

RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

Hållbar hantering av slam från vattenreningsverk

Projektperiod: September 2017 och till december 2019
Projektnummer: 42483-2

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program

Hållbar hantering av slam från vattenreningsverk

Sustainable handling of sludge from sewage treatment plants

Titel på projektet – svenska Hållbar hantering av slam från vattenreningsverk
Titel på projektet – engelska Sustainable handling of sludge from sewage treatment plants
Universitet/högskola/företag Biokol Sverige AB
Adress Drottning Kristinas väg 61, 114 28 Stockholm
Namn på projektledare Malte Lilliestråle
Namn på ev övriga projektdeltagare Kari Karjalainen, Christian Baresel, Hans Simonsson, Rickard Widerberg, Lukas Bigum, Stig Morling
Nyckelord: 5-7 st Avloppsslam, HTC, avvattning, fosfor, pilotanläggning, miljö- och kundnytta

Förord

Samfinansiering:

Projektet finansieras av RE:Source, dvs Energimyndigheten, Vinnova och Formas, med 48%. Resterande del av projektet finansieras av Biokol Sverige 11%, Söderås Process & Engineering AB 40% och GästrikeVatten 1%.

Andra som bidragit till lyckosamt projekt: Södra Norrlands Hamnar & Logistik AB, Svenska Miljöinstitutet IVL

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	3
Inledning och bakgrund	4
Projekt mål	5
Genomförande	5
Resultat och diskussion	5
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg	8
Publikationslista	8
Bilagor	8

Sammanfattning

Sverige står inför ett grundläggande och nödvändigt paradigmskifte avseende hantering av slam från reningsverk. Det behövs effektiv avvattning och hygenisering samt återvinning av fosfor och andra mineraler.

Hydrotermisk behandling (HTC) av slammet uppfyller krav avseende avvattning, hygenisering och återvinning av fosfor. En annan fördel är återvinning av biologiskt kol som kan uppgraderas till bränsle, jordförbättringsmedel eller aktiverat kol. HTC möjliggör också en betydande ökning av produktion av biogas.

Projektet har validerat tidigare resultat samt skapat ytterligare kunskap avseende HTC som är av betydelse vid uppskalning av tekniken i industriell skala. En pilotanläggning med full funktionalitet har uppförts i Norrsundet.

HTC tekniken är kommersiellt mogen (TRL8) och kan vara ett både miljömässigt och ekonomiskt fördelaktigt alternativ. Nästa steg är att bygga vidare på erfarenheterna från projektet och lägga grunden för ett företag i Norrsundet med syfte att ta hand om slam i industriell skala från reningsverk och cellulosaindustri.

Projektet har beskrivit nyttan för operatörer och samhället med HTC som teknologi för hantering av slam.

Summary

There is a need for better procedures to take care of municipal sewage sludge. Dewatering, hygienization and retrieval of phosphorus and low operational costs are requested by operators.

Hydrothermal carbonization (HTC) is a commercially available technology that can be a candidate for management of "bio-sludge" in the future. The technology enables efficient dewatering and hygienization. Retrieval of phosphorus with high selectivity has been demonstrated in the project. Within the project an HTC-pilot plant for semi-batch operation was designed and put into service. Operational parameters for cooling for optimal phosphorous recovery was studied in the project. Another valuable product from the process is "hydro-char" that can be valorised as fuel, soil improvement or processed into activated carbon. HTC technology also enables a significant increase of production of biogas.

Benefits of HTC for management of sewage sludge has been studied and summarized.

Inledning och bakgrund

Slam från reningsverk innehåller mikroföroreningar och patogener som ej skall spridas i naturen. Slammet innehåller också fosfor, biokol och värdefulla mineraler som kan återvinnas.

Projektet har visat att hydrotermisk förkolning (HTC) är en mogen teknologi för slamhantering. Fördelarna är effektiv avvattning och hygienisering, återvinning av fosfor, andra mineraler och biokol. En annan stor fördel är möjligheten till ökad produktion av biogas.

Huvudmän i projektet var Biokol Sverige AB och Söderås Process- och Engineering AB. Energimyndighetens samfinansiering var 48%. Projektet påbörjades 2017-09-21 och avslutades 2020-12-31.

Projektet är ett innovationsprojekt som syftar till en hållbar hantering av slam från kommunala avloppsreningsverk och annat bioslam t.ex. från cellulosaindustri med användande av teknik för hydrotermisk förkolning, (HTC, Hydrothermal Carbonization). I projektet har också ingått att konstruera och bygga en skalenlig pilot- och experimentanläggning med full funktionalitet.

HTC-processen sker vid cirka 200°C och 20 bars tryck. Under processen dehydrofieras biomassan och genomgår succesiva molekylära och strukturella omvandlingar. Kvoterna för relativa mängderna av syre och väte i förhållande till kol (O/C resp H/C) sjunker vilket innebär att andelen kol ökar vilket leder till att energiinnehållet ökar. Efter processen erhålls en slurry som enkelt kan avvattnas till en fast fas, s.k. ”hydro-kol”.

Projektets syfte är att validera resultat från föregående projekt (Energimyndigheten 42483-1) avseende återvinning av fosfor från HTC-behandlat avloppsslam. Det övergripande målet för projektet är att validera HTC-teknologin i syfte att skapa ett mer resurseffektivt samhälle, reducera utsläpp av växthusgaser och eliminera spridningen av skadliga mikroföreningar och patogener till miljön.

Alla Sveriges kommuner står inför stora utmaningar avseende hantering av vattenverksslam och att uppfylla förväntade skärpta regler på EU-nivå. Sammanlagd volym slam från avloppsreningsverk i Sverige är ca 1 miljon ton och till detta kommer ett antal hundra kiloton från cellulosaindustrier, rötgasanläggningar och livsmedelsindustri. Kostnaderna för hanteringen av slammet uppskattas vara i storleksordning 1 miljard kr/år.

Projektet har föregåtts av en tidigare etapp med projektnummer 42483-1 (RE:Source) där målsättning var att uppskatta den kommersiella och miljömässiga nyttan med hydrotermisk hantering av slam från reningsverk, undersöka hur mycket fosfor som går att utvinna ur HTC-behandlat slam samt att utforma design för teknisk HTC-utrustning lämpade för små och medelstora reningsverk. I ett parallellt projekt (Energiforsk 2016:312, ”Increased yield of biogas by post treatment of residual sludge”) undersöktes potentialen för att öka utbytet av biogas från anaeroba röt-kammare vid avloppsreningsverk med HTC-tekniken. Principen är att

processvattnet från HTC efter avvattning från hydro-kolet återcirkuleras till röt-kammaren i relation 1:5 (processvatten:slam). Med detta kan förfarande mängden biogas ökas med upp till 30%.

Projektmål

Projektet har följande delmål:

- Att avvattna/torka slammet till minst 60% torrhalt.
- Att återvinna minst 80% av fosfor genom våtkemisk lakning och fällning.
- Undersöka om avkylningshastigheten påverkar hydro-kolets och processvattnets sammansättning av fosfor.
- Att konstruera en skalenlig HTC pilotanläggning som modell för kommersiella anläggningar avsedda för placering ”end- of- pipe” vid avloppsreningsverk och biogasanläggningar.
- Att uppskatta miljömässiga för- och nackdelar och kundnytta.

Genomförande

Arbetet var uppdelat i fyra delprojekt, så kallade arbetspaket (AP):

- AP-1:** Lakning avseende verifiering och fortsatt utvecklingsarbete utifrån tidigare beviljade genomförbarhets-/förstudie projektnummer 41760-1 och 42483-1.
- AP-2:** Avkylningshastighetens inverkan efter avslutad HTC process på produkternas sammansättning. Undersökning av den kemiska sammansättningen av slam, hydro-kol och processvatten samt processvattnets organiska innehåll.
- AP-3:** Konstruktion och uppförande av en HTC-reaktor för semi-batch process. Reaktorn skall vara skalenlig och ha samtliga funktioner och gränssnitt som krävs för tillämpning i kommersiell skala.
- AP-4:** Miljö och kundnytta.
Miljömässiga och kostnadsmässiga fördelar att använda HTC-tekniken.

Resultat och diskussion

- AP-1** I föregående studie 42483-1 konstaterades att 95,7% av fosfor kunde lakas och fällas ut kemiskt, men att därvid ca 80% av Al och Fe som finns på hydro-kolet också kommer med i fällningen. Arbetet i detta projekt har syftat till att validera resultatet och undersöka möjligheter för selektiv utfällning av fosfor. Studien bekräftade att de huvudsakliga elementen på hydro-kolet är Al, Fe, P, Ca. Vid lakning med stark syra avskiljs de flesta elementen från hydro-kolet och kan fällas ut i basisk lösning. Två syror undersöktes vardera med 3 olika koncentrationer för sur lakning och 3 olika pH-värden för alkalisk lakning. Från studien dras slutsatsen att

med den ovan angivna metoden kan cirka 70% av fosfor återvinnas med låga halter av metallföreningar uppgående till 8,5% Al och 7,5% Fe. Studien visade också att det finns potential att ytterligare öka utbytet av selektiv återvinning av fosfor med våtkemiska metoder. HTC-slurryn kan lätt avvattnas till > 60% TS och torkas till > 90% TS. Resultaten som erhålls bekräftar att våtkemisk fosforåtervinning från avloppsslam som har behandlats i HTC process är en praktiskt användbar metod.

Arbetet utfördes som examensarbete vid Kungliga Tekniska Högskolan med titeln: "Phosphorus recovery from Sewage sludge hydrochar", Chemical Science and Engineering, 30 poäng, Stockholm 2019. Bilaga 1

AP-2 Nedkylningshastighetens påverkan på fasdistribution av fosfor i hydrokol och processvatten undersöktes. 5 kg avvattnat avloppsslam från Norrsundets avloppsreningsverk användes i experimenten och fosforkoncentrationen uppmättes till 3,2 g/kg torrs substans. Tre nedkylningstider studerades: - långsam nedkylning: 5,25 timmar, naturlig nedkylning: 2,5 timmar och hastig nedkylning: 0,5 timmar. HTC drifttemperatur var 220 °C och substratet kyldes till 35 °C. Slutsatsen av experimenten är i linje med vad som konstaterades redan i studie Energiforsk 216:312. Efter HTC-behandlingen av avloppsslam är mer än 99,7% av den ursprungliga mängden fosfor aggregerat i hydro-kolet. Vid hastig nedkylning av HTC-slurryn är mängden fosfor i vätskefas hälften så stor jämfört med långsam och naturlig nedkylning. Dock är fosforkoncentrationen i vätskefasen så pass ringa i samtliga experiment att den totala påverkan av nedkylningshastigheten av HTC-slurryn på fasdistributionen av fosfor är försumbar. Resultatet är viktig kunskap vid konstruktion av kommersiella anläggningar. Bilaga 2.

AP-3 I Norrsundet har uppförts en skalenlig HTC reaktor med full funktionalitet och som kommer användas i framtiden för optimering av processbetingelser av slam från reningsverk, biogasanläggningar och cellulosafabriker. Arbetet utfördes av SPVS Engineering AB.

Anläggningen består av ett antal moduler:

1. Kärn för ingående material för tillsats och blandning av vatten och olika kemikalier samt förvärmning.
2. Reaktor med dubbelmantlad oljeuppvärmning för inställning av valfria temperaturprofiler för uppvärmning och nedkylning. Olja används för indirekt uppvärmning och nedkylning. Oljevärmsaggregat med stor effekt.
3. Kärn för HTC-slurryn efter process.
4. Filterpress.
5. Elektronisk styr- och reglerutrustning.

Anläggning provkördes i november 2019 och uppfyller kraven och förväntningarna som ställdes i projektet. Bilagor 3 och 4, EJ SPRIDNING.

AP-4 Miljö och kundnytta.

IVL har utfört en analys av miljö och kundnytta med HTC. Avloppsvatten är ett urbant avfallsflöde som innehåller mycket växtnäring och mineraler som bör återvinnas och användas utan att riskera kontaminering av mark, luft och vatten. Den totala förbrukningen av fosfor i Sverige med ursprung i råfosfat uppgår till ca 11 000 ton. Fosfor utvunnet ur slam från kommunala reningsverk skulle kunna ersätta drygt 30% av fosfor som behövs i lantbruket. En statlig utredning undersöker för närvarande hur slamspridningsförbud med tillhörande krav på fosforåtervinning kan utformas. En slutsats är att Sverige står inför ett grundläggande och nödvändigt paradigmskifte avseende slamhanteringsprocessen. För mer information, se Bilaga 5.

Bilaga 6 är en översikt av reningsverk som administreras av Gästrikre vatten. Sammanlagt bedrivs verksamhet vid 22 reningsverk av olika storlekar. Det största verket betjänar 91 000 PE (personequivallenter) och det minsta 14 PE. Sammanlagda slammängden är 13 239 ton vilket motsvarar 2 456 ton (TS). Sammanlagda mängden fosfor i slammet är i storleksordningen 130 ton. Produktionen av biogas vid Duvbackens avloppsreningsverk är 7 084 MWh/år. För att avvattna slammet används centrifuger och åtgången av förtjockningsmedel (polymer) är 37 ton/år.

En fördel med HTC är att slurryn kan avvattnas i konventionell filterpress till > 60%TS utan användning av förtjockningsmedel och med lägre elektricitetsförbrukning för centrifuger. Slammet lagras idag utomhus i väntan på transport och avger klimatgaser. Slammet används som insatsvara för framställning av anläggningsjord, täckning av deponier, jordförbättring mm. Nedbrytningsprocesserna av biomassan fortsätter vilket orsakar ofrivilliga utsläpp av klimatgaser. Slammet innehåller också mikroföroreningar, patogener och DNA-strängar från döda bakterier som kan vara skadliga i miljön.

Med HTC skulle följande fördelar uppnås för Gästrikre Vatten:

- a) Inga utsläpp av klimatgaser från redan avvattnat slam.
- b) Eliminering av patogener, DNA fragment och organiska mikroföroreningar i avvattnat slam.
- c) Ökad biogasproduktion med ca 2000 MWh.
- d) Ökad torrhalt för avvattnat slam från 25% till 65% och därmed minskat transportbehov.
- e) Återvinning av ca 100 ton fosfor och 2000 ton biokol.
- f) Slam från de mindre reningsverken kan transporteras till en eller flera större HTC-anläggningar.

I studien konstaterades att den övervägande andelen av fosfor och andra mineraler i slammet fixeras i hydrokol-fraktionen och kan utvinnas genom våtkemisk lakning och fällning. I studien konstaterades också att den termiska energin som krävs för HTC mer än väl kompenseras av energitillskottet från det ökade utbytet av biogas. Ytterligare energi kan tas till vara genom värmeväxlare som återför värmen från utgående, processat slam till inkommande flöde. I studien konstaterades att fördelar med HTC processen är dehydrofiering av slammet som leder till högre relativt

kolinnehåll, enkel avvattning och reducerad volym. Den fasta fasen är också utgångsvara för många olika slags värdefulla produkter såsom pellets, jordförbättring och aktivt kol. En miljömässig fördel är också att rötprocesserna i slammet upphör efter HTC-processen, och att därmed ingen ytterligare metan och koldioxid bildas såsom när rötat och orötat slam läggs på kompost. Elementaranalys av hydrokolet visade att Al, P, Ca, Fe, S förekommer i signifikanta mängder, men förekomsten av övriga ämnen och tungmetaller är mycket ringa. Båda studierna enligt ovan indikerade att den tekniska, ekonomiska och miljömässiga potentialen för hydrotermisk förkolning av slam är mycket stor. Målet med projektet var att påvisa att slam är en resurs i en cirkulär ekonomi och dess biprodukter kan förädlas till kommersiella nyttigheter.

Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Projektets resultat ligger till grund för etablering av Norrsundet Slamförädling AB. Bolagets verksamhet är hantering avloppsslam från reningsverk och bioslam från cellulosaindustri och därvidlag utvinning av fosfor och framställning av bränsle, jordförbättringsmedel och aktiverat kol.

Resultaten i projektet bekräftar att hydrotermisk karbonisering av avloppsslam är en mogen teknologi som har potential att bli en nyckelteknik för framtida hantering av kommunalt och skogsindustriellt bioslam.

Vi tackar Energimyndigheten för stöd och gott samarbete. Jag vill också tacka deltagarna i projektet för ett konstruktivt och intensivt arbete. Under projektets gång har flera av deltagarna deltagit i externa sammankomster för slamhantering ("Slamdaggar") och kunnat bidra med värdefull kunskap och erfarenheter. Vi ser med tillförsikt fram emot framväxten av många kommersiella HTC anläggningar i Sverige och Europa inom en inte så avlägsen framtid.

Deltagare i projektet har varit Cristian Baresel, IVL, Kari Karjalainen, SPVS Engineering AB, Rickard Widerberg och Lukas Bigum, KTH, Stig Morling, Hans Simonson, Gästrike Vatten AB

Publikationslista

Alla Tider's, utgåva nr. 4, sida 3 April 2020. "Ska Norrsundet bli centrum för hållbar slamhantering?"

Bilagor

Bilaga 1:

"Phosphorous recovery from sewage sludge hydrochar".

Degree project in Chemical Science and Engineering, second cycle, 30 credits, 2019.

Bilaga 2: EJ SPRIDNING

”Nedkylningshastighetens påverkan på fördelningen av fosfor i vätskefas och i fast fas”

Bilaga 3. EJ SPRIDNING

”HTC anläggning Norrsundet, översikt”.

Bilaga 4. EJ SPRIDNING

”HTC anläggning Norrsundet”.

Bilaga 5.

”Miljö- och Samhällsnytta av HTC-processen”

Bilaga 6.

”Översikt reningsverk Gästrike Vatten”

Bilaga 6b.

”Miljömässiga för-nackdelar samt ekonomisk potential för Gästrike vatten”

Bilaga 7.

Alla Tidars, April 2020