

RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

Kväveåtervinning – nyckel till cirkulär ekonomi

Projektperiod: Juni 2017 till december 2019
Projektnummer: P44317-1

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program

Kväveåtervinning – nyckel till cirkulär ekonomi

Nitrogen recycling – a key to a circular economy

Titel på projektet – svenska Kväveåtervinning – nyckel till cirkulär ekonomi
Titel på projektet – engelska Nitrogen recycling - a key to a circular economy
Universitet/högskola/företag EkoBalans Fenix AB
Adress Scheelevägen 22, 223 63 Lund
Namn på projektledare Gunnar Thelin
Namn på ev övriga projektdeltagare Inger Valeur, Tomas Svärd, Haider Lazem, Peter Csirmaz
Nyckelord: 5-7 st kväve, återvinning, biogödsel, slutavvattningsrejekt, stripping, kristallisation

Förord

Projektet har i huvudsak finansierats av EkoBalans och Energimyndigheten. Biond AB, f d OX2, har bidragit genom att tillhandahålla möjlighet för att testa process på rötrest från den biogasanläggning de driver hos NSR på Filborna i Helsingborg. Här ingick tillgång till plats både under tak och utomhus för att hysa anläggningar, kontinuerlig tillgång till rötrest, vatten, el och avlopp, samt hjälp med att hantera och lagra torkad rötrest.

Anläggningar för avvattning och torkning hyrdes av Hjortkaer A/S, Danmark resp. Dorset Green Machines, Nederländerna. Båda företag har bidragit med omfattande stöd för att driftsätta anläggningar och support för hantering av driftstörningar.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning och bakgrund	6
Avlopp	7
Rötrest	8
Möjliga teknologier	9
EkoBalans process eco:N	11
Genomförande	12
Resultat och diskussion	15
Inledande labbförsök	15
Konstruktion av pilotanläggning	17
Försök i pilotanläggning	17
Konstruktion av bänkskaleanläggning	19
Försök i bänkskaleanläggning	19
Lutförbrukning	20
Miljösystemanalyser	22
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg	23
Publikationslista	24
Projektkommunikation	25
Referenser	26

Sammanfattning

En kostnadseffektiv och hållbar process för utvinning av ammoniumkväve ur organiska restflöden är en förutsättning för att nå samhällets mål för återföring av växtnäringsämnen. För att kunna konkurrera med handelsgödselprodukter är det nödvändigt att återvunnet kväve kan nå en koncentration och renhetsgrad i närheten av handelsgödselkväve och kan förläggas i en form som kan hanteras och spridas på samma sätt som handelsgödselkväve.

De organiska restflöden som är mest relevanta för en utvinningsprocess är rejekt (våtfas) från avvattning av rötat slam på reningsverk och rejekt från avvattning av rötrest (biogödsel) från biogasproduktion med t ex hushållsavfall som substrat.

Rejekt från rötslamavvattning återförs till kvävereningen på reningsverk vilket gör att kvävebelastningen på reningsverket blir ca 20 % högre än utan detta flöde. Eftersom kvävebelastningen har direkt koppling till klimatpåverkan, genom avgång av lustgas och hög energiförbrukning i kvävereningsprocessen, vore det önskvärt med en process för att utvinna kvävet i rejektet.

Rötrest hanteras och sprids idag obehandlad med en vattenhalt på ca 96 % i genomsnitt. Genom att avvattna och torka det organiska materialet, utvinna kväve ur avvattningsrejekt till koncentrerad fast form, blanda torkat material och utvunnet kväve, och slutligen produktifiera blandningen, skulle mängden att sprida på åkermark kunna minskas till ca en tjugondel. Det vore positivt ur såväl miljömässig som ekonomisk synpunkt.

Syftet med projektet har varit att i pilotskala verifiera EkoBalans process eco:N för utvinning av kväve ur rejekt till ammoniumsulfat i fast form. De processer för utvinning av ammoniumkväve ur restflöden som har tillämpats hittills har gett kväve i flytande form och med tämligen låg koncentration. I eco:N kombineras ammoniumstripping med kristallisation för att producera ammoniumsulfat i ren och fast form med en koncentration på 21 % kväve. I ammoniumstripping omformas ammoniumkväve i vätskefas till ammoniak i gasfas. I kristallisationssteget reagerar ammoniak med tillförd svavelsyra och bildar kristaller av ammoniumsulfat som kan skördas från kristallisationssteget.

Kristallisation av ammoniumsulfat är en beprövad process för omhändertagande av ammoniak i högkoncentrerade, torra gasflöden. Gasflödet från en strippingprocess är fuktigt och har betydligt lägre koncentration av ammoniak, vilket innebär andra förutsättningar för kristallisationsprocessen. Inledande försök visade att det är betydligt svårare att uppnå driftstabilitet under sådana förhållanden.

Projektets viktigaste resultat är att processtekniska konstruktionsdetaljer för en andra pilotanläggning och variabler för mätning och upprätthållande av stabil drift kunnat fastställas och preciseras. Metoder för korrekt förbehandling för att nå en driftstabil och kostnadseffektiv process har också kunnat identifieras och testas.

Miljösystemanalyser har visat att klimatprestanda kan förbättras genom implementering av processen.

Nästa steg är att verifiera en driftstabil, kontinuerlig process i en andra pilotanläggning.



Summary

A cost-effective and sustainable process for the extraction of ammonium nitrogen from organic residual flows is a prerequisite for achieving society's goals for the recycling of plant nutrients. In order to compete with artificial fertilizer products, it is necessary that recycled nitrogen can reach a concentration and purity level similar to commercial fertilizer nitrogen and can be placed in a form that can be handled and distributed in the same way as artificial fertilizer nitrogen.

The organic residual flows that are most relevant to an extraction process are reject water (wet phase) from final dewatering of sludge at wastewater treatment plants, and reject water from dewatering of digestate from biogas production with, for example, household waste as substrate.

Reject water from sludge dewatering is returned to biological cleaning at wastewater treatment plants, which means that the nitrogen load at the wastewater treatment plant is about 20% higher than without this flow. Since the nitrogen load has a direct link to the climate impact through the formation of nitrous oxide and high energy consumption in biological cleaning, it would be desirable with a process that can extract the nitrogen in the reject water.

Digestate is handled and distributed today untreated with an average water content of about 96%. With dewatering and drying of the organic material, extraction of nitrogen from reject water to nitrogen in concentrated solid form, and mixing of

dried material and extracted nitrogen in a combined product, the amount of spreading on arable land could be reduced to about one-twentieth, which would be positive from both environmental as economic point of view.

The aim of the project was to verify, in pilot scale, EkoBalan's process eco:N for the extraction of nitrogen from reject to solid ammonium sulphate. The processes for extracting ammonium nitrogen from residual flows that have been applied so far have produced nitrogen in liquid form and with a fairly low concentration. In eco:N, ammonium stripping is combined with crystallization to produce pure and solid ammonium sulphate with a concentration of 21% nitrogen. In ammonium stripping, ammonium nitrogen in liquid phase is converted into gas phase ammonia. In the crystallization step, the ammonia reacts with sulfuric acid and forms crystals of ammonium sulfate which can be harvested from the crystallization step.

Crystallization of ammonium sulfate is a proven process for handling ammonia in highly concentrated dry gas flows. The gas flow from a stripping process is moist and has a much lower concentration of ammonia, which makes the crystallization process more difficult. Initial tests showed that it is much more difficult to achieve operational stability under such conditions.

The most important result of the project is that process engineering design details for a second pilot plant and variables for measuring and maintaining stable operation could be determined and specified. Methods for correct pre-treatment to achieve an operationally stable and cost-effective process have also been identified and tested.

Environmental system analyses have shown that climate performance can be improved by implementing the process.

The next step is to verify an operationally stable, continuous process in a second pilot plant.

Inledning och bakgrund

All form av växtodling kräver tillgång till växtnäring. Kväve är det viktigaste växtnäringsämnet och det som genom gödsling tillförs till odling i störst omfattning. En del kväve tillförs som stallgödsel eller obehandlad rötrest, men majoriteten är handelsgödselkväve (SCB 2018a), producerat med luftens kvävgas och fossil naturgas som råvara och energikälla. Produktionen av handelsgödselkväve är energikrävande och har ett stort klimatfotavtryck genom förbrukning av fossil naturgas, men också genom bildning av lustgas. På senare år har dock en del producenter installerat katalytisk rening som minskar lustgasutsläppen.

Rötrest, som ofta benämns ”biogödsel”, är den restprodukt som återstår efter rötning av hushållsavfall m m för produktion av biogas. Om substratet för biogasproduktion är slam på reningsverk kallas rötresten oftast ”röt slam”, eller enbart ”slam”.

Den samlade kvävetillförseln i jord- och trädgårdsbruk i Sverige uppgår till ca 360 000 ton/år, varav ca 200 000 ton är handelsgödselkväve och ca 160 000 ton stallgödsel, rötrest, m m (SCB 2018a, SCB 2018b). Det finns mycket kväve i samhällets restflöden som nyttjas ineffektivt eller inte alls. Nästan all rötrest sprids, även om användningen är ineffektiv. Av de 41 000 ton kväve/år som kommer till kommunala reningsverk med avloppet återförs mindre än 10 % till jordbruket genom slamspridning (SCB 2018c). Utöver kommunalt avlopp finns kväve från industrier, deponier och värmeverk som inte nyttjas alls. Det är osannolikt att kunna återföra allt kväve i dessa flöden, men upp till 40 000 ton/år borde kunna bli möjligt i framtiden.

I kombination med högre näringsutnyttjande-effektivitet i jordbruket finns potentialen att kraftigt sänka förbrukningen av handelsgödselkväve. I nya jordbruksmetoder med s k conservation agriculture är det möjligt att sänka kvävetillförseln med 30-50 %, med bibehållen eller till och med högre produktivitet (Führer 2020). Troliga förklaringar är mer kvävefixering och mindre kväveförluster via läckage, ytavrinning, volatilisering och erosion eftersom marken ständigt hålls täckt med gröda eller mellan- och fånggrödor, jorden har hög mullhalt och hög biologisk aktivitet och mekanisk bearbetning minimeras.

Implementering av conservation agriculture skulle således kunna sänka det totala kvävebehovet från ca 360 000 till 240 000 ton/år, eller mindre, varav ca 160 000 ton kan bestå av stallgödsel, rötrest, m m och 40 000 ton av kväve återvunnet från källor som inte nyttjas idag. Kvarstår ett behov av handelsgödselkväve på 40 000 ton/år, motsvarande en minskning med 80 % jämfört med dagens förbrukning. Potentialen i återvinning av kväve och förändrade brukningstekniker är således mycket stor.

De flöden som är mest intressanta för ny teknik på kort sikt är kväverika flöden som rejekt från slamavvattning på reningsverk och rötrest från biogasproduktion med matavfall, m m. Avvattning av slam görs på alla större reningsverk i syfte att minska mängden slam för kvittblivning genom att så långt möjligt mekaniskt separera slammets torrsubstans från dess innehåll av vatten. Det görs med hjälp av dekantercentrifug, skruvpress, eller annan teknik. Med termen ”rejekt” avses i

rapporten den våta fasen, även kallad vattenfasen, som uppkommer vid avvattning av slam eller rötrestr.

Ett effektivt nyttiggörande av kväve från reningsverk såväl som biogasproduktion kräver teknik för kostnadseffektiv utvinning av kväve ur vattenfas, vilket hittills saknats. Det är ett hinder för all förädling av näringsrika restflöden innehållande stora mängder vatten. Om kvävet och övriga näringsämnen i restflödet kan överföras till ren, fast och högkoncentrerad form, som kan lagras, transporteras och spridas på samma sätt som handelsgödselkväve, kan värdet på den återvunna näringen öka mångfald. Sådan teknik kan också ge förbättrad klimatprestanda jämfört med befintlig hantering.

Avlopp

Kvävet i avloppsvatten är i motsats till luftens kväve växttillgängligt. Den låga kvävekoncentrationen på ca 0,005 % och blandning med föroreningar omöjliggör att direkt ersätta handelsgödselkväve med avloppsvatten. Avsaknaden av krav på återvinning av växtnäring ur avlopp har inneburit att kvävet enbart hanteras som en förorening på reningsverken. Av inkommande kväve föreligger ca 20 % i partiklar och ca 80 % som fritt ammoniumkväve. Partiklar avskiljs i huvudsak med primärslam som leds till rötning. Rening av ammoniumkväve sker med hjälp av biologiska processer där kvävet först omvandlas från ammoniumkväve till nitrat, s k nitrifikation, och sedan från nitrat till ej växttillgänglig kvävgas, s k denitrifikation. Nitrifikation kräver kraftig lufttillförsel vilket innebär stor elförbrukning för att driva blåsmaskiner. Denitrifikation ger, förutom kvävgas, N₂, också upphov till lustgas, N₂O, vilket är en mycket kraftfull växthusgas, 298 gånger kraftigare än koldioxid. Upp till 6 % av till reningsverket inkommande kväve kan bli lustgas, men vanligare är snarare ca 1,5 % (Tumlin m fl 2014). Biologisk kväverening har med andra ord ett stort klimatfotavtryck och det vore önskvärt att ersätta biologisk kväverening med processer som avskiljer och koncentrerar ammoniumkväve till produkter som kan ersätta handelsgödselkväve. Ammoniumkväve kan avskiljas ur avloppsvattnet med avjoningsteknik till en mer koncentrerad fraktion på ca 2 % av avloppsvattenvolymer med ca 0,1 % kväve, men för att det ska vara meningsfullt krävs det teknik för att sedan utvinna kvävet ur den koncentrerade fraktionen (Lindquist m fl 2003) och det har hittills saknats.

I den biologiska kvävereningen på reningsverken bildas ett bioslam som, liksom primärslam, oftast går till rötning. (Begreppet ”slam” används för flera olika flöden på reningsverk, vilket lätt blir förvirrande, såväl tunna, lättflytande slam som avskiljs genom sedimentation och recirkuleras eller förtjockas och går vidare till rötning som avvattnat, stapelbart slam från slutavvattning). Efter rötning avvattnas rötslammet från 2-3 % TS till 20-30 % TS. Det är detta avvattnade slam, oftast rötat, som lämnar reningsverken och som åsyftas i debatten om hur slam ska hanteras; spridas på åkermark, förbrännas, eller hanteras på annat sätt. Ungefär 30 % av slammet sprids idag på åkermark. Nästan all fosfor i avloppsvattnet hamnar i slammet, så spridning av slam eller produkter av slam som aska, biokol eller utvunnen fosfor innebär effektiv fosforåterföring. Men för kväve är bilden annorlunda. Av till reningsverket

inkommande kväve hamnar enbart ca 15 % i det avvattnade slam som lämnar reningsverket och de lantbrukare som använder slam tillför oftast lika mycket handelsgödselkväve som om de inte spridit slam, eftersom kvävet i slammet i huvudsak föreligger i organiskt bunden form och ofta inte anses ge någon kvävegödslingseffekt. Slamspridning kommer sannolikt att minska framöver: I den nyligen presenterade slamutredningen (Larsson m fl 2020) bedömer utredarna att 2/3 av det slam som sprids idag inte kommer att spridas i framtiden. Det skulle innebära att slamspridning framgent skulle stå för återföring av ca 1,5 % av kvävet i avlopp. Slamspridning är således en ineffektiv form av kväveåterföring från avlopp.

I väntan på implementering av processer för avskiljning och utvinning av kväve ur avloppsvattnet, istället för biologisk kväverening, bör man därför fokusera på andra flöden än slammet på reningsverk för att maximera kväveåterföringen. Vid avvattningen av slam bildas ett avvattningsrejekt som innehåller upp till 20 % av till reningsverket inkommande kväve. Rejektet leds tillbaka till reningsverkets inkommande flöde, eller till en separat rejektivattenrening (Stenström m fl 2017). Rejektet håller ca 0,1 % kväve, d v s 20 gånger mer än avloppsvatten, vilket bedöms vara tillräckligt koncentrerat för kostnadseffektiv utvinning.

Rötrest

Rötrest från biogasproduktion sprids idag på åkermark, nästan uteslutande obehandlad. Rötresten innehåller ca 96 % vatten och ca 0,5 % kväve, vilket innebär att det krävs >50 gånger mer transport- och spridningsarbete för att få ut samma mängd kväve på ett fält som vid spridning av handelsgödsel innehållande 27 % kväve. Obehandlad rötrest har således ett begränsat värde och stora kostnader i hantering, där kostnaden snabbt stiger med ökande transportavstånd till spridningsplats. Eftersom rötresten är spridbar endast begränsad tid av året krävs lagring i stora brunnar, vilket ökar kostnaderna ytterligare.

Även om lantbrukare ofta betalar en mindre avgift för att ta emot rötresten har biogasproducenten en nettokostnad för kvittblivning av rötrest som ofta är så hög att lönsamheten för hela verksamheten påverkas. Kostnaden ligger på 40 - 140 kr/ton, där biogasproducenter med långt medeltransportavstånd till spridningsplats ligger i den övre delen av spannet.

Lantbrukets betalningsvilja för rötrest begränsas av höga kostnader för spridning och negativa effekter från markpackning på grund av det myckna traktorkörandet på fälten när stora mängder utspädd rötrest måste spridas för att tillräckligt mycket kväve ska tillföras marken. Markpackning försämrar tillväxtbetingelserna och ökar näringsförlusterna genom ytavrinning, vilket båda ger försämrad produktivitet. Övriga växtnäringsämnen och mullämnena tillför värde, men det ofta har begränsad betydelse för värderingen totalt sett.

Förutom dålig ekonomi ger lagring av obehandlad rötrest upphov till avgång av ammoniak, lustgas och metan (Rohde m fl 2012). Kväveutnyttjande-effektiviteten blir låg eftersom läckageförlusterna totalt sett blir större vid spridning av den

utspädda rötresten än vid användning mer av koncentrerade produkter. En av huvudförklaringarna till det är att rötrest oftare än inköpta, lagringsbara produkter sprids när det inte är optimalt ur näringstillförselsynpunkt. Ofta får andra faktorer än grödans behov styra spridningstidpunkt, t ex lagringsbrunnarnas fyllnadsgrad.

Det finns kommersiellt tillgänglig teknik för att avskilja och produktifiera det fasta organiska materialet i rötrest genom avvattning och torkning. I motsats till slam betraktas avvattnad och torkad rötrest inte som problematisk ur föroreningsynpunkt. Det finns redan en europeisk marknad för sådana produkter och den kommer sannolikt att växa eftersom EU har agerat för att underlätta användningen av organiska gödselmedel genom införandet av ny lagstiftning (EU 2019).

Fosfor följer i stor utsträckning det organiska materialet, men ca två tredjedelar av kvävet hamnar i avvattningsrejektet vid avvattningen. Det har hittills saknats rationella och kostnadseffektiva tekniklösningar för att överföra det kvävet till en lätthanterlig, koncentrerad, fast gödselprodukt och så länge kvävet finns kvar i vattenfasen kvarstår också hela problemet med de stora vattenvolymerna. Om kvävet i rejektet inte nyttjas måste det ändå avskiljas eftersom flöden med så höga kvävehalter som det är frågan inte får släppas till recipient eller på spillvattennätet för rening i reningsverk. Att investera i och driva separat kväverening av rejektet blir mycket dyrt, utan att generera värde.

Om kvävet kan avskiljas i fast form ur rejektet kan det sedan kombineras med den avskilda fastfasen till en kombinerad produkt med det mesta av rötrestens näringsinnehåll (utom kalium som till övervägande delen hamnar i rejektet vid avvattningen) och rötrestens organiska material. En sådan produkt skulle vara ett attraktivt alternativ till handelsgödsel, under förutsättning att den kan hanteras, lagras och spridas på ungefär samma sätt.

Men, för att en förädlingsprocess ska ha chans att implementeras måste det vara ekonomiskt fördelaktigt. Det innebär att den samlade förädlingskostnaden, d v s kapitalkostnader + driftskostnader, minus intäkter från försålda koncentrerade råvaror eller förädlade produkter, måste kunna konkurrera med dagens kvittblivningskostnad.

Möjliga teknologier

Av de teknologier som har testats för koncentrerad eller utvinning av kväve ur våta flöden är indunstning resp stripping+absorption de som mest har kommit i användning.

Vid indunstning koncentreras innehållet i en vätska genom att vatten förångas t ex i en fallfilmsindunstare. För att inte kväve ska avgå som ammoniak i processen sänks pH med syra före indunstningen. Indunstning tillämpas bl a i Scandinavian Biogas anläggning på Södertörn (<http://scandinavianbiogas.com/produktion/produktion-sodertorn/>). 110 000 ton rötrest avvattnas till 15 000 ton fast produkt. 95 000 ton rejekt från avvattningen indunstas sedan till 12 000 ton koncentrat. Vid en

kvävekoncentration i rejektet före indunstning på 0,3 % innebär det en koncentration i koncentratet på ca 2,4 %.

I ammoniumstripping överförs ammoniumkväve i en vätska till ammoniak löst i vätskan genom att höja pH till >10, t ex genom tillförelse av lut, NaOH, och genom att värma vätskan. Ju högre pH och temperatur, desto större andel av kvävet föreligger som ammoniak. Vätskan leds sedan in i toppen av en packad kolonn, en sk stripperkolonn och fördelas över bärarna i kolonnen. Luft leds in i botten av kolonnen. När vätska och luft möts överförs ammoniaken från vätskan till luften.

Ammoniaken måste vidareförädlas för att kunna användas som gödselmedel och den vanligaste tekniken för det är absorption där svavelsyra tillföres och resultatet blir en lösning av ammoniumsulfat med ca 8 % kväve. Processen drevs på Ellinge avloppsreningsverk i Eslöv 1992-2006 och finns beskriven i Stenström m fl (2017). Det går också att använda salpetersyra och producera en lösning av ammoniumnitrat som har högre kvävekoncentration, vilket görs på Oslos reningsverk VEAS. Salpetersyra är dock betydligt dyrare än svavelsyra och det finns risk för explosion om koncentrerad ammoniumnitrat kommer i kontakt med flyktigt organiskt material, samt risk för bildning av giftiga nitrösa gaser. Sammantaget blir processen därför betydligt dyrare med salpetersyra.

I både indunstning och stripping+absorption är slutresultatet en vätska med låg kvävekoncentration jämfört med handelsgödselprodukter som t ex N27, med 27 % kväve. Flytande kväveprodukter har ett begränsat användningsområde. De kan inte ersätta fasta gödselprodukter om befintlig spridningsutrustning ska kunna användas i jordbruket och de kan inte blandas med avvattnad torkad fastfas för att göra en kombi-produkt, som beskrivet under rötrest ovan.

Kväve kan avskiljas i fast form som struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) med 5,7 % kväve. Processen kräver ett molförhållande nära 1:1:1 mellan ammonium, fosfat och magnesium för att huvuddelen av kvävet ska kunna avskiljas. Det skulle kräva mycket stor tillförelse av fosfat och magnesium vilket skulle göra processen omöjlig ekonomiskt då intäkter från försäljning av struvit inte skulle kunna matcha kostnaderna för inköp av fosfor- och magnesiumkälla.

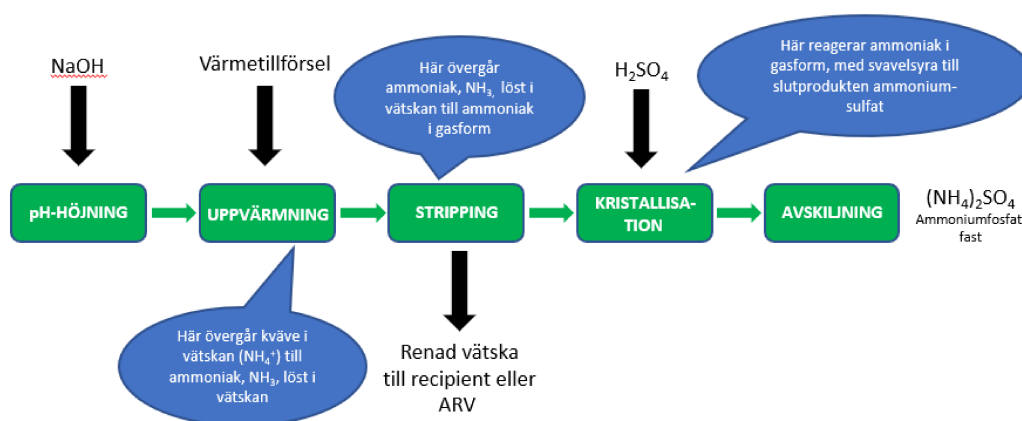
Det är också möjligt att använda material som zeolit, vermikulit, eller andra ämnen med hög förmåga att absorbera ammoniumkväve. Men, det skulle krävas mycket stora mängder absorptionsmaterial och kvävekoncentrationen kan nå maximalt några enstaka procent i en produkt som skulle vara svår att finna lönsam avsättning för.

Kväve i fast form kan med god lönsamhet produceras av ammoniak och svavelsyra genom kristallisation av ammoniumsulfat. Processen bedrivs bl a i kemikalie- och plastindustrier där ammoniak uppkommer som biprodukt. I Sverige har processen använts sedan 50-talet på SSAB i Oxelösund för att rena koksugngaser från ammoniak. Rökgaserna leds in i en kristallisator där svavelsyra tillföres. Bildad ammoniumsulfat avskiljs med centrifug och saluföres i Sverige av SSAB.

EkoBalans process eco:N

EkoBalans målsättning har länge varit att finna en hållbar och kostnadseffektiv process för att överföra ammoniumkväve i rejekt och andra våta flöden till fast form som kan fungera som råvara vid tillverkning av kretsloppsgödselprodukter, t ex i en kombiprodukt blandad med avvattnad och torkad rötrest.

EkoBalans påbörjade under 2012 utveckling av eco:N-processen bestående av stripping följt av kristallisation till ammoniumsulfat i fast form (figur 1). Kristallisation identifierades snabbt som en möjlighet eftersom det, i motsats till absorption och indunstning, ger en fast produkt som bedömdes överlägsen ur marknads- och hållbarhetssynpunkt. Men utgångspunkten för kristallisation i eco:N, ammoniak i ett fuktigt luftflöde från en stripperkolonn, är annorlunda mot tidigare industriell tillämpning där ammoniaken är betydligt mer koncentrerad och torr.



Figur 1. EkoBalans process eco:N (från von Bahr B. 2019).

Huruvida det var möjligt att bedriva kristallisation med en så annorlunda utgångspunkt testades under 2012 i ett projekt i samarbete med Colloidal Resource i Lund. Projektet visade i teori och i labbskala vilka driftsförhållanden kristallisationen skulle drivas vid för att producera ett stabilt kvävesalt från ett gasflöde som mer liknade luftflödet från en stripper än koncentrerad eller torr ammoniak i tidigare industriella tillämpningar. Under 2012 - 2014 togs en grundkonstruktion för processen fram i samarbete med Process- och Industriteknik i Kristianstad AB (POIAB). I projektet genomfördes också modellering av processen för att kunna ta fram driftsätt och konstruktion för optimerad kemikalie-och energianvändning. I ett annat projekt under 2014 producerades med gott resultat en granulerad gödselprodukt bestående av struvit från EkoBalans eco:P-process, ammoniumsulfat från SSAB och kaliumklorid.

Nästa steg i utvecklingsprocessen var att testa processen i pilotskala. Finansiering av en pilotanläggning och försök i en sådan kunde säkras först i och med att föreliggande projekt beviljades i juni 2017. Utvecklingen av eco:N var i huvudsak vilande från 2014 till juni 2017.

Huvudsyftet med föreliggande projekt var att testa eco:N i pilotskala och bedöma processens hållbarhet. Utöver en driftstabil, fungerande process finns fler kriterier för att det ska vara intressant att driva processen. Dessa kan sammanfattas:

- Processen måste vara ekonomiskt fördelaktig jämfört med alternativ
- Gödselprodukt av utvunnet kväve måste kunna hanteras och spridas på samma sätt som handelsgödselkväve och ha en gödslings effekt som är likvärdig med, eller bättre än handelsgödselkväve
- Processen bör leda till förbättrad hållbarhet avseende hantering av kväve i restflödet
- Processen måste uppfylla rättsliga krav och inte äventyra möjlighet till certifiering

Utmaningarna i projektet kan sammanfattas:

1. Att komma fram till en fungerande, driftstabil process för att avskilja ammoniumkväve ur restflöden till en form som kan användas för gödsling direkt eller fungera som råvara vid gödselproduktion och som kan ersätta handelsgödselkväve.
2. Avgöra om utvinningsprocessen är miljömässigt hållbar

Följande angreppssätt har använts i projektet:

1. Konstruktion och drift av pilot- och bänkskalanläggningar
2. Miljösystemanalyser

Parallellt med arbetet har beräkningar av processens kostnadseffektivitet utförts och affärsmodeller formulerats och utvecklats. Men det ligger utanför projektets omfattning.

Genomförande

Arbetet i projektet har till största delen varit fokuserat på att nå en driftstabil process för utvinning av kväve. Arbetet har till största delen varit fokuserat på att nå en driftstabil process för utvinning av kväve. Arbetet har till största delen varit fokuserat på att nå en driftstabil process för utvinning av kväve. Arbetspaketet konstruktion av pilot- och bänkskalanläggningar och körningar i dessa har till stor del gått in i varandra där resultat från försök löpande implementerats i förändrad och förbättrad konstruktion. Arbetet har i huvudsak utförts av EkoBalans personal, initialt i samarbete med POIAB och senare med begränsad input av inhyrd konsult.

Arbetspaketet miljösystemanalys har i huvudsak utförts av RISE baserat på data kommunicerad från EkoBalans och litteratordata. Arbetspaketet kommunikation har i huvudsak utförts av EkoBalans personal.

Projektet kom att utvecklas tämligen annorlunda än hur det var tänkt från början, beroende på att det efter hand visade sig att förståelsen för hur en driftstabil utvinningsprocess bör konstrueras var alltför begränsad initialt.

Konstruktion av en första pilotanläggning, även kallad ”pilot 1”, eller ”piloten”, hade påbörjats under våren 2017 redan innan projektet beviljats. Under konstruktionsarbetet i samarbete med POIAB, som baserades på tidigare projekt, identifierades ett behov av att komplettera med nya försök i labbskala för att ta fram förbättrat underlag för kommande körningar i piloten. Labbarbete och byggnation av pilot pågick parallellt under sommar-höst 2017. Piloten kompletterades också med en större förvärmningstank för att kunna producera tillräckligt mycket varmt rejekt för att tillräckligt långa körningar.

Under oktober 2017 – februari 2018 etablerades en testsite på Filborna i Helsingborg i samarbete med Biond (f d OX2 Bio), se figur 2. Biond driver biogasproduktionen på NSRs uppdrag. Där fanns tillgång till obehandlad rötrest från lager och plats för att ställa upp anläggning i ett f d lastbilsgarage med tre öppna portar om 6*8 m. För att få fram rejekt att köra piloten på inhyrdes en skruvpress av märket IEA från danska Hjortkaer A/S. Eftersom avvattnad rötrest tar stor plats, inte är lagringstabil och inte kunde levereras till Bionds mottagare av rötrest, då de enbart hanterar obehandlad rötrest, var det nödvändigt att finna en annan lösning för omhändertagande av den avvattnade rötresten. För syftet inhyrdes en torkanläggning av Dorset Green Machines, Nederländerna. Genom torkning skulle det också vara möjligt att få fram en torkad fraktion som kunde kombineras med utvunnet kväve i syfte att demonstrera förädling av rötrest hela vägen till färdig gödselprodukt.



Figur 2. Testsite hos Biond i Helsingborg. Skruvpress och tork var placerade i lastbilsgaraget i fonden. I den gröna containern finns en mobil anläggning för fosforutvinning med Ekobalans process eco:P. eco:N-piloten inhystes i den blå containern, förutom stripperkolonnen som var placerad i lastbilsgaraget.

Etableringen var förknippad med omfattande svårigheter och därmed förseningar. Även om anläggningarna var placerade under tak var det utomhusförhållanden i övrigt med återkommande problem med frysande flöden och svåra

arbetsförhållanden. Portarna fick förslutas för att förhindra regn och snö, men det fanns ingen möjlighet till uppvärmning av lokalen.

Det tog lång tid att få till en driftstabil avvattningsprocess bl a på grund av för högt vätsketryck från rötrestlagret. För att få fram ett så partikelfritt rejekt som möjligt installerades ett mikrofilter, också levererat av Hjortkaer A/S, på rejektflödet. Från mikrofiltret skulle avskilda partiklar återföras till skruvpressen. Det var återkommande problem med signaler mellan mikrofiltret och skruvpressen som resulterade i att avvattningen stängdes ner och ständigt fick omstartas.

Det var svårt att få torken att fungera som tänkt eftersom inkommande avvattnat material bestod av för stora klumpar som bara torkade på ytan och torken inte var försedd med rätt utrustning för finfördelning av större klumpar. Klumparna formades genom felkonstruerad hantering avvattnat material mellan skruvpress och tork. Det tog lång tid att få rätsida på avvattning och torkning så att rejekt kunde produceras med någorlunda jämnhet och torkningen fungerade.

Först i slutet av februari 2018 kunde arbetet med pilotanläggningen påbörjas, se figur 3. Stora svårigheter kopplade till brister i pilotens konstruktion, möjligt driftsätt och svåra driftförhållanden gjorde det omöjligt att få fram de driftdata som piloten byggts för att kunna leverera. Arbetet i pilot 1 avslutades därför redan i april 2018 och beslut togs om att återgå till laborativt arbete för att få fram rätt konstruktionsunderlag och driftparametrar för en pilot nr 2 med vilken de från början tänkta försöken skulle kunna köras.

Under planeringen av labbarbetet framstod det med tydlighet att det var nödvändigt att bygga en anläggning i bänkskala som skulle kunna gå i kontinuerlig drift och med automatisk styrning av driftförhållanden i kristallisatorn, som i en pilotanläggning, för att minimera riskerna att missa något väsentligt i konstruktionen av pilot 2. Planering och konstruktion av bänkskaleanläggningen påbörjades i juli 2018 och pågick först fram till november 2018 och efter beslut om att bygga en stripperdel fram till januari 2019. Arbetet blev lika omfattande och tidskrävande som konstruktion av en pilotanläggning, fast i betydligt mindre skala. Bänkskaleanläggningen har färdigkonstruerad 256 delar, vilket illustrerar komplexiteten.

Från och med januari 2019 kunde ett stort antal testkörningar genomföras i bänkskaleanläggningen vilket möjliggjort insamlande av kritisk information för konstruktion av en pilot nr 2, vilket påbörjades våren 2019 och slutfördes i oktober 2019.

EkoBalans har sedan november 2018 säkrat ytterligare finansiering för utveckling av eco:N genom deltagande i EU-projektet Valuwaste vilket bl a finansierar byggnation av och körningar med pilot 2.

Parallellt med arbetet i pilot och bänkskala har miljösystemanalyserna genomförts. I brist på data från faktiska pilotkörningar har en del antaganden avseende kemikalie- och energiförbrukning behövt göras. Förbrukningen av lut är den mest

kostnadsdrivande faktorn och för att förstå hur den varierar med flödets sammansättning gjordes dels enkla försök och dels konstruerades en modell för att beräkna luftförbrukningen.

I april 2018 gjordes tester med pelletering av den torkade rötresten från försöken i Helsingborg, ammoniumsulfat från SSAB, samt mindre andelar struvit och kaliumklorid. Produkten har sedermera utvärderats av RISE i ett VINNOVA-finansierat projekt och testats av SLU i ett fältförsök under sommaren 2019.

Resultat och diskussion

I EkoBalans teknologi och process eco:N finns ett stort inslag av egenutvecklade tekniska lösningar och know-how om hur processen ska drivas för att fungera, som det är viktigt för företaget att kunna skydda av affärsrättsliga skäl. EkoBalans har bedömt att det skulle vara både svårt och riskfyllt att patentsöka processen. Processen består av vidareutveckling och anpassning av redan befintlig kunskap på nya sätt, dvs innovation, snarare än nya specifika uppfinningar inom det aktuella kemiteknikområdet. För den här typen av innovationer är det svårt att få ett tillräckligt starkt patentskydd och det är svårt att försvara ett sådant patent, speciellt om man är ett mindre utvecklingsföretag med begränsade finansiella resurser. Riskerna ligger i att man avslöjar processen och know-how i en patentansökan och blir skyddslös om det visar sig omöjligt eller svårt att få ett tillräckligt starkt patentskydd. EkoBalans har därför valt att istället hemlighålla specifika tekniklösningar och know-how som bedöms som kritisk.

Detta innebär att en del resultat enbart kan kommuniceras på ett övergripande plan och att en del resultat inte kan kommuniceras överhuvudtaget. I detta stycke presenteras resultat som får vara offentliga.

Inledande labbförsök

De inledande labbförsöken gav följande resultat:

- Försöken genomförda av Colloidal Resource på EkoBalans uppdrag 2012 kunde upprepas med lyckat resultat. Kristaller av ammoniumsulfat kunde produceras.
- Det var också möjligt att producera ammoniumsulfatkristaller med ett luftflöde med lägre ammoniakkoncentration och högre fuktinnehåll. Men, det var då svårare att upprätthålla driftstabilitet och svårare att mäta produktion i förhållande till inkommande mängd ammoniak.
- Det var nödvändigt att justera driftsparametrar jämfört med tidigare försök för att uppnå fullständig avskiljning av ammoniak ur till kristallisatorn inkommande luftflöde.
- Det var återkommande problem med igensättning av bildad ammoniumsulfat vid den punkt där luft fördes in i kristallisatorn.

Försöken visade tydligt att kristallisationsprocessen blir mer känslig ju längre bort man rör sig från en ”optimal” situation med hög ammoniak-koncentration och torr luft. Ju ”sämre” luftflöde man har att arbeta med desto större risk för störning av kristallisationsprocessen. För att säkra driftstabilitet i kristallisationssteget när man arbetar med ”sämre” luftflöden är det således viktigt att ha ett så homogent luftflöde som möjligt över tid in i kristallisatorn.

När man har ett inkommande luftflöde med låg halt ammoniak så kommer mängden producerad ammoniumsulfat över tid att vara liten i förhållande till mängden ammoniumsulfat som redan finns i kristallisatorn och ju mindre den nyproducerade andelen är, ju svårare är det att med rimlig noggrannhet mäta hur mycket som producerats. Det försvårar både utvecklingsarbete, design av kristallisator och anpassning av lösning för skörd av kristaller.

Labbförsöken illustrerade tydligt behoven av att finna en lösning för driftsäker införsel av ammoniak i kristallisatorn för att därmed eliminera driftstopp kopplade till igensättning så långt möjligt.



Figur 3. Pilotanläggningen som användes i pilotförsöken i mars 2018. I bilden till vänster finns kristallisatorn i förgrunden. Bilden till höger visar stripperkolonnen.

Konstruktion av pilotanläggning

Pilotanläggningen som togs fram under sommar-höst 2017 visas i figur 3.

Basen för konstruktion av piloten var modellerade driftdata framtagna av POIAB. I samarbete med POIAB beräknades först möjligt driftsätt, inkl flöde, behov av energitillförsel och kemikaliedosering. Med det som grund kunde den tidigare framtagna grundkonstruktionen kompletteras och detaljkonstruktion göras.

Efter byggnation visade nya beräkningar att det inte skulle vara möjligt att driva försök under tillräckligt lång tid för att kunna få ut relevanta driftdata med enbart den lilla förvärmningstanken i grundkonstruktionen. Pilotanläggningen kompletterades därför med en större förvärmningstank.

Försök i pilotanläggning

Försöken i pilotanläggningen gav följande huvudresultat

- Det uppstod omgående stora problem med skumning i strippern vilket medförde medryckning av vätska i överföringen till kristallisatorn.
- Det var inte möjligt att nå den temperatur i strippingsteget som skulle ha krävts för att få den beräknade avskiljningen av kväve.
- Avskiljningen av ammoniumkväve i strippern låg långt under vad strippern designats för att leverera.
- Strippern i sig hade ytterligare konstruktionsbrister som bidrog till dålig avskiljningsgrad.
- Ammoniak i luftflödet från strippern kunde avskiljas i kristallisatorn.
- Det fanns brister även i kristallisatorns konstruktion som innebar att det hade varit svårt att få fram relevanta kvantitativa driftdata även med ett relevant inkommande gasflöde.
- Den installerade lösningen för utmatning av producerad ammoniumsulfat fungerade inte som tänkt.

Problemen med skumning kunde lösas genom dosering av skumdämpare. Den mest troliga orsaken till skumning är restmängder av polymer i rejektet, men kvarvarande organiskt material, partikulärt och löst, kan också ha inverkat. Även om dosering av skumdämpare kunde lösa problemet på kort sikt, så innebär det en kostnad och risk för fouling i strippern, d v s påbyggnad av organiskt material på bärarna i stripperkolonnen, vilket leder till försämrade kväveavskiljning och större behov av rengöring av kolonnen, vilket också är kostnadsdrivande. Det finns därför mycket att vinna på att förbättra förbehandling av inkommande flöde så att problem med både skumning och fouling kan undvikas.

Även om volym förvärmad vätska var tillräcklig och temperaturen i denna i enlighet med modellerade data så var luften som fördes in i strippern underifrån kall vilket gjorde det omöjligt att komma i närheten av den temperatur som behövdes för att nå

modellerad och planerad avskiljningsgrad. Därmed blev det också omöjligt att nå tillräckligt hög ammoniakhalt i gasflödet från stripper till kristallisator för att kunna utvärdera kristallisationssteget som tänkt.

Trots bristerna kunde god avskiljning av ammoniak i kristallisatorn konstateras: ammoniaklukt kunde inte detekteras i luftflödet som lämnade kristallisatorn. Men utan möjlighet att uppnå ett relevant och stabilt gasflöde in till kristallisatorn, eller möjlighet att mäta produktion av ammoniumsulfat, gick det inte att motivera fortsatt arbete på plats.



Figur 4. Bänkskalanläggningen med stripperkolonnen längst till höger och kristallisatorn till vänster med toppmonterad omrörare.

Konstruktion av bänkskaleanläggning

Bänkskaleanläggningen visas i figur 4. Det visade sig att den initiala konstruktionen av bänkskaleanläggningen, med en flaska med 25 % ammoniak att bubbla luft igenom för att leverera gasflöde till kristallisatorn, istället för en stripper, inte fungerade för att simulera ett gasflöde in till kristallisatorn som var tillräckligt likt gasflödet från en stripper i en verklig situation för att körningarna skulle bli relevanta. Glasflaskan ersattes därför av en stripper.

Försök i bänkskaleanläggning

Försöken i bänkskaleanläggningen gav följande huvudresultat

- Vikten av stabil styrning av ett antal för processen kritiska driftsparametrar bekräftades och utvecklades vidare från tidigare försök.
- Gränser för stabila driftförhållanden kunde identifieras med stor noggrannhet.
- Processtekniska konstruktionsdetaljer och variabler för mätning och upprätthållande av stabil drift i en kommande pilot 2 kunde fastställas och preciseras.
- Metod för tillräckligt noggrann styrning av kemikaliedosering kunde identifieras.
- Försök med olika förhållanden luft/vätska i strippern visade behovet av att ha rätt kvot för att nå en god avskiljning och ha ett fungerande flöde.
- Dimensionerande data för kristallisatorvolym i förhållande till inkommande luftflöde och för fullständig avskiljning av inkommande ammoniak kunde tas fram.
- Lösning för mäta kristallproduktion baserad på identifierade variabler kunde tas fram.
- Krav på utformning av lösning för skörd av kristaller utan negativ påverkan på driftstabilitet kunde formuleras.
- Vikten av fungerande hantering vid driftavbrott för att undvika problem vid omstart kunde identifieras och tekniska samt driftsmässiga lösningar för att hantera sådana problem kunde identifieras.

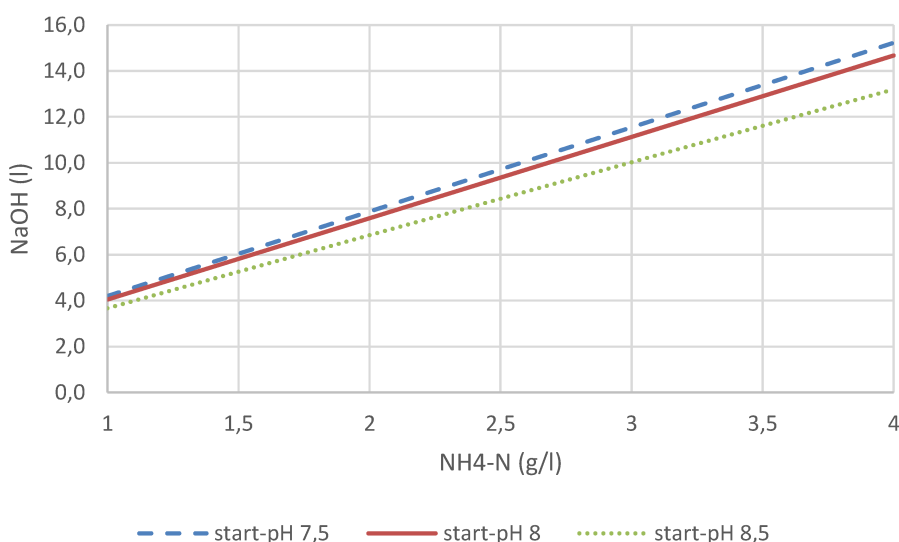
Det viktigaste resultatet från arbetet i pilot- och bänkskaleanläggningarna var att ge svar på frågor om hur processen måste konstrueras och köras för att nå en fungerande, stabil drift. Därmed finns förutsättningarna på plats för att i fortsättningsprojekt med en pilot 2 nå de målsättningar som formulerades för föreliggande projektet.

Lutförbrukning

Förbrukning av lut (NaOH) i syfte att höja pH före stripping till en sådan nivå att den absoluta majoriteten av ammoniumjoner i flödet överförs till ammoniak har tidigare identifierats som den enskilt mest kostnadsdrivande posten vid drift av eco:N. För att kunna göra korrekta driftskostnadsberäkningar och i förlängningen kunna avgöra kostnadseffektiviteten i processen som helhet och därmed kunna värdera lönsamheten för olika affärsfall är det därför nödvändigt att ha god förståelse för hur lutförbrukningen påverkas av olika flöden.

Förbrukningen av lut vid stripping vid en viss temperatur påverkas av flödets innehåll av både oorganiskt och organiskt material, samt start-pH. I rejekt från avvattning är det innehåll av följande oorganiska ämnen som har störst påverkan på pH och buffringsförmåga, d v s hur mycket lösningen kan motverka pH-höjning vid luttillsats: ammoniumkväve, karbonater, sulfid, fosfat och magnesium. Eftersom eco:N alltid föregås av EkoBalans process eco:P för avskiljning av fosfor och magnesium, så kan vi här bortse från dem. Sulfid uppkommer när svavelväte oxideras. I rötrest finns alltid en del svavelväte och därmed sulfidbildning när röresten kommer i kontakt med luft. I EkoBalans process kommer dock sulfid att med största sannolikhet ha oxiderats till sulfat i det flöde som ska behandlas med eco:N eftersom det utsätts för flera processteg där oxidation till sulfat är sannolik före eco:N, och därmed kan även sulfid bortses från.

För att räkna på lutförbrukning för inkommande flöden till eco:N konstruerades en enkel excel-modell. Modellen tar dock inte hänsyn till flödets innehåll av organiskt material. Modellerad lutförbrukning i förhållande till ammoniumkoncentration vid olika start-pH visas i figur 5.



Figur 5. Modellerad förbrukning av 50 % NaOH (l/m³) i förhållande till ammoniumkoncentration för höjning av pH till 10,5 vid olika start-pH.

Modellerad lutförbrukning stiger linjärt med högre ammoniumkoncentration och är vid 3 g NH₄-N/l (normalt i rejekt från avvattning av rötrest från t ex griségödsel) 2,5-3 gånger så hög som vid en koncentration på 1 g/l (normalt vid avvattning av röt slam). Det innebär att driftskostnaden vid utvinning av kväve ur rejekt från avvattning av kväverika rötresten kommer att vara betydligt högre än för rejekt på reningsverk. Å andra sidan ger kväveutvinningen ur kväverikt rejekt mer säljbart ammoniumsulfat. Trots den högre driftskostnaden kan det senare därför ändå vara mer lönsamt. Men, bilden är mer komplicerad än så. Processens lönsamhet måste relateras till alternativkostnaden.

På reningsverk är alternativet att rena bort kvävet antingen i en separat rejektvattenrening eller genom att återföra rejektet till inkommande spillvattenflöde. Båda alternativen är förenade med kostnader som ska ställas emot kostnader för att investera i och driva eco:N minus intäkter från försåld ammoniumsulfat. För reningsverk med kapacitetsbrist i sin kväverening är det oftast billigare att investera i separat hantering. Att eco:N innebär återföring av kvävet, i motsats till rejektvattenrening, kan göra att reningsverk väljer eco:N av hållbarhetsskäl.

För rötrest är alternativet oftast att transportera och sprida rötresten obehandlad och en ekonomisk jämförelse kan inte begränsas till kostnader för att driva eco:N, eftersom det krävs flera steg för att förädla rötresten till en gödselprodukt.

I figur 5 är det också tydligt att högre start-pH ger lägre lutförbrukning. Att det blir större effekt av att gå från start-pH 8 till 8,5, än att gå från 7,5 till 8 beror på att pH-skalan är logaritmisk så att pH 8,5 är 10 gånger mer basiskt än 7,5. Mer intressant är att skillnaden i lutförbrukning mellan olika start-pH ökar med stigande kvävekoncentration. Det innebär att det särskilt vid höga kvävekoncentrationer finns stor besparing i att nå ett högre pH före luttillsats. Det kan göras genom luftning eftersom pH stiger när koldioxid drivs av i luftningen.

Tabell 1. Modellerad och verklig förbrukning av lut (50 % NaOH) vid olika halt av suspenderat material (susp) och ammoniumkväve.

Susp mg/l	NH ₄ -N mg/l	Lut- modellerat l/m ³	Lut – verklig l/m ³	Lut - merförbrukning %
200	1000	3,7	3,2	0
500	500	1,9	4,8	146
500	3000	9,8	16	64
1000	1000	3,5	9,6	176

Utöver oorganiska föreningar påverkar också rejektets innehåll av organiskt material, särskilt suspenderat partikulärt material, s k susp, förbrukningen av lut.

Några enkla test med luttillsats till rejekt innehållande olika hög halt susp och ammoniumkväve utfördes, se tabell 1.

Vid låg susphalt (200 mg/l) och medellåg ammoniumkoncentration (1000 mg/l) verkade susp inte påverka lutförbrukningen jämfört med modellerad förbrukning överhuvudtaget. Vid medelhög till hög susphalt (500-1000 mg/l) var verklig lutförbrukning 3-4 gånger högre än modellerad. Men, vid hög kvävehalt (3000 mg/l) gav susp betydligt mindre merförbrukning jämfört med modellerat än vid lägre kvävehalt.

Resultaten visar att det finns stora besparingar att göra genom att reducera susp i rejektet och det är särskilt viktigt för rejekt med låg till medellåg kvävekoncentration.

Miljösystemanalyser

RISE utförde två miljösystemanalyser sammanställda i två rapporter:

1. von Bahr B. 2019. Kväveåtervinning – nyckeln till cirkulär ekonomi, delrapport kväveåtervinning från biogödsel. RISE.
2. Ahlgren S. 2019. Projekt: Kväveåtervinning – nyckeln till cirkulär ekonomi Delrapport: Klimatberäkning vid utvinning av kväve med eco:N-processen på reningsverk. RISE.

Slutsatsen i den första rapporten var att den samlade klimatpåverkan vid förädling av rötrest till fast gödselprodukt och spridning av den var nästan lika stor som i konventionell hantering med spridning av obehandlad rötrest. Det har två huvudorsaker; dels var lustgasavgång vid spridning, som antogs vara densamma i båda casen, den dominerande klimatpåverkande faktorn i båda casen och dels var klimatpåverkan från transport och spridning liten i förhållande till andra faktorer. Det är i överensstämmelse med många andra studier att klimatpåverkan av transporter ofta har mindre betydelse för utfallet än förväntat. Eftersom det är minskat transport- och spridningsarbete som är den stora skillnaden mellan casen är det därmed inte så konstigt att det blir liten skillnad mellan casen avseende klimatpåverkan.

Eftersom beräknad lustgasavgång vid spridning är densamma för båda casen kan den tas bort i jämförelsen. Med det sättet att räkna innebär rötrestförädling en minskad klimatpåverkan med 31 %.

Resultaten i rapport 2 visar att det blir en minskning av klimatpåverkan med 9,1 kg CO₂-ekv/kg N om kväve utvinns från slutavvattningsrejekt med eco:N jämfört med om rejektet återförs till inkommande avloppsflöde. Det beror framförallt på minskade lustgasemissioner på reningsverket och att utvunnen ammoniumsulfat kan ersätta handelsgödselkväve.

De faktorer som står för förbättrad klimatprestanda vid utvinning på reningsverk saknas vid förädling av rötrest, därför är det inte förvånande att climateffekten av rötrestförädling med de antaganden och beräkningar som har gjorts blir mindre än vid kväveutvinning ur rejekt reningsverk.

För ytterligare information om miljösystemanalyserna hänvisas till rapporterna.

Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Slutsatserna från projektet kan sammanfattas sålunda:

- Det är möjligt att kombinera ammoniumstripping och kristallisation av ammoniumsulfat till en fungerande process, eco:N, för produktion av ammoniumsulfat i fast form.
- Det är möjligt att driva kristallisation av ammoniumsulfat med ett inkommande luftflöde som har betydligt lägre ammoniakhalt och betydligt högre fukthalt än de luftflöden som används för kristallisation vid produktion av ammoniumsulfat idag.
- Med ett sådant inkommande luftflöde är kristallisationsprocessen känslig för driftstörningar. Det är därför centralt att kunna upprätthålla stabila driftförhållanden i kristallisatorn. Det innebär att det måste gå att styra driftförhållandena med tillräcklig noggrannhet och att inkommande luftflöde är så stabilt som möjligt.
- Det kräver i sin tur en driftstabil strippingfunktion. Stripparen ska ha hög och jämn avskiljning av kväve ur inkommande rejekt och leverera ett luftflöde som är anpassat för kristallisationsprocessen.
- Förbehandling är central för att säkerställa stabil funktion i stripparen så att skumning och fouling minimeras och så att lutförbrukningen kan minimeras.
- Förbrukning av lut kan begränsas genom att minimera partikelinnehållet i rejektet och genom att höja pH före lutdosering genom luftning.
- För att maximera möjligheterna att nå målsättningarna i pilotprojekt är det viktigt att så långt möjligt säkerställa att externa faktorer som dåliga arbetsförhållanden och problem med flödesförsörjning får så liten påverkan på arbetet som möjligt.
- Med eco:N kan klimatprestanda förbättras både vid förädling av rötrest jämfört med hantering och spridning av obehandlad rötrest, och i än större grad vid kväverening på reningsverk.

Resultat och erfarenheter från försöken har redan kommit till användning som nödvändigt underlag för att kunna bygga en driftstabil process som implementeras både i en ny pilotanläggning, pilot 2, och i förlängningen i redan insålda anläggningar som ska byggas under hösten 2020 i Helsingborg respektive i Alvik,

utanför Luleå med start hösten 2020. Pilot 2 färdigställs under februari 2020 på Hammarby Sjöstadsverket och försök kommer att påbörjas under mars 2020 i samarbete med IVL. Under hösten 2020 kommer pilot 2 att flyttas till Murcia, Spanien för att användas för utvinning av kväve ur rejekt från avvattning av rotat hushållsavfall i EU-projektet Valuwaste.

Drifterfarenheter och -data från pilot 2, liksom möjligheterna att använda pilot 2 och de redan insålda anläggningarna som demonstrationsanläggningar och i marknadsföring, kommer att vara avgörande vid framtida försäljning av både enskilda eco:N-anläggningar och större anläggningar för näringsåtervinning eller rötrestförädling där eco:N är en integrerad del.

Ju fler anläggningar vi lyckas sälja desto större möjlig samhällelig nytta. På reningsverk uppstår nyttan genom återföring av kväve från ett flöde som inte kan nyttjas för det idag och den lägre klimatpåverkan som sänkt kvävebelastning på reningsverket då leder till. Med kompletta anläggningar för rötrestförädling uppkommer nyttan i form av effektivare och mer hållbar återföring än idag. Rötresten kan omvandlas från ett avfall med kostnader för kvittblivning till gödselprodukter som ger intäkter.

Utöver drift av pilot 2 fortsätter arbetet med produktifiering av utvunnen ammoniumsulfat och test av framtagna produkter i samarbete med bl a SLU, RISE och Hushållningssällskap. Parallellt med det tekniska utvecklingsarbetet intensifieras arbetet med marknadsföring, försäljning och vidare utveckling av affärsmodeller för försäljning av både eco:N-anläggningar och gödselprodukter.

Publikationslista

Under projektet har två rapporter färdigställts av RISE:

von Bahr B. 2019. Kväveåtervinning – nyckeln till cirkulär ekonomi, delrapport kväveåtervinning från biogödsel. RISE.

Ahlgren S. 2019. Projekt: Kväveåtervinning – nyckeln till cirkulär ekonomi Delrapport: Klimatberäkning vid utvinning av kväve med eco:N-processen på reningsverk. RISE.

Utanför projektet har resultat från tester med gödselprodukter med struvit från reningsverk och ammoniumsulfat, framtagna av EkoBalans, publicerats som en del av det Vinnovafinansierade projektet Återvinning av fosfor från slam till produkter:

Rodhe L, Algerbo P-A, Mjöfors K och Lundin G. Gödsling med fosfor från slam – fysikaliska egenskaper och spridningsjämnhet. RISE Rapport: 2020:03

Projektkommunikation

De primära målgrupperna är och har varit potentiella kunder för eco:N-processen och kompletta system där eco:N är en integrerad del, d v s reningsverk och biogasanläggningar, samt kunder för gödselprodukter. Andra målgrupper som konsulter, forskare och miljöstrateger m fl på kommuner, har också kunnat nås i samband med flera av aktiviteterna nedan.

Aktiviteter primärt riktade till målgrupp reningsverk:

- Deltagande i seminarier med föredrag eller på annat sätt
 - Nätverksträff för fosfor och andra avloppsresurser december 2017 och december 2018. Svenskt Vatten.
 - Vårmöte Envisys, Helsingborg, 2018 och 2019.
 - VA-mässan 2018 Elmia, Jönköping
 - Regionalt symposium om termisk slambehandling. Varberg 2019.
- Vinnande anbud av process för utvinning av fosfor och kväve ur flöde nedströms rötning av toalettavfall respektive kvarnat hushållsavfall. Reco Lab, NSVA, Helsingborg.
- Besök på pilotanläggningen i Helsingborg av representanter från kommuner, konsultbolag, m fl.
- Påbörjat samarbete med IVL för att möjliggöra test av pilot 2 på Hammarby Sjöstadsverket.
- Deltagande i nätverket/samarbetsprojektet Den svenska näringsämnesplattformen
- Framtagande av underlag till utredningen Hållbar slamhantering.
- Hemsidan

Aktiviteter primärt riktade till målgrupp biogas:

- Avtal med Alviksgården Lantbruks AB om försäljning av anläggning för förädling av rötrest, inkl eco:N, till fasta gödselprodukter. November 2019. Införsäljningsarbetet påbörjades redan 2016, pågick under hela projektiden inkl kundbesök i Helsingborg.
- Direkt information och möten med fler kunder inom biogas, inkl besök på pilotanläggningen i Helsingborg.
- Budgetofferter på anläggningar för rötrestförädling.
- Deltagande på Borgeby fältdagar både 2018 och 2019 med uppvisande av EkoBalans gödselprodukt med ammoniumsulfat

- Hemsidan

Referenser

- EU 2019. EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2019/1009 av den 5 juni 2019 om fastställande av bestämmelser om tillhandahållande på marknaden av EU-gödselprodukter och om ändring av förordningarna (EG) nr 1069/2009 och (EG) nr 1107/2009 samt om upphävande av förordning (EG) nr 2003/2003.
- Fuhrer J. 2020. Carbon, crops and covers to rebuild and maintain life in the soil. Föredrag på Jordhälsokonferens, Lundsbrunn 23 januari 2020. Gröna möten.
- Larsson F K, Johansson M H och Lindblad Hammar I. 2020. Hållbar slamhantering - Betänkande av Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam. SOU 2020:3.
- Lindquist A, Gillberg L, Hansen B, Karlsson I, Nordström Enkel A och Pålsson A. 2003. Konsten att rena vatten. Kemira Kemwater. ISBN 9163143534.
- Rohde L, Baky A, Olsson J och Nordberg Å. 2012. Växthusgaser från stallgödsel – Litteraturgenomgång och modellberäkningar. JTI-rapport Lantbruk och Industri 402.
- SCB 2018a. Kväve- och fosforbalanser för jordbruksmark 2016. MI 40 SM 1801.
- SCB 2018b. Försäljning av mineralgödsel för jord-och trädgårdsbruk under 2016/17. MI 30 SM 1801.
- SCB 2018c. Utsläpp till vatten och slamproduktion 2016 - Kommunala avloppsreningsverk, massa- och pappersindustri samt viss övrig industri. MI 22 SM 1801.
- Stenström F, la Cour Jansen J, Andersson Chan A, Eliasson M, Eriksson Y, Marsteng A-K, Sehlén R och Thelin G. 2017. Rejektvattenbehandling – en kunskaps-sammanställning. SVU Rapport 2017-11.
- Tumlin S, Gustavsson D och Bernstad Saraiva Schott A. 2014. Klimatpåverkan från avloppsreningsverk. SVU.