

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Avvattning, hygienisering av slam samt återvinning av fosfor	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Dewatering, hygienization of sludge and retention of phosphorous	
Universitet/högskola/företag Biokol Sverige AB	Avdelning/institution [Klicka här och skriv]
Adress Drottning Kristinas väg 61, 114 28 Stockholm. Box 24235, 10451 Stockholm	
Namn på projektledare Malte Lilliestråle	
Namn på ev övriga projektdeltagare Dr Eva Björkman, Dr Stig Morling, Daniel Bergholtz, Kari Karjalainen, Benjamin Wirth, Andreas Clemens, Dr Christian Baresal,	
Nyckelord: 5-7 st Hydrotermisk förkolning, kemisk lakning, semi-batch	

Förord

Projektet har finansierats av Energimyndigheten, Vinnova och Formas via det strategiska innovationsprogrammet RE:Source, med samfinansiering från Söderås Process & VVS Teknik AB, Biokol Sverige AB, Turebergs Åkeri AB, IVL Svenska Miljöinstitutet AB samt Stig Morling ef.

Referensgrupp utgjorts av Hans Simonsson och Mats Linder vid Gästrike Vatten AB. Projektgruppen vill tacka Gästrike Vatten för deras välvilliga insatser vid diskussioner, kloka synpunkter och konkreta förslag hur gå vidare.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Summary	3
Inledning	4
Genomförande	5
Resultat	6
Diskussion.....	10
Publikationslista.....	11
Referenser, källor.....	11
Bilagor	11

Sammanfattning

Hydrotermisk förkolning (HTC) innebär att biomassa behandlas vid cirka 200 C under milda kemiska förhållanden upp till en eller några timmar. Resultatet efter processen är en slurry som enkelt kan filtreras till en vattenfas och en fast fas respektive

I ett föregående beviljat projekt, ”Increased yield of biogas by post treatment of residual sludge”, Energiforsk rapport 2016:312, har vi studerat vattenfasen och möjligheterna till att öka produktionen av biogas genom att HTC-behandla rötresterna. Resultatet i det projektet är att produktionen av biogas kan ökas med i storleksordningen 30% genom återföring av vattenfasen som uppstår vid filtrering av slurryn efter HTC-handlingen av rötresterna.

I föreliggande projekt har vi fokuserat på den fasta fasen och möjligheterna att återvinna fosfor och kol. Andra delmål har varit att konstruera HTC anläggning för små och medelstora reningsverk, studera integration med befintligt reningsverk och övergripande miljökonsekvenser.

Projektet har påvisat att mer än 90% av det fosfor som är bundet i utgående slam från reningsverk kan återvinnas. Andra fördelar är hygenisering, reducerat behov av kemikalier och energi i reningsanläggningen samt inga okontrollerade utsläpp av klimatgaser till omgivningen eftersom långtidslagring och spridning av rötrestes i det fria helt kan upphöra.

Erfarenheterna från detta projekt är att vi har validerat en process för lakning och fällning av fosfater i rötat och icke rötat slam från VA-anläggningar. Den kemiska processen för lakning och fällning av mineraler är väl känd och använd i gruvindustrin, den nya kunskapen är att vi har påvisat användbarheten att återvinna fosfor från slam från reningsverk. Andra erfarenheter är principerna för konstruktion av HTC-anläggningar avsedda för små och medelstora reningsverk och biogasanläggningar.

Syftet är att kombinera erfarenheterna från dessa två projekt, ökad biogasproduktion och fosforåtervinning, i en installation lämpad för befintliga reningsverk och biogasanläggningar som ger konkreta fördelar för operatörerna såsom ökad produktion av biogas, återvinning av fosfor, hygenisering, avvattning vilket innebär kostnadsbesparingar och miljövinster.

Som nästa steg har vi ansökt till Re-Source om en fortsättning som innebär att installera en liten HTC-anläggning vid ett befintligt reningsverk och att validera tekniken och miljövinsterna i en verklig omgivning. När resultat från en sådan validering i pilotskala föreligger och validerat föreliggande resultat - som hitintills har gjorts i laboratorieskala – bedömer vi att teknologin är mogen att implementeras i industriell skala.

Summary in English

The project explores the possibilities to retrieve phosphorous in sludge from Waste Water treatment Plants WWTOP.

The project has focused on four topics:

- validate a chemical route for retention of phosphorous from digested and undigested sewage sludge using hydrothermal and leaching technologies
- design of small and medium size HTC reactor.
- implementation study of HTC at existing sewage water treatment plants.

-overall environmental impact.

The laboratory work was been performed in Potsdam and Leipzig and in collaboration with Deutsche Biomasseforschungszentrum, DBFC.

The Energy Agency stated seven objectives for the project. The projects has fullfilled on all these points and within budget. The results in short:

-more than 90% of the phosphorous within the outgoing sludge from existing waste water treatment plants (WWTP) can be reclaimed.

-small/medium scale HTC reactor for small and mediumsized waste water treatment plants and biogas plants has been designed for enabling fully automated operation and remote supervision and control.

-integration study for an HTC unit at an existing WWTP and identification of operational benefits such as lower energy consumption, reduced consumption of chemicals, hygenization, dewatering and reduced need for transports.

-environmental assessment study and impact of the technology on hygenization, emissions of climate gases, energy consumption, transports, retention of minerals such as phosphorus and organic carbon.

In a previous project hydrothermal treatment of residual sludge from biogas plants and the potential to increase the yield of biogas was studied. This study showed a potential of 30% increase of biogas production.

These two studies in combination points forward a sustainable and economic benefical route for handling of sludge from waste water treatment plnats and from biogas plants.

The project team thanks Gästrike Vatten for their kind contributions in discussions and for suggestions how to industrilize the technology to meet operational demands.

Inledning/Bakgrund

Omhändertagande av slam är miljömässigt och kostnadmässigt stort problem för alla reningsverk i Sverige och i övriga världen. Avvattning av slam är komplicerat eftersom det innehåller vatten som är inneslutet i döda celler. Slammet innehåller organiska och oorganiska föroreningar som inte bör hamna i naturen. Slam kan bära på smittämnen i form av bakterier, parasiter, virus och svampar. Hygienisering är därför en nödvändighet.

Slammet innehåller värdefulla ämnen som har betydelse för jordbruket. Fosfor och kol är viktiga komponenter i jordbruksmark. Fyndigheterna av mineraliskt fosfor är begränsade och många bedömare varnar för att brist uppstår inom 20-30 år och därmed högre priser, "peak phosphorous". Kol är betydelsefullt i jord för att binda fukt, näringsämnen och för att skapa humus. Sedan det mekaniska jordbrukets införande på 30-talet har kolhalterna sjunkit avsevärt i markerna och

på många ställen är minskningen cirka 50%. Detta leder till jordpackning, mindre gröda och ökad erosion. Kolet i mark är dessutom en betydande kolsänka. Det är därför av stor betydelse att återvinna näringsämnen och kol ur slam från reningsverk och att återföra dessa ämnen till jordbruket. Mängd fosfor som på så vis kan återvinnas har beräknats till 30 000 ton beräknat på 1 miljon ton vått slam som ungefär motsvarar mängderna som genereras vid de svenska reningsverken.

Mål.

Projektet har följande mål enligt beslutsbrevet:

1. Att hydrotermiskt karbonisera rötat slam från reningsverk och bestämma avvattningsgraden.
2. Att bestämma kemisk sammansättning (C,H,N,S,P,Al,Ca,Fe,Mg,) i slam, rejekt samt i HTC-kol.
3. Att bestämma hur mycket fosfor som binds i HTC-kolet då slam från reningsverk hydrotermiskt karboniseras vid olika PH värden.
4. Att bestämma hur mycket av fosfor som kan utvinnas ur HTC-kolet från slam genom lakning med syra och efterföljande utfällning i basisk miljö.
5. Att relatera analysdata till befintliga förhållanden i ett mindre reningsverk för att uppskatta ekonomisk potential och miljönytta.
6. Design av utrustning för små och medelstora reningsverk.
7. Att undersöka möjligheter till systemintegrering av HTC-processen i befintliga reningsverk inklusive hantering av sidoströmmar som HTC-rejekt.
8. Att utföra en förenklad miljöpåverkansbedömning.

Projektet beviljades den 29 augusti 2016 och avslutads i maj 2017.

Genomförande

Resultat och organisation.

- A. Kemisk del:
Dokument: "Biokol Resource project", Energimyndigheten 42483-1, författare Eva Björkman
Projektgrupp: Eva Björkman Biokol och Benjamin Wirth och Andreas Clemens DBFZ
- B. HTC reaktor.
Dokument: "HTC-anläggning Re:Source. Ej spridas" Söderås Process & VVS Teknik AB. Uppgjord Kari Karjalainen.
Projektgrupp: Kari Karjalainen, Söderås P & VVS Teknik, samt Malte Lilliestråle Biokol, Stig Morling ef, och Daniel Bergholtz Turebergs Åkeri.

- C. Kundnytta.
Dokument: "Kortfattad analys av Hofors Avloppsreningsverk, Gästrikevatten"; "Förberedande miljöbedömning av HTC-processen relaterad till Hofors avloppsreningsverk". Författare Stig Morling.
Projektgrupp: Stig Morling ef, Eva Björkman, Malte Lilliestråle, Biokol samt avstämningar och diskussioner med Hans Simonsson, Mats Linder vid Gästrike Vatten
- D. Miljöpåverkansbedömning.
"Initial övergripande miljöbedömning av HTC-processen". IVL Svenska Miljöinstitutet. Författare: Christian Baresal et al
Projektgrupp: Christian Baresal, Christian Junestedt, Hugo Royen, IVL samt Stig Morling ef och Malte Lilliestråle.

Resultat

Sammanfattning av resultaten enligt Energimyndighetens sju mål för projektet.

1. HTC av slam samt avvattning.

Orötat och icke rötat slam har HTC behandlats i Parr-reaktor på laboratorium hos Atb, Potsdam, med 8 kg slam per batch. Efter HTC avvattnades substratet manuellt med hjälp av en pressduk. Uppmätta värden blev 44% TS för orötat slam och 28% TS för rötat slam. Anledningen till att HTC-materialet är så lätt att avvattna beror på att cellväggarna i det biologiska materialet blir förstörda vilket medför att tidigare bundet vatten lättare nu kan frisläppas.

Ref. bifogad rapport kemisk del, tabell 4.

2. Elementaranalys.

Elementaranalyserna för ingångsmaterial, HTC kol och vattenfas enligt tabell 1 och tabell 5. Ref. bifogad rapport Kemisk del, tabell 1 och 5

3. Andel fosfat på HTC-kolet.

Analys av proverna körda i 18 liter Parr-reaktorn i Potsdam gav resultat att 91,1% av fosfaterna i rötat slam och 93,1 % i orötat slam blir fäst vid HTC-kolet efter processen. Motsvarande test gjordes i 05 liter HTC-laboratoriereaktor i Leipzig och vid olika pH. Resultatet blev att 95,1% av fosfaterna är fäst vid HTC-kolet vid pH 8,1 och 98,7% vid pH 6,2. Påverkan från olika pH värden ökar andelen fosfor endast marginellt.

Ref. bifogad rapport Kemisk del, tabell 6.

4. Avskiljning av fosfat från HTC-kolet.

Mängden av fosfat som med hjälp av lakning i syra och fällning med hjälp av en basisk lösning som kunde registreras på laboratoriet är 90%. I laboratoriearbetet registrerades förluster uppgående till 9% av ingående mängden fosfat. Orsaken till förlusterna är material som är kvar i filterpapper, kärl mm. På grund av de små analyserade mängderna fosfat, 154 mg respektive 605 mg, blir den relativa förlusten hög. Den relativa förlusten i större skala bedöms bli avsevärt mindre. Slutsatsen som kan dras är därför att minst 90% av ingående mängd fosfat i ingående slam kan återvinnas med den föreslagna metoden. I industriell skala är återvinningen troligen i nivån 95-99%, vilket avses valideras i påföljande projekt. Ref. bifogad rapport kemisk del, tabell 7

5. Ekonomi, miljönytta och integration med befintliga reningsverk.

I samråd med Gästrikevatten studerats anläggningen i Hofors. Slutsatserna är:

- a) anläggningens utformning i Hofors kan bibehållas.
- b) en återgång till förfällning skulle medföra att en ökad del organiskt kol behålls i slamfasen vilket är positivt för HTC och innebär att det biologiska steget skulle kunna avlastas med en betydande mängd biologiskt aktivt material.
- c) Energimängden för luftning kan minskas med i storleksordningen 30%.
- d) detta leder till en mer kontrollerad nitrifikation som har två positiva effekter - utsläpp av ammoniumkväve minskar samt stabilisering av blandslammets pH på den sura sidan vilket är positivt för HTC.
- e) en modifierad drift av vattenbehandlingen möjliggör att en av slutsedimenteringsanläggningarna kan nyttjas för bräddvattenrening, vilket kan reducera okontrollerade utsläpp
- f) slutavvattnade slammet kommer vara rikt på kol och fosfor. Bägge dessa grundämnen är attraktiva för återanvändning.
- g) anläggningen får i och med HTC-processen ytterligare behandlingssteg som omfattar stabilisering och hygienisering av slammet,
- h) avvattning av HTC -substrat med mekaniska metoder kan förväntas uppnå minst 50% TS, mängderna flockningsmedel kan reduceras och transportbehovet reduceras.
- i) rejektvattnet kan återföras till röt-kammare för produktion av biogas. Potentialen för ökad biogasproduktion som tidigare har påvisats är i storleksordningen 30%. Se rapport Energiforsk 2016:312, "Increased yield of biogas by post treatment of residual sludge", E. Björkman et al.

J) Ytterligare miljömässig fördel är att rötat och orötat slam ej längre behöver förvaras i öppen miljö där rötningsprocessen fortskrider och orsakar okontrollerade utsläpp av metan och koldioxid till atmosfären. En annan fördel att risken för spridning av patogener från slam som idag långtidsbehandlas i öppen miljö och därefter sprids på åkermark elimineras helt. Ref: Stig Morling/Analyser av Hofors avloppsreningsverk. 2 dokument.

6. Design av anläggning för små och medelstora reningsverk

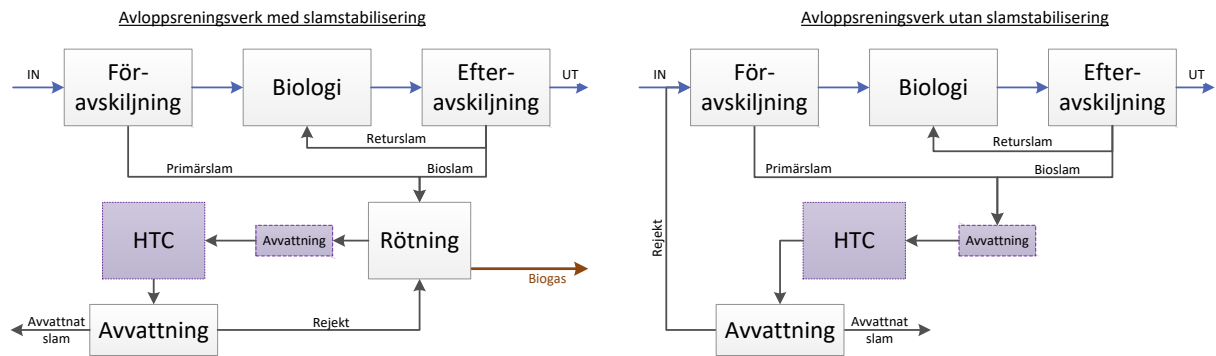
Principen är semi-batch med ett valfritt antal reaktorer och i storlek allt efter behov. Varje reaktor uppvärms och kyls individuellt. Energi återvinns genom ett system av värmeväxlare. Uppvärmningstider, uppehållstider och avkylningstider för varje reaktor regleras efter vad som är optimalt för processen. Anläggningen övervakas via webb-gränssnitt och med ventiler och reglerdon som styrs av elektroniskt -pneumatiskt kontrollsystem. Flödestransporten av slam mellan de olika kärnen i anläggningen åstadkoms med hjälp av tryckluft.

Energibehovet för uppvärmningen av ingående vätska kan reduceras med mer än 50% genom energiåtervinning medelst ett system av värmeväxlare. Effektbehovet är beroende av uppvärmningstiden och kan varieras steglöst från t.ex. 20 minuter vid 95 kW och 1 tim vid 30 kW. Alla komponenter i anläggningen är kommersiellt tillgängliga. Tryckkärlen utförs enligt tryckkärlsnormerna för att klara maximalt tryck av 25 bar vid 225C. Normala processbetingelser är beräknat till 18 bar och temperatur 200C. Ref. "HTC-anläggning Re:Source., Ej spridning": Söderås Process & VVS Teknik AB. HTC 01, HTC 02/ 2017.04.12

7. Miljöpåverkansbedömning.

Ett av de primära syftena med kommunala avloppsreningsverk (ARV) är rening av avloppsvatten och hantering av avloppsslammet som uppstår vid reningen för att minska den negativa miljöpåverkan som t.ex. utsläppen av närsalter till recipienter orsakar. Avloppsvattenrening och slamhanteringen kan vid en första anblick då uppfattas som enbart positivt. Tittar man dock på hela systemet, dvs. vad som behöver tillföras till behandlingsprocesserna i form av resurser och vilka emissioner och restprodukter som genereras kan bilden bli ett annat och vissa behandlingssteg framstår som mer eller mindre miljövänliga.

HTC-processen sker vid förhöjt tryck (~20 bar) och temperatur (~200 °C) under mellan 1 till 4 timmar, där också slammet hygieniseras. Produkten blir ett lätt filterbart HTC-slamslurry som består av ett fast kolliknande material (HTC-kol) och ett HTC-processvatten. HTC-kolet kan enligt vissa försök uppnå en TS halt på mellan 50% och 70 % enbart genom mekaniskt avvattning. Reningsverken avvattnar idag slam till cirka 25 % TS inför transport till slutdestinationen som vanligtvis utgörs av användning som jordförbättringsmedel eller biogödsel. Slammet kan rötas förre slutavvattningen vilket ger möjlighet att producera biogas och minska slamvolymerna som behöver hanteras. HTC-processen som läggs förre slutavvattningen behöver en TS-halt mellan 10-20 % TS.



Figur: Avloppsreningsverk med och utan slamstabilisering och placering vid HTC-processen, Ref Baresal et al.

Lustgas- och metanemissioner – Klimatpåverkan (GWP)

Till den direkta miljöpåverkan som dagen slamhantering medför och som framförallt påverkar klimatet (miljöpåverkansfaktor (KPI): Global Warming Potential (GWP)) räknas direkta emissioner av lustgas (N_2O) från slammet vid hantering, lagring och transport. Dessa emissioner uppstår då de biologiska nedbrytningsprocesser i slammet fortsätter när slammet har lämnat reningssteget. Tillämpas en slamrötning så uppstår dessutom metanemissioner (CH_4) som slip vid röttningsprocessen och den efterföljande gashantering inkl. t.ex. uppgradering eller användning i en gasmotor. Vid rötning uppstår även metanemissioner vid den efterföljande avvattningen och vid transport och lagring av slammet.

Läckage av näringsämnen

Ett av reningsverket primärsyfte är att på ett kontrollerat sätt avlägsna och ta hand om närsalter (kväve och fosfor) i avloppsvattnet. Närsalterna som inte bryts ner och avgår till atmosfären (kvävgas, lustgas, m.m.) hamnar i avloppsslammet i olika former. Återföring till åkermark har varit huvudmålet i svensk slamhantering för att tillgodose behovet av närsalter i jordbruket. Även om marksystemet är för heterogent och komplex för att kunna kvantifiera hur mycket av dessa näringsämnen som kan tas upp av växter så står det klart att en stor fraktion hamnar i recipienter via utläckage med markvatten och ytavrinning.

Tungmetaller och organiska föroreningar.

Som exempel för spridning av föroreningar vid användning av slam på åkermark och jordförbättringsmedel kan tungmetaller kadmium, zink, koppar och även läkemedelsrester samt hormonstörande ämnen nämnas.

Substitution av fossila bränslen.

Användning av biogasen som fordonsgas eller för produktion av el och värme ger en minskning av emissioner p.g.a. substitutionen av fossila bränslen som t.ex. bensin i fordon som annars skulle ha används för detta. En ökad biogasproduktion kan således kompensera för andra emissioner. Samtidigt behöver biogasläckaget vid slamhantering och uppgradering samt emissioner från biogasanvändning och produktion tas med i bedömning då redan en mindre fraktion av den totala biogasproduktionen (<6%) som läcker från hanteringen kan förstöra dessa miljövinster. Vid aneorob framställning av biogas bildas lika stora mängder metan och koldioxid. Rötning innebär också en kolförlust.

Andra miljöaspekter

Avloppsslam kan bära på smittämnen i form av bakterier, parasiter, virus, och svampar. De vanligaste patogenerna som man finner i svenska slam är Salmonella, Campylobacter, Giardia, Cryptosporidium, Escherichia coli, och andra enterokocker och stafylokocker samt norovirus som alla kommer in till reningsverken via avloppsvattnet. Det finns stora variationer i förekomst av levande oönskade mikroorganismer i slammet. Detta i kombination med att reningsprocesserna inte är optimerade för reduktion av patogener gör att det är svårt att förutse när ökade smittrisker förekommer. tt beakta i sammanhanget.

Sammanfattning.

Följande potentiella miljöpåverkan av HTC-processen har identifierats och beskrivits i miljöavsnittet ovan.

- + hygienisering och lättare avvattning av slammet
- + tillverkning av biobränsle
- + ökad biogasproduktion
- + inga utsläpp av klimatgaser vid efterbehandling och spridning av slam.
- +ingen spridning av patogener i slammet till naturen
- + minskat transportbehov av slam
- + minskad kemikalieanvändning i VA-anläggningar.
- + återvinning av fosfor och andra mineraler
- eventuella toxiska nedbrytningsprodukter i HTC-rejekt och HTC-kol.
- eventuella luktproblem

Som nästa steg för miljöanalysen rekommenderas en kvantitativ livscykelanalys enligt ISO 14044 där alla inflöden till och utflöden från systemet inventeras kvantitativt så långt detta är praktiskt möjligt. Alla flöden hänförs då till en så kallad funktionell enhet (räknebas). De olika flödena klassificeras sedan, dvs. hänförs till påverkanskategorier, såsom emissioner med klimatpåverkanspotential, uttag av naturresurser osv. Som bas kan data från en planerad HTC-pilot i kombination med uppskalningar och data från reningsverk användas.

Referens: "Initial övergripande miljöbedömning av HTC-processen", Christian Baresal, Christian Junestedt, Hugo Royen.

Begäran om sekretess.

Vi begär att delrapporten, bilaga B, avseende design av HTC anläggning hemligstämplas.

Diskussion

Projektets resultat har påvisat en miljövänlig metod att ta hand om slam från reningsverk och biogasanläggningar. Lagstiftningen förväntas skärpas i EU avseende hantering av slam från reningsverk och biogasanläggningar.

För reningsverket innebär den föreslagna processen minskat energibehov för luftning av slam, fullständig hygienisering, effektiv avvattning, minskat transportbehov och ökad produktion av biogas. Utsläppen av miljögifter reduceras på grund av att lagring och spridning av slam i det fria kan elimineras helt.

Mer än 90% av fosforinnehållet i det utgående slammet kan återvinnas samt dessutom betydande mängder kol. Dessa produkter kan återanvändas som jordförbättringsmedel. Fosfor är en viktig mineral för växterna och kol är förutsättningen att skapa humus och dessutom är en kolsänka.

Vi bedömer att den föreslagna processen har stora miljömässiga och kostnadsmässiga fördelar för operatörerna och samhället.

Publikationslista**Referenser, källor**

”Phosphorous reclamation through hydrothermal carbonisation of animal manure”
Hielman et al, Environmental Science and technology 48, 2014, 10323 - 10329j

Bilagor

SLUTRAPPOR1.docx



HTC anläggning
Re.Source Ej Spridas



Retention of



Miljöanalys av HTC



Rapport för HTC
försök Gästrikevatte



Resource LCA b.pdf



HTC anläggning
Re.Source Ej Spridas

