr/ton vattenverksslam med 15% TS.

#### 3.1.2 Övriga kostnader associerade med användningen av vattenverksslam

Förutom transporten har biogasproducenterna kostnader för lagring, dosering och rengöring av den utrustning som används. För de flesta anses dessa kostnader endast marginella. Av biogasproducenterna har dessa kostnader uppskattats till någonstans mellan 20 och 100 kr/ton vattenverksslam.

#### 3.1.3 Kostnad för vattenverksslam jämfört med järnklorid

De flesta av de biogasproducenter som idag använder vattenverksslam har tidigare använt järnklorid som de köpt av en kemikalieleverantör. Den kostnad de haft för att reducera svavelvätekoncentrationen med järnklorid har för vissa anläggningar varit jämförbar med vad de betalar för transporten av vattenverksslammet idag, medan andra minskat kostnaderna med upp till ca 50%. Enligt Broberg (2013) ligger kostnaden för svavelvätereduktion med järnklorid och järnoxid runt 10-20 öre per Nm<sup>3</sup> på gårdsbiogasanläggningar. Kostnaden för att använda vattenverksslam hamnar i samma storleksordning (10-20 öre per Nm<sup>3</sup>) om kostnaden för hantering och transport uppskattas till ca 400 kr/ton. Dock har flera biogasproducenter redovisat lägre transport- och hanteringskostnader och dessutom reducerar de svavelvätekoncentrationen till lägre nivåer när de använder slammet jämfört med när de använde järnklorid. Detta stödjer slutsatsen att kostnadsbesparingar upp till 50 % är möjliga men att detta är beroende av transportkostnaden. Anledningen till att de reducerar svavelvätekoncentrationen mer med slam är att de upplever att kostnaden är lägre och att de då kan styra doseringen mot en lägre svavelvätekoncentration, vilket ökar livslängden på kraft/värme-aggregatet och minskar dess underhållsbehov.

För de deltagande samröttningsanläggningarna ligger kostnaden för användning av vattenverksslammet runt 5 öre/Nm<sup>3</sup> med samma antaganden som ovan. Att kostnaden är lägre beror på att mängden slam som behövs per producerad

biogasvolym är lägre. Detta beror i sin tur på att de substrat som används innehåller mindre svavel. Detta beskrivs närmare i kapitel 3.2 nedan.

Det är dock viktigt att poängtera att det finns andra vinster förutom de ekonomiska med att byta från järnklorid till vattenverksslam för gårdsbiogasanläggningar. Dessa inkluderar en lättare hantering jämfört med den korrosiva järnkloridlösningen samt de korrosiva skador på utrustningen som denna kan leda till.

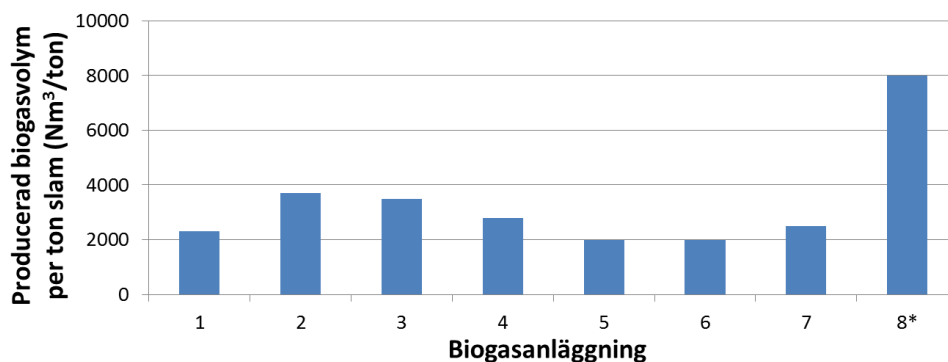
Vissa av gårdsbiogasproducenterna har tidigare använt enbart luftning eller luftning i kombination med järntillsats. Då är ekonomiska vinsten med övergången till vattenverksslam mindre eftersom tillsats av luft är förknippat med mycket marginella kostnader.

## 3.2 ANVÄNDNING AV VATTENVERKSSLAM

### 3.2.1 Förbrukning av vattenverksslam

I de biogasanläggningar som enbart använder gödsel som substrat är ett ton vattenverksslam tillräckligt för att producera i genomsnitt 2700 Nm<sup>3</sup> biogas om svavelvätekoncentrationen i biogasen skall reduceras under 100 ppm. Detta motsvarar ca 0,2-0,5 % av den tillsatta substratmängden uttryckt som torrsubstans.

Informationen är baserad på information från sju biogasanläggningar. En åttonde biogasanläggning som använder enbart gödsel som substrat, som också ingick i studien, reducerade svavelvätekoncentration till endast 300 ppm och i detta fall räckte ett ton slam till för att producera 8000 Nm<sup>3</sup> biogas. Resultatet från samtliga åtta biogasanläggningar finns redovisade i Figur 4.

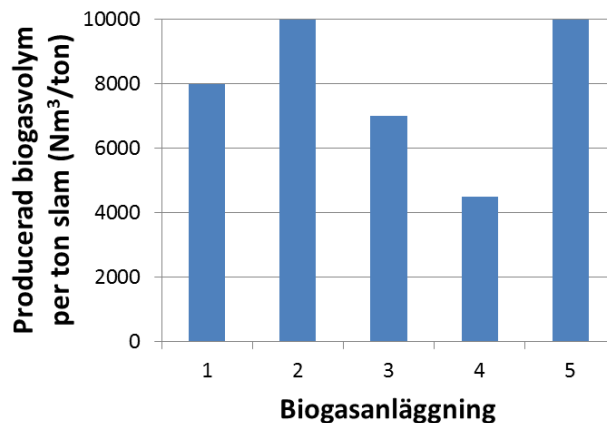


Figur 4: Biogasvolym som kan produceras från gödsel med en svavelvätekoncentration under ca 100 ppm vid tillsats av ett ton vattenverksslam med 15 % TS. Anläggningen 8\* är ett undantag eftersom denna strävar efter att hålla svavelvätekoncentration under 300 ppm.

I samröttningsanläggningar, dvs. biogasanläggningar som använder en blandning av substrat (såsom gödsel, stärkelse, matavfall och slakteriavfall) räcker ett ton vattenverksslam till för att reducera svavelvätekoncentration i en betydligt större biogasvolym. I de fem samröttningsanläggningarna som ingick i denna studie räckte vattenverksslammet till för att hantera en mer än dubbelt så stor biogasvolym jämfört med de gödselbaserade biogasanläggningarna (Figur 5).



Detta beror på att svavelinnehållet i substratet är lägre i förhållande till den gasvolym som produceras. Dock är variationen mellan samrötningsanläggningarna större eftersom sammansättningen av substratet får en större betydelse. Om andelen gödsel fortsatt är kraftigt dominerande (såsom i biogasanläggning 4 i Figur 5) kommer också resultat likna det som de gödselbaserade biogasanläggningarna har.



Figur 5: Biogasvolym som kan produceras i en samrötningsanläggning med en svavelvätekoncentration under ca 100 ppm vid tillsats av ett ton vattenverksslam med 15% TS.

Mängden järn som behöver tillsättas beroende på om vattenverksslam eller järnklorid används har jämförts i två biogasanläggningar. I båda fallen har det behövts ungefär 2,5 till 3 gånger mer järn om vattenverksslam används istället för järnklorid för att uppnå en liknande effekt.

### 3.2.2 Varierar funktionen beroende på om slammet lagras i ett varmt eller kallt klimat?

Bara en av de tillfrågade biogasanläggningarna har upplevt en skillnad i hur effektivt vattenverksslammet fungerar för att reducera svavelväte beroende på om det lagrats i varmt eller kallt klimat. De har upplevt att slammet tappar lite av sin funktion om det lagrats under lång tid på sommaren. Det som händer på sommaren är att det bildas järnkristaller i ytan när slammet torkar av solen. Dock verkar inte detta problem vara särskilt stort eftersom endast en av de tillfrågade producenterna identifierat det som problematiskt.

### 3.2.3 Inblandning av vattenverksslammet och observerade driftstörningar

Väldigt få problem har upplevts i samband med hanteringen av vattenverksslammet i biogasanläggningarna. Vissa driftstörningar har dock upplevts av de som rötar fast substrat. De blandar det fasta substratet med vattenverksslam och matar in det i röt-kammaren med en skruv. Det har förekommit att matningen slutat fungera på grund av att substratet blivit för vått efter inblandningen av slammet, vilket gjort att substratet inte följer med skruven upp utan glider baklänges. Lösningen på problemet har varit att blanda slammet med torrare material och gärna också med längre halmstrån. En av dessa

anläggningar har också observerat att delar av slammet legat kvar på botten av röt-kammaren när denna öppnats. Ingen åtgärd har vidtagits, men detta är en indikation på att upplösningen av slammet går långsamt när det matas in tillsammans med fast material.

I flertalet av de anläggningar som använder flytande substrat tillsätts vattenverksslammets med skopa i en blandningsbrunn. I dessa brunnar är pH ofta ganska lågt och omrörningen kraftig. Ett lågt pH underlättar upplösningen av slammet eftersom järnets löslighet ökar med sjunkande pH. De som använder sig av denna typ av inblandning har ej upplevt några problem med att lösa upp slammet och har inte heller sett några rester av icke upplöst slam i blandningsbrunnen när denna tappats ner.

För reningsverk finns det oro för att tillsatsen av vattenverksslam påverkar avvattningssegenskapen för rötresten. I detta projekt har denna fråga ej kunnat behandlas eftersom inget reningsverk deltagit i utvärderingen.

### 3.2.4 Transportering av vattenverksslam

Vattenverksslammets har en egenskap som gör att det fastnar i flaket när det transporteras. Av denna anledning har olika åtgärder vidtagits för att göra hanteringen och rengöringen enklare. Många har halm eller sågspån på flaket innan de fyller på slammet för att rengöringen ska bli enklare. En annan möjlighet är att spraya flaken med rapsolja eller liknande innan slammet lastas. Det finns också en risk i kallt klimat att slammet fryser fast i flaket. En transportör använder speciella flak endast avsedda för att transportera slammet.

## 3.3 VATTENVERKSSLAMMETS PÅVERKAN PÅ RÖTRESTEN

Med antagande om att vattenverksslammets är inert och inte bryts ner i röt-kammaren kommer hela den tillsatta mängden vattenverksslam att passera igenom röt-kammaren. Utifrån den information som samlats in från de undersökta biogasanläggningarna som ingår i studien bidrar vattenverksslammets till en ökad rötrestmängd som är ca 1-3 % baserad på torrsubstans, dvs. ca 1-3 % av TS. Om hänsyn även tas till att rötresten i de flesta anläggningar har en TS-halt runt 5 % medan vattenverksslammets har en TS halt runt 15% innebär det att volymsökningen av rötresten som skall hanteras är maximalt 1%, dock stiger TS-halten i rötresten något, ca 0,1-0,3 %.

Mängden metall i rötresten ökar ca 1-3 % gånger de metallkoncentrationerna som redovisas i Tabell 1. I bilaga 1b till certifieringsreglarna för Biogödsel enligt SPCR 120 (Avfall Sverige, 2016b) är det angett speciella villkor för användningen av vattenverksslam. Andelen av var och en av metallerna bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink, får inte utgöra mer än 15% av den totala mängden av metallen i den certifierade biogödseln. Dessutom får halten Nickel i biogödseln från vattenverksslammets inte överstiga 6 mg/kg biogödsel (våtvikt).

År 2014 producerade 35 samrötningsanläggningar biogas motsvarande totalt 717 GWh (Energigas Sverige 2015). Anläggningarna producerade samtidigt 1 394 658 ton biogödsel. Det har då producerats 514 kWh/ton biogödsel. Om det antas att 1

Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> motsvarar 9,81 kWh (Berglund och Börjesson, 2003) och att biogasen innehåller 65% metan (Nelsson, 2009) motsvarar det en produktion på 81 m<sup>3</sup> biogas per ton biogödsel. Enligt värden för anläggning 1,2,3 och 5 i Figur 5 tillsätts det i genomsnitt 1 ton vattenverksslam per 8750 Nm<sup>3</sup> biogas som har producerats (anläggning 4 anses inte vara representativ, så det bortses från denna). Med ovanstående gasproduktion motsvarar det att man tillsätter 1 ton vattenverksslam per 108 ton biogödsel som produceras i anläggningen (exklusive det tillsatta vattenverksslammet), eller 9,2 kg vattenverksslam per ton biogödsel som produceras.

I Tabell 2 framgår det hur denna tillsats påverkar koncentrationen av metaller i biogödseln. Utgångspunkt för beräkningen är medelvärdet av metallhalterna i biogödseln för de 18 anläggningar som var certifierade inom SPCR 120 under 2014 (Persson, 2015). Kompletterande information om beräkningen är redovisad i Bilaga 2. Nickel är inte med i Tabell 2 eftersom det inte finns risk att halten av nickel kan nå upp till 6 mg/kg våtvikt med den koncentration av nickel som finns i vattenverksslammet. Bland övriga tungmetaller är det bly och krom som utgör den största delen av den totala metallkoncentrationen med sina 7 respektive 6%. Detta är dock med marginal under den gräns på 15% som anges enligt SPCR 120. Därför anses inte heller detta utgöra något problem för användningen av vattenverksslammet.

Med tillsatsen av vattenverksslammet, som antas vara inert, ökar S-halten i biogödseln. Räknat med samma tillsats som ovan ökar TS i biogödseln från 3,9 till 4,0 % (se Bilaga 2). En effekt av detta är att koncentrationen av metaller angett som mg/kg TS minskar för t.ex. koppar och zink, medan koncentrationen ökar lite för bly och krom (se Tabell 2).

Tabell 2: Genomsnittlig koncentrationen av tungmetaller i biogödsel för de anläggningar som var certifierade 2014 (Persson, 2015) före och efter en beräknad tillsats av vattenverksslam. TS i biogödseln är 3,9 % före tillsats av vattenverksslam. Koncentration i slammet är ett medelvärde av analyserade data från enligt Tabell 1 (se Bilaga 2).

		Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
Koncentration i biogödsel (Persson, 2015)	mg/kg TS	3,6	0,4	89	8,3	0,06	292
	mg/kg våtvikt	0,14	0,016	3,47	0,32	0,002	11,4
Koncentration i vattenverksslam	mg/kg	1,15	0,019	2,15	2,25	0,01	8,27
Innehåll i 9,2 g vattenverksslam*	Mg	0,011	0,0002	0,020	0,041	0,00007	0,150
Total mängd i 1 kg biogödsel + 9,2 g vattenverksslam	Mg	0,15	0,016	3,49	0,34	0,002	11,5
Andel metall från vattenverksslam	%	7,0	1,1	0,6	6,0	3,0	0,7
Koncentration i biogödsel med vattenverksslam	mg/kg TS	3,7	0,4	86	8,4	0,06	281

\*: 9,2 g vattenverksslam sätts till varje kg biogödsel som produceras i anläggningen enligt beräkning ovan

Eftersom cirka hälften av vattenverksslammet består av olika svårnedbrytbara organiska föreningar bidrar vattenverksslammet till en ökad mullhalt i den åkermark där rötresen sprids som gödselmedel. I många svenska jordar är mullhalten låg varför detta är ett välkommet bidrag för att förbättra markens egenskaper. Mullhalten förbättrar både fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaper i marken såsom dess vattenhållande förmåga, näringsinnehållet, buffertkapaciteten och markorganismernas aktivitet.

## 4 Slutsatser

Vattenverksslammet fungerar mycket effektivt som en tillsats för att reducera svavelvätekoncentrationen vid biogasproduktion. Detta har demonstrerats i 13 fullskaliga biogasanläggningar under detta projekt. Enligt de kostnader som redovisats för transport och hantering av slammet finns det potential att spara upp till 50 % jämfört med om dessa anläggningar skulle använt järnklorid istället.

I de gödselbaserade biogasanläggningarna räcker ett ton vattenverksslam med 15 % TS till för att reducera svavelvätekoncentrationen till under 100 ppm i 2-3000 Nm<sup>3</sup> biogas. I de samröttningsanläggningar som deltog i studien räckte samma mängd slam till mer än dubbelt så mycket gas, ca 8000 Nm<sup>3</sup>. I båda fallen beror den exakta siffran på substratsammansättningen samt till vilken nivå som svavelvätekoncentrationen reduceras.

Innehållet av tungmetaller i vattenverksslammet är mycket under de koncentrationer som används inom Avfall Sveriges certifieringssystem, SPCR 120. Detta har varit avgörande för att få vattenverksslammet godkänt som ett tillsatsmedel inom SPCR 120, vilket öppnat dörren för användning av slammet i certifierade samröttningsanläggningar.

## 5 Referenser

- Avfall Sverige, 2016, Certifieringsregler för biogödsel SPCR 120.
- Avfall Sverige, 2016b, Bilaga 1 till Certifieringsregler för biogödsel SPCR 120. Version 09 Maj 2016.
- Bauer, F., Hulteberg, C., Persson, T., Tamm, D., Biogas upgradering – Review of commercial technologies, 2013, SGC Rapport 2013:270, <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC270.pdf>
- Berglund M. och Börjesson, P., 2003, Energianalys av biogassystem. Rapport nr. 44. Institution för teknik och samhälle, Avdelningen för miljö- och energisystem. Lunds Tekniska Högskola.
- Broberg, A., 2013, Metoder för svavelvätereducering, Hushållningsskapets förbund 2013, <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/691.pdf>
- Energigas Sverige, 2015, Produktion och användning av biogas och rötresten år 2014. Energimyndigheten. ES 2015:03
- Möestedt, J., Påledal Nillson, S. & Schnürer, A., 2013, The effect of substrate and operational parameters on the abundance of sulphate reducing bacteria in industrial anaerobic biogas digester, *Bioresource Technology*, 132 (2013) 327-332
- Naturvårdsverket, 2009, Riktvärden för förorenad mark. Modellbeskrivning och vägledning. Rapport 5976. Stockholm.
- Nelsson, C., 2009, Varierande gaskvalitet - Litteraturstudie. SGC-rapport 209. Svenskt gasteknisk center, Malmö, <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC209.pdf>
- Persson, E., 2015, Årsrapport 2014 Certifierad återvinning, SPCR 120. Avfall Sveriges utvecklingsåtgärder rapport 2015:20.
- Schnürer, A., Jarvis, Å., 2009, Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar, SGC-Rapport 207, <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC207.pdf>
- Yekta, S. S., 2014, Chemical speciation of sulfur and metals in biogas reactors. Implication for cobalt and nickel bio-uptake processes. The Department of Thematic Studies - Environmental Change Linköping, Linköping University. PhD thesis.

## Bilaga 1 – Tungmetallanalyser

Analys	Formel	2015-10-12	2016-04-11	2016-06-27	Enhet
Torrsubstans	TS	16,4	14,2	14,9	%
LOI, Loss on ignition	LOI	57	59	57	%
Aluminium	Al	0,14	0,21	0,23	% av TS
Aluminiumoxid	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	0,39	0,44	% av TS
Fosfor	P	0,07	0,062	0,074	% av TS
Fosforoxid	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,14	0,17	% av TS
Järn	Fe	30	29	28	% av TS
Järnoxid	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43	41	40	% av TS
Kalcium	Ca	0,13	0,13	0,21	% av TS
Kalciumoxid	CaO	0,18	0,19	0,3	% av TS
Kalium	K	<0,096	<0,096	<0,099	% av TS
Kaliumoxid	K <sub>2</sub> O	<0,12	<0,12	<0,12	% av TS
Kisel	Si	0,84	0,74	1,2	% av TS
Kiseloxid	SiO <sub>2</sub>	1,8	1,6	2,6	% av TS
Magnesium	Mg	<0,068	<0,068	<0,070	% av TS
Magnesiumoxid	MgO	<0,12	<0,12	<0,12	% av TS
Mangan	Mn	0,043	0,026	0,13	% av TS
Manganoxid	MnO <sub>2</sub>	0,069	<0,12	0,2	% av TS
Natrium	Na	<0,085	<0,085	<0,087	% av TS
Natriumoxid	Na <sub>2</sub> O	<0,12	<0,12	<0,12	% av TS
Titan	Ti	0,0056	0,0069	0,01	% av TS
Titanoxid	TiO <sub>2</sub>	0,0094	0,012	0,017	% av TS
Summa oxider		46	44	44	% av TS
Antimon	Sb	<2,1	<2,1	<2,1	mg/kg TS
Arsenik	As	7,2	5,1	8,6	mg/kg TS
Barium	Ba	40	<23	45	mg/kg TS
Beryllium	Be	31	28	31	mg/kg TS
Bly	Pb	6,5	5,3	11	mg/kg TS
Bor	B	<5,1	<5,1	<5,2	mg/kg TS
Cerium	Ce	10	11	26	mg/kg TS
Cesium	Cs	<0,12	<0,12	<0,12	mg/kg TS
Dysprosium	Dy	1,9	2,4	<0,058	mg/kg TS
Erbium	Er	1,3	1,5	<0,024	mg/kg TS
Europium	Eu	0,036	0,46	<0,012	mg/kg TS
Gadolinium	Gd	2,5	3,2	<0,058	mg/kg TS
Gallium	Ga	5	4,3	5,1	mg/kg TS
Germanium	Ge	<1,2	<1,2	<1,2	mg/kg TS
Guld	Au	<0,11	<0,11	<0,11	mg/kg TS
Hafnium	Hf	0,11	0,12	0,15	mg/kg TS

Holmium	Ho	0,41	0,51	<0,012	mg/kg TS
Indium	In	<0,12	<0,12	<0,12	mg/kg TS
Iridium	Ir	<0,11	<0,11	<0,11	mg/kg TS
Kadmium	Cd	<0,11	<0,11	0,13	mg/kg TS
Kobolt	Co	4,3	5	4,7	mg/kg TS
Koppar	Cu	11	17	15	mg/kg TS
Krom	Cr	12	18	15	mg/kg TS
Kvicksilver	Hg	<0,051	<0,051	0,052	mg/kg TS
Lantan	La	12	16	19	mg/kg TS
Litium	Li	<5,1	<5,1	5,2	mg/kg TS
Lutetium	Lu	0,23	0,27	<0,012	mg/kg TS
Molybden	Mo	4,1	4,5	4,1	mg/kg TS
Neodym	Nd	12	16	21	mg/kg TS
Nickel	Ni	5,5	5,3	6,7	mg/kg TS
Niob	Nb	0,24	0,33	<0,12	mg/kg TS
Palladium	Pd	<0,11	<0,11	0,20	mg/kg TS
Platina	Pt	<0,11	<0,11	<0,11	mg/kg TS
Praseodym	Pr	3	3,8	<0,12	mg/kg TS
Rhenium	Re	<0,11	<0,11	<0,11	mg/kg TS
Rodium	Rh	<0,11	<0,11	<0,11	mg/kg TS
Rubidium	Rb	<5,7	<5,7	<5,8	mg/kg TS
Rutenium	Ru	<0,11	<0,11	<0,11	mg/kg TS
Samarium	Sm	2,3	2,9	<0,12	mg/kg TS
Selen	Se	3,9	3,7	3,4	mg/kg TS
Silver	Ag	<0,51	<0,51	<0,52	mg/kg TS
Skandium	Sc	<1,2	<1,2	<1,2	mg/kg TS
Strontium	Sr	2,4	3,2	4,3	mg/kg TS
Svavel	S	3000	2500	3300	mg/kg TS
Tallium	Tl	<0,51	<0,51	<0,52	mg/kg TS
Tantal	Ta	<0,023	<0,023	0,042	mg/kg TS
Tellur	Te	<0,51	<0,51	<0,52	mg/kg TS
Tenn	Sn	<0,51	0,7	0,82	mg/kg TS
Terbium	Tb	0,34	0,42	<0,012	mg/kg TS
Torium	Th	0,94	1,4	<0,12	mg/kg TS
Tulium	Tm	0,19	0,24	0,24	mg/kg TS
Uran	U	2,1	3	2,3	mg/kg TS
Vanadin	V	47	47	64	mg/kg TS
Vismut	Bi	<0,12	<0,12	<0,12	mg/kg TS
Wolfram	W	<0,23	<0,23	0,27	mg/kg TS
Ytterbium	Yb	1,3	1,6	<0,024	mg/kg TS
Yttrium	Y	18	21	23	mg/kg TS
Zink	Zn	49	50	65	mg/kg TS
Zirkonium	Zr	25	4,3	26	mg/kg TS



## Bilaga 2 – Genomsnittsvärden för tungmetaller i vattenverksslam och beräkning av TS

Vid beräkning av hur tungmetallerkoncentrationen i biogödsel ändras efter tillsats av vattenverksslam har medelvärdet från analysresultaten i Bilaga 1 använts. För Cd och Hg fanns endast ett värde över detektionsgränsen och i dessa fall har analysresultatet från 2016-06-27 använts. Först har värdena räknats om från mg/kg TS till mg/kg våtvikt med TS-värdet från samma prov och därefter har medelvärdet för metallkoncentrationen beräknats (se tabell nedan). TS-halten i biogödseln efter tillsats av vattenverksslam har beräknats enligt formeln under tabellen.

		2015-10-12	2016-04-11	2016-06-27	medel
TS	%	16,4	14,2	14,9	15,2
Pb		6,5	5,3	11	
Cd				0,13	
Cu		11	17	15	
Cr	mg/kg TS	12	18	15	
Hg				0,052	
Ni		5,5	5,3	6,7	
Zn		49	50	65	
Pb		1,07	0,75	1,64	1,15
Cd				0,019	
Cu		1,80	2,41	2,24	2,15
Cr	mg/kg våtvikt	1,97	2,56	2,24	2,25
Hg				0,008	
Ni		0,90	0,75	1,00	0,88
Zn		8,04	7,1	9,69	8,27

Beräkning av TS i biogödsel med tillsats av vattenverksslam:

$$\frac{TS_{vvs\text{slam}} * m_{vvs\text{slam}} + TS_{biog\ddot{o}dsel} * m_{biog\ddot{o}dsel}}{m_{vvs\text{slam}} + m_{biog\ddot{o}dsel}} = \frac{15,2 * 0,0092 + 1 * 3,9}{0,0092 + 1} = 4,0 \%$$

Där

$TS_{vvs\text{slam}}$  = TS på vattenverksslam = 15,2 %

$m_{vvs\text{slam}}$  = massa vattenverksslam = 0,0092 ton

$TS_{biog\ddot{o}dsel}$  = TS på biogödsel = 3,9 %

$m_{biog\ddot{o}dsel}$  = 1 ton

# VATTENVERKSSLAM REDUCERAR BIOGASENS SVAVELVÄTE

Här har vattenverksslam, som är ett avfall, demonstrerats som en värdefull resurs för biogasindustrin. Slammet som tidigare bara har förvarats på en deponi används idag i 13 fullskaliga biogasanläggningar för att reducera svavelvätekoncentrationen i biogasen.

När dricksvatten produceras i Sydsvensk vattenverk Ringsjöverket används järnklorid i den kemiska fällningen för att ta bort det organiska innehållet från sjövattnet som kommer från Bolmen. Det slam som då bildas deponeras huvudsakligen idag.

Här visar resultaten att slam från vattenverk, jämförbara med Ringsjöverket, som använder järnklorid i den kemiska fällningen är ett bra alternativ till direkt användning av järnklorid för att minska vätesulfidkoncentrationen i röt-kammaren. Att ersätta järnklorid med vattenverksslam är bra både för miljön och för ekonomin. Dessutom tar samhället på det här sättet ytterligare ett steg mot en cirkulär ekonomi.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)