

Biogas Research Center (BRC)
Report 2014:1

Biogas Research Center, BRC

- Slutrapport för etapp 1

Jonas Ammenberg
Bo Svensson
Magnus Karlsson
Niclas Svensson
Annika Björn
Martin Karlsson
Karin Tonderski
Mats Eklund

Linköping University
SE-581 83 Linköping
Sweden

Summary

Biogas Research Center (BRC) is a center of excellence in biogas research funded by the Swedish Energy Agency, Linköping University and a number of external organizations with one-third each. BRC has a very broad interdisciplinary approach, bringing together biogas-related skills from several areas to create interaction on many levels:

- between industry, academia and society,
- between different perspectives, and
- between different disciplines and areas of expertise.

BRC's vision is:

Resource-efficient biogas solutions are implemented in many new applications and contribute to a more sustainable energy supply, improved environmental conditions, and good business opportunities.

BRC contributes to the vision by advancing knowledge and technical development, as well as by facilitating development, innovation and business. Resource efficiency is central, improving existing processes and systems as well as establishing biogas solutions in new sectors and enabling use of new substrates.

For BRC phase 1, the first two year period from 2012-2014, the research projects were organized in accordance with the table below showing important challenges for biogas producers and other stakeholders, and how these challenges were tackled in eight research projects. Five of the projects had an exploratory nature, meaning that they were broader, more future oriented and, for example, evaluated several different technology paths (EP1-5). Three projects focused more on technology and process development (DP6-8)

Table. Challenges, exploratory (EP) and technology and process development (DP) projects for BRC phase 1, 2012-2014.

Challenges:	More gas from existing systems	New feedstock	New sectors	Co-operation for improved performance	Relevant societal conditions
Explorative projects:	EP1; Improvement of the biogas production process	EP2; Systematic assessment of feedstock for an expanded biogas production	EP3; Biogas in new industries	EP4; Collaboration for improved economic and environmental performance	EP5; Municipalities as system builders in energy systems
Technology and process development projects:	DP6; Increased methane production and process stability in biogas reactors	DP7; Enzymatic increase of sludge digestibility		DP8; Systems and technology for effective use of biofertilizers	

This final report briefly presents the background and contains some information about competence centers in general. Thereafter follows more detailed information about BRC, for example, regarding the establishment, relevance, organization, vision, corner stones and development. The participating organizations are presented, both the research groups within Linköping University and the partners and members. Further on, there is a more detailed introduction to and description of the challenges mentioned in the table above and a short presentation from each of the research projects, followed by some sections dealing with fulfillment of objectives and an external assessment of BRC. Detailed, listed information is commonly provided in the appendices.

Briefly, the fulfillment of objectives is good and it is very positive that so many scientific articles have been published (or are to be published) from the research projects and also within the wider center perspective. Clearly, extensive and relevant activities are ongoing within and around BRC. In phase 2 it is essential to increase the share of very satisfied partners and members, where now half of them are *satisfied* and the other half is *very satisfied*. For this purpose, improved communication, interaction and project management are central. During 2015, at least two PhD theses are expected, to a large extent based on the research from BRC phase 1.

In the beginning of 2014 an external assessment of BRC was carried out, with the main purpose to assess how well the center has been established and to review the conditions for a future, successful competence center. Generally, the outcome was very positive and the assessors concluded that BRC within a short period of time had been able to establish a well-functioning organization engaging a large share of the participants within relevant areas, and that most of the involved actors look upon BRC as a justifiable and well working investment that they plan to continue to support. The assessment also contributed with several relevant tips of improvements and to clarify challenges to address.

This report is written in Swedish, but for each research project there will be reports and/or scientific papers published in English.

The work presented in this report has been financed by the Swedish Energy Agency and the participating organizations.

Sammanfattning

Biogas Research Center (BRC) är ett kompetenscentrum för biogasforskning som finansieras av Energimyndigheten, LiU och ett flertal externa organisationer med en tredjedel vardera. BRC har en mycket bred tvärvetenskaplig inriktning och sammanför biogasrelaterad kompetens från flera olika områden för att skapa interaktion på flera olika plan:

- mellan näringsliv, akademi och samhälle,
- mellan olika perspektiv, samt
- mellan olika discipliner och kompetensområden.

BRC:s vision är:

Resurseffektiva biogaslösningar finns genomförda i många nya tillämpningar och bidrar till en mer hållbar energiförsörjning, förbättrat miljötilstånd och goda affärer.

BRC:s särskilda roll för att uppnå denna vision är att bidra med kunskapsförsörjning och process-/teknikutveckling för att facilitera utveckling, innovation och implementering av biogaslösningar. Resurseffektivitet är ett nyckelord, vilket handlar om att förbättra befintliga processer och system samt utveckla biogaslösningar i nya sektorer och möjliggöra användning av nya substrat.

For BRC:s etapp 1, den första tvåårsperioden mellan 2012-2014, var forskningsprojekten organiserade enligt tabellen nedan. Den visar viktiga utmaningar för biogasproducenter och andra intressenter, samt hur dessa ”angreps” med åtta forskningsprojekt. Fem av projekten var av explorativ karaktär i bemärkelsen att de var bredare och mer framtidsorienterade - exempelvis utvärderade flera möjliga tekniska utvecklingsmöjligheter (EP1-5¹). Tre projekt hade ett tydligare fokus på teknik- och processutveckling (DP6-8²).

Tabell. Utmaningar, explorativa (EP) samt teknik- och processutvecklingsprojekt (DP) för BRC:s etapp 1, 2012-2014.

Utmaningar:	Mer gas ur befintliga system	Nya substrat	Nya sektorer	Samverkan för bättre prestanda	Relevanta samhälleliga villkor
Explorativa projekt:	EP1; Förbättrade biogasprocesser	EP2; Systematisk utvärdering av substrat för en ökad biogasproduktion	EP3; Biogas i nya branscher	EP4; Samverkan för förbättrad ekonomisk och miljömässig prestanda	EP5; Kommuner som systembyggare i energisystemen
Teknik- och processutvecklingsprojekt:	DP6; Ökad metanproduktion och processtabilitet i biogasreaktorer	DP7; Enzymatisk ökning av slams rötbarhet		DP8; System och teknik för effektiv användning av biogödsel	

¹ EP – Exploratory project

² DP – Development project

I den här slutrapporten ges en kortfattad bakgrundsbeskrivning och det finns en introduktion till vad den här typen av kompetenscentrum innebär generellt. Därefter finns mer detaljerad information om BRC, exempelvis gäller det centrumets etablering, relevans, vision, hörnstenar och utveckling. De deltagande organisationerna presenteras, både forskargrupperna vid Linköpings universitet och partners och medlemmar. Vidare finns en mer utförlig introduktion till och beskrivning av utmaningarna i tabellen och kortfattat information om forskningsprojekten, följt av ett kapitel som berör måluppfyllelse och den externa utvärdering som gjorts av BRC:s verksamhet. Detaljerad, listad information finns till stor del i bilagorna.

Kortfattat kan det konstateras att måluppfyllelsen överlag är god. Det är speciellt positivt att så många vetenskapliga artiklar publicerats (eller är på gång att publiceras) kopplat till forskningsprojekten och även i det vidare centrumperspektivet. Helt klart förekommer en omfattande verksamhet inom och kopplat till BRC. I etapp 2 är det viktigt att öka andelen mycket nöjda partner och medlemmar, där nu hälften är *nöjda* och hälften *mycket nöjda*. Det handlar framför allt om stärkt kommunikation, interaktion och projektledning. Under 2015 förväntas åtminstone två doktorsexamina, där avhandlingarna har stor koppling till forskningen inom etapp 1.

I början på år 2014 skedde en extern utvärdering av verksamheten vid BRC med huvudsyftet att bedöma hur väl centrumet lyckats med etableringen samt att granska om det fanns förutsättningar för framtida framgångsrik verksamhet. Generellt var utfallet mycket positivt och utvärderarna konstaterade att BRC på kort tid lyckats etablera en verksamhet som fungerar väl och engagerar det stora flertalet deltagande aktörer, inom relevanta områden och där de flesta involverade ser BRC som en befogad och väl fungerande satsning, som de har för avsikt att även fortsättningsvis stödja. Utvärderingen bidrog också med flera relevant tips och till att belysa utmaningar.

Utöver denna slutrapport finns separata publikationer från forskningsprojekten.

Arbetet som presenteras i rapporten har finansierats av Energimyndigheten och de medverkande organisationerna.

Förord

Biogas Research Center (BRC) är ett transdisciplinärt kompetenscentrum för biogas. Detta dokument är en slutrapport för BRC:s första etapp, som sträckt sig från 2012-12-01 – 2014-11-30.

Två år är en kort period när det gäller att etablera ett kompetenscentrum. Det är bland annat något som de erfarna utvärderarna från Faugert & Co Utvärdering AB påpekat för oss. Den här typen av satsning är långsiktig och större genombrott kan förväntas på längre sikt.

Ändå har mycket hänt under dessa första två år, där en organisation byggts upp med administrativ personal och rutiner; med åtta forskningsprojekt som involverat cirka 30 forskare från Linköpings universitet, från sex olika avdelningar på tre institutioner och från två fakulteter; samt med 10 partners och medlemmar (företag, branschorganisationer och kommuner) som involverat ungefär 30 personer i projekten. Utöver de mer konkreta forskningsresultaten har det bidragit till ny samverkan, integration och kunskapsöverföring på många plan.

Denna rapport visar klart på en omfattande verksamhet och stor aktivitet, vilken till stor del handlat om de åtta forskningsprojekten och aktörerna inom BRC. Men personerna knutna till centrumet har också interagerat med många andra "biogasaktörer", exempelvis vid olika typer av kurser och konferenser, genom andra relevanta forskningsprojekt, via roller som opponenter och i betygsnämnder, samt vid remisser om styrmedel och andra typer av frågor. Nu står vi i begrepp att starta nästa etapp i samverkan med 22 partners och medlemmar, vilket är ett styrkebesked. BRC behöver dock fortsätta på den inslagna vägen och vidare stärka den externa kommunikationen och samverkan med intressenterna i biogassektorn.

Rapporten har till stor del skrivits av Jonas Ammenberg och Mats Eklund. De delar som rör forskningsprojekten bygger på bidrag från respektive projektledare och övriga projektdeltagare. Observera att det för de åtta forskningsprojekten kommer att finnas separata publikationer, i form av vetenskapliga rapporter och/eller artiklar.

Vi vill tacka alla som bidragit till att etablera och utveckla centrumet och då inte minst:

- Partners och medlemmar, och alla anställda som medverkat
- Forskarna och administrativ personal vid LiU
- Styrelsen
- Energimyndigheten, för finansieringen
- Per Mårtensson, för arbetet som föreståndare under stora delar av etappen

Jonas Ammenberg och Mats Eklund, december 2014

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND OCH INTRODUKTION	10
1.1	UTVECKLING OCH UTMANINGAR	10
1.2	INTRODUKTION OM BIOGAS	10
1.3	BIOGASPRODUKTION I SVERIGE SAMT EN INTERNATIONELL UTBLICK	11
2	INTRODUKTION TILL BRC	13
2.1	KOMPETENSCENTRUM	13
2.2	ETablering och utveckling av BRC	13
2.3	EKONOMISK OMSÄTTNING	14
2.4	VISION, SYFTE OCH FRAMGÅNGSFAKTORER	14
2.5	BRC:S HÖRNSTENAR	15
2.5.1	<i>Interaktion för innovation</i>	<i>15</i>
2.5.2	<i>Teknik- och processutveckling, explorativ forskning och stödjande av implementering.....</i>	<i>16</i>
2.5.3	<i>Kortsiktig lönsamhet och långsiktig innovation</i>	<i>16</i>
2.5.4	<i>Spridning till nya sektorer och marknader</i>	<i>16</i>
2.6	ENERGI-, SAMHÄLLS- OCH MILJÖRELEVANS	17
3	ORGANISATION OCH MEDVERKANDE	19
3.1	STYRELSE OCH ÖVERGRIPANDE ORGANISATION	19
3.2	INTERNATIONELL REFERENSGRUPP	20
3.3	MEDVERKANDE AVDELNINGAR VID LIU	20
3.3.1	<i>Biologi.....</i>	<i>20</i>
3.3.2	<i>Energisystem</i>	<i>21</i>
3.3.3	<i>Industriell miljöteknik.....</i>	<i>21</i>
3.3.4	<i>Molekylär bioteknik.....</i>	<i>21</i>
3.3.5	<i>Tema miljöförändring (f.d. Tema vatten i natur och samhälle)</i>	<i>22</i>
3.3.6	<i>Tema teknik och social förändring</i>	<i>22</i>
3.3.7	<i>Övriga ämnesområden av relevans.....</i>	<i>23</i>
3.4	MEDVERKANDE PARTNERS, MEDLEMMAR OCH ASSOCIERADE	23
3.4.1	<i>Biototal.....</i>	<i>23</i>
3.4.2	<i>InZymes Biotech</i>	<i>24</i>
3.4.3	<i>Kemira</i>	<i>24</i>
3.4.4	<i>NSR Produktion AB (NSR)</i>	<i>25</i>
3.4.5	<i>Lantbrukarnas Riksförbund och Lantmännen</i>	<i>25</i>
3.4.6	<i>Linköpings kommun</i>	<i>25</i>
3.4.7	<i>Scandinavian Biogas.....</i>	<i>26</i>
3.4.8	<i>Svensk Biogas</i>	<i>26</i>
3.4.9	<i>Tekniska Verken i Linköping</i>	<i>26</i>
3.4.10	<i>Associerade organisationer.....</i>	<i>26</i>
4	UTMANINGAR OCH FORSKNINGSPROJEKT	27
4.1	EP1 - FÖRBÄTTRADE BIOGASPROCESSER	29
4.1.1	<i>Deltagare.....</i>	<i>29</i>
4.1.2	<i>Bakgrund</i>	<i>29</i>
4.1.3	<i>Syfte.....</i>	<i>29</i>
4.1.4	<i>Metodik</i>	<i>29</i>
4.1.5	<i>Resultat</i>	<i>30</i>
4.1.6	<i>Framtida forskningsutmaningar.....</i>	<i>30</i>

4.2	EP2 - SYSTEMATISK UTVÄRDERING AV SUBSTRAT FÖR EN ÖKAD BIOGAS-PRODUKTION	33
4.2.1	<i>Deltagare</i>	33
4.2.2	<i>Bakgrund</i>	33
4.2.3	<i>Syfte</i>	33
4.2.4	<i>Metod</i>	34
4.2.5	<i>Resultat</i>	35
4.2.6	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	37
4.3	EP3 - BIOGAS I NYA BRANSCHER.....	38
4.3.1	<i>Deltagare</i>	38
4.3.2	<i>Bakgrund</i>	38
4.3.3	<i>Syfte, övergripande målsättningar</i>	39
4.3.4	<i>Metod</i>	39
4.3.5	<i>Resultat och slutsatser</i>	40
4.3.6	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	42
4.4	EP4 - SAMVERKAN FÖR FÖRBÄTTRAD EKONOMISK OCH MILJÖMÄSSIG PRESTANDA.....	43
4.4.1	<i>Deltagare</i>	43
4.4.2	<i>Bakgrund</i>	43
4.4.3	<i>Syfte, övergripande målsättningar</i>	43
4.4.4	<i>Metod</i>	43
4.4.5	<i>Resultat och slutsatser</i>	44
4.4.6	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	45
4.5	EP5 - KOMMUNER SOM SYSTEMBYGGARE I ENERGISYSTEMEN	46
4.5.1	<i>Deltagare</i>	46
4.5.2	<i>Bakgrund</i>	46
4.5.3	<i>Syfte och målsättningar</i>	46
4.5.4	<i>Metod</i>	46
4.5.5	<i>Resultat</i>	47
4.5.6	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	48
4.6	DP6 - ÖKAD METANPRODUKTION OCH PROCESSTABILITET I BIOGASREAKTORER.....	49
4.6.1	<i>Deltagare</i>	49
4.6.2	<i>Bakgrund</i>	49
4.6.3	<i>Syfte och målsättningar</i>	50
4.6.4	<i>Metod</i>	50
4.6.5	<i>Resultat och slutsatser</i>	51
4.6.6	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	52
4.7	DP7 - ENZYMATISK ÖKNING AV SLAMS RÖTBARHET	53
4.7.1	<i>Deltagare</i>	53
4.7.2	<i>Bakgrund</i>	53
4.7.3	<i>Syfte, övergripande målsättningar</i>	54
4.7.4	<i>Metod</i>	54
4.7.5	<i>Resultat och slutsatser</i>	54
4.7.6	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	55
4.8	DP8 - SYSTEM OCH TEKNIK FÖR EFFEKTIV ANVÄNDNING AV BIOGÖDSEL.....	56
4.8.1	<i>Deltagare</i>	56
4.8.2	<i>Bakgrund och syfte</i>	56
4.8.3	<i>Metod</i>	56
4.8.4	<i>Resultat och slutsatser</i>	57
4.8.5	<i>Framtida forskningsutmaningar</i>	60
4.9	FORSKNINGSSYNTES FÖR ETAPP 1.....	61

5	MÅLUPPFYLLELSE OCH UTVÄRDERING	62
5.1	SAMHÄLLSINRIKTADE MÅL	62
5.1.1	<i>Förbättrat utbyte i befintliga biogasanläggningar med befintliga substrat</i>	62
5.1.2	<i>Ökad biogasproduktion genom användning av mer substrat i befintliga anläggningar</i>	63
5.1.3	<i>Nya substrat i biogaslösningar</i>	63
5.1.4	<i>Etablering av nya biogaslösningar i nya sektorer</i>	64
5.1.5	<i>Förbättrade möjligheter att nyttiggöra biogödseln</i>	64
5.2	PROGRAM- OCH CENTRUMSPECIFIKA MÅL.....	65
5.3	EXTERN UTVÄRDERING AV BRC	66
5.4	UTVECKLING I ETAPP 2.....	67
6	BILAGOR	68
6.1	BILAGA 1 – STYRELSE	68
6.2	BILAGA 2 – STYRGRUPP	69
6.3	BILAGA 3 – LEDNINGSGRUPP	70
6.4	BILAGA 4 – MEDVERKANDE PERSONER I FORSKNINGSPROJEKTEN	71
6.5	BILAGA 5 - ÖVERSIKTLIG BILD AV METODIKEN I PROJEKTET EP2, FÖR UTVÄRDERING AV SUBSTRAT	74
6.6	BILAGA 6 – DETALJERAD INFORMATION OM MÅLUPPFYLLELSE AVSEENDE PROGRAM- OCH CENTRUMSPECIFIKA MÅL	75
6.6.1	<i>Andelen mycket nöjda intressenter</i>	75
6.6.2	<i>Deltagande intressenter</i>	75
6.6.3	<i>Programgemensamma möten</i>	75
6.6.5	<i>Vetenskapliga publikationer</i>	76
6.6.6	<i>Presentationer vid vetenskapliga konferenser</i>	81
6.6.7	<i>Forskarutbyten</i>	87
6.6.8	<i>Examensarbeten</i>	88
6.6.9	<i>Adjungerade forskare från industrin</i>	89
6.6.10	<i>Patent</i>	89
6.6.11	<i>Medieexponering</i>	90
6.6.12	<i>Presentationer vid annat än vetenskapliga konferenser</i>	91
6.6.13	<i>Öppna större seminarier</i>	94
6.6.14	<i>Nya företag bildade ur centrumets forskning</i>	94
6.6.15	<i>Doktorsexamina</i>	94
6.6.16	<i>Licentiatexamina</i>	95
6.6.17	<i>EU-projekt</i>	95
6.6.18	<i>Kurser i forskarutbildning med betydande inslag som är mycket relevanta med tanke på BRCs vision och verksamhet</i>	96
6.6.19	<i>Kurser i grundutbildning med betydande inslag som är mycket relevanta med tanke på BRCs vision och verksamhet</i>	96
6.6.20	<i>Ansökningar om finansiering i närliggande område</i>	97
6.6.21	<i>Övriga långsiktiga samarbeten</i>	99

1 Bakgrund och introduktion

1.1 Utveckling och utmaningar

Översiktligt kan det konstateras att den pågående utvecklingen i världen innebär stora utmaningar. I många storregioner och länder växer befolkningen och man strävar mot ekonomisk tillväxt. En sådan utveckling för med sig att såväl användningen av material som energi förväntas öka de närmaste decennierna. Parallellt, förekommer utmaningar som gäller resursbrist och olika former av miljö- och hälsoproblem, vilket sätter fokus på lösningar som ger mindre utsläpp och reducerar annan typ av negativ miljöpåverkan. Förnyelsebar energi pekas ut som en viktig del i en global "hållbarhetsstrategi", så även inom vissa storregioner och länder. Bland de förnyelsebara alternativen är bioenergi en viktig pusselbit, vars potential debatteras men det samtidigt står klart att potentialen är långt från infriad. Fossila bränslen dominerar i många sammanhang och de förefaller speciellt svåra att ersätta i transportsektorn, som exempelvis inom EU halkat efter med en låg andel förnyelsebar energi.

Biobränslen kan användas i många olika typer av energisystem och på ett flertal sätt bidra till betydande förbättringar – delösningar för de nämnda utmaningarna. I stark kontrast till fossila alternativ kan energibehov tillfredsställas i kombination med en minskad miljöpåverkan och en stärkt lokal energiförsörjning och sysselsättning. Biogas är ett biobränsle, en förnyelsebar energibärare, som kan produceras från många olika typer av råvaror via anaerobisk nedbrytning eller termisk förgasning av organiskt material. Rapporten och forskningen inom BRC fokuserar på anaerobisk nedbrytning.

1.2 Introduktion om biogas

BRC:s verksamhet är alltså främst inriktad mot biogas som produceras i biogasanläggningar, där olika typer av organiskt material (substrat) behandlas. Våta substrat kan pumpas in i en rötchammare eller "torra" (mindre våta) rötas exempelvis i en form av bädd. Det handlar om anaerob rötning där samspelet mellan olika typer av mikroorganismer spelar en viktig roll, då sammansatta organiska föreningar (såsom kolhydrater, fetter och proteiner) bryts ned främst till metan och koldioxid, men också till spår av andra föreningar (till exempel divätesulfid och ammoniak). En viktig fördel med biogas är att många olika typer av substrat kan nyttjas, exempelvis avloppsslam, gödsel, matavfall, slakteriavfall, jordbruksgrödor och olika former av avfallsflöden från industrier. Det går bra och är vanligt att använda sekundära råvaror, det vill säga olika typer av restprodukter eller avfall. Utöver den energirika gasen bildas en rötrest (digestat) med innehåll av viktiga näringsämnen som genom processen fått en förbättrad biotillgänglighet.

När det gäller biogasens användning ses vanligen metan som den värdefulla energibäraren, medan koldioxid och annat utgör föroreningar. Om biogasen skall utnyttjas som transportbränsle krävs uppgradering, en process som avlägsnar koldioxid och andra föroreningar och därmed leder till högre metankoncentration. Digestatet kan användas som biogödsel, vilket i så fall bidrar till kretslopp av viktiga näringsämnen (såsom kväve och fosfor). Möjligheten för detta och värdet av biogödseln påverkas bland annat av näringsinnehållet, näringsens förekomstform samt förekomst av eventuella föroreningar av olika slag (exempelvis tungmetaller).

Biogas är alltså en förnyelsebar energibärare, som kan produceras utifrån lågvärdiga substrat, med biogödsel som en viktig biprodukt. Utveckling inom biogasområdet ger möjlighet att bidra till hållbar energiförsörjning (värme, el, fordonsbränsle) på en lång rad sätt. I en nära framtid kan biogas produceras i många olika sammanhang för användning på flera olika marknader i en stad eller region. I och kring en stad finns redan många biogaslösningar implementerade som ökar samhällets samlade resurseffektivitet. Några exempel som illustrerar biogaslösningarnas mångsidighet och kapacitet att bidra till en mer hållbar energiförsörjning är: (i) utvinning av deponigas för elproduktion, (ii) anaeroba steg i vattenrening i olika industrier som ger metan som ersätter tidigare gasolanvändning i industriella processer, (iii) samrötning av olika avfall och rötning av avloppsslam med uppgradering till fordonsgas och (iv) rötning av gödsel för el och värme. Sådana biogaslösningar kan bidra till ökad konkurrenskraft för näringslivet och till att lösa miljöproblem. En utveckling av biogasområdet i Sverige ger dessutom bättre möjligheter att sprida såväl teknik som kompetens nationellt och internationellt.

1.3 Biogasproduktion i Sverige samt en internationell utblick

I Sverige har biogas producerats vid avloppsreningsverk sedan 1960-talet och avloppsslam är fortfarande det enskilt viktigaste substratet. Till en början var huvudsyftet främst hygienisering och att minska slamvolymerna, men strävan mot minskat oljeberoende och reducerad miljöpåverkan lyfte upp biogasen på agendan. Under 1970- och 80-talet introducerades biogasproduktion i flera industrisektorer och till viss del för rötning av gödsel inom lantbruket. Vidare påbörjades insamling av biogas vid några avfallsdeponier, vilket sedan utökats rejält. Efter 1990-talets mitt har bilden också kompletterats med så kallade samröttningsanläggningar, som producerar biogas från flertal olika organiska material, exempelvis avfall från hushåll, slakterier, storkök samt livsmedelsindustrier.

Kapaciteten för biogasproduktion har alltså byggts upp under lång tid i landet, där det i grova drag finns 250 biogasanläggningar idag. Expansionen har varit relativt kraftig under senare tid, där produktionen exempelvis var ca 1,2 TWh år 2006; ca 1,6 TWh år 2012 och förväntas hamna strax under 2,5 TWh 2015. Den svenska biogaspotentialen är avsevärt större, åtminstone skulle produktionen kunna tiofaldigas, men för att den skall realiseras krävs bland annat förbättrad lönsamhet och att spelreglerna på marknaden klargörs mer långsiktigt.

En översiktlig internationell utblick visar också på en kraftig expansion avseende biogas. Produktionen har i perioden år 2000-2011 ökat från ca 80 till 300 TWh i världen, det vill säga ungefär 3,5 gånger. I grova drag har USA fördubblat sin produktion under denna period, medan EU fyrdubblat och Kinas biogasproduktion ökat med en faktor 7. Generellt används biogas huvudsakligen för el- och värmeproduktion, där Schweiz och Sverige är tydliga undantag eftersom ungefär hälften av gasen i dessa länder uppgraderas och används som fordonsbränsle.

Översiktligt och förenklat kan ett antal viktiga förutsättningar lyftas fram som både påverkar svensk biobränsleproduktion och dess miljö- och energiprestanda. En viktig grundförutsättning är god tillgång på biomassa av olika slag, till exempel kopplat till skog, jordbruksarealer och akvatiska miljöer. Dock innebär klimatet att odlings- och tillväxtsåsongerna är kortare än i exempelvis Mellaneuropa. Sverige har vidare en hög andel biobränslen i "energisystemet", där det bland annat finns många kraftvärmeverk kopplade till system för fjärrvärme och fjärrkyla. I kombination med vatten- och kärnkraft leder det till att den svenska elmixen har mycket god miljöprestanda.

Transportsektorn, som ungefär står för 25% av energianvändningen och 30% av utsläppen av växthusgaser, är den sektor som förefaller ha svårast att fasa ut de fossila bränslena.

2 Introduktion till BRC

2.1 *Kompetenscentrum*

Ett kompetenscentrum (etablerat som BRC) bygger på äldre program som lanserades av NUTEK och senare övertogs av VINNOVA och Energimyndigheten. Grundidén handlade om att öka svenska forskares incitament för att interagera med övriga samhället/näringslivet och att skapa långsiktiga förutsättningar för detta, bland i form av finansiering. NUTEK ville också förnya det svenska FoU-systemet, där bland annat tvärvetenskaplighet lyftes fram.

Den grundläggande finansieringen är tredelad, där en statlig finansiär såsom Energimyndigheten står för en tredjedel i form av kontanta medel. Vidare går Linköpings Universitet in med motsvarande andel och den sista tredjedelen kommer från deltagande parter i centrumet, vilket handlar om företag, kommuner och intresseorganisationer. Både universitetet och parter investerar i form av kontanta medel och naturinsatser. Till en början var avsikten 10-åriga satsningar, med tre etapper om vardera två, fyra respektive fyra år. Dock har ett flertal kompetenscentrum erhållit fortsatt finansiering längre än så.

Sex kompetenscentrum som Energimyndigheten delfinansierar belystes genom en form av metautvärdering år 2013. Det konstaterades att kompetenscentrum skapar ”starka och innovativa forskningsmiljöer där forskare från olika discipliner samarbetar med ett nätverk av företag. Forskningen inriktas på områden och problem som både är vetenskapligt utmanande och centrala för företagen. Genom företagens engagemang kommer idéer och resultat snabbt till nytta.” Vidare menade utvärderarna att denna typ av satsningar ger möjlighet att långsiktigt bygga upp kunskap och förbättra möjligheterna till kompensationsförsörjning, för medverkande företag men också för samhället i stort. Verksamheten hade inducerat en rad positiva och konkreta resultat, såväl kortsiktigt som mer långsiktigt. Samtidigt belyste utvärderingen att kompetenscentrumsatsningar är långsiktiga och därmed måste utvärderas i det perspektivet: ”Vanligen tar det 5–20 år från någon form av FoU-resultat till kommersialisering, beroende på teknikområde, bransch etc. ... kompetenscentrumen genererar långsiktiga relationer och länkar mellan industri- och akademisk forskning, men även mer långsiktig forskning än vad som typiskt är fallet vid forskningsinstitut.”

Utifrån metautvärderingen konstateras att kompetenscentrumen är väl fungerande verksamheter som effektivt skapar resultat och effekter som kommer parterna och övriga samhället till del.

2.2 *Etablering och utveckling av BRC*

På uppmaning av Energimyndigheten ansökte Linköpings universitet år 2010 om stöd för att etablera ett kompetenscentrum med inriktning mot biogas. Den första ansökan i juni 2010 gällde förstudiemedel, vilket beviljades cirka ett år senare. Därefter formulerades en mer komplett ansökan avseende etapp 1 som skickades in i oktober 2011. Ett positivt beslut fattades av EUN i juni 2012 och verksamheten inom BRC startades 2012-12-01.

Inför och under ansökningsprocessen kartlades viktiga och forskningsrelevanta utmaningar för biogasbranschen och dess aktörer, utifrån litteraturstudier, input från forskare och vid workshops som genomfördes i samverkan med potentiella medverkande parter. Det innebar att forskningsprogrammet för den första etapp som rapporten gäller inriktades mot

5 huvudutmaningar:

1. mer gas från befintliga anläggningar;
2. nya substrat;
3. implementering i nya sektorer;
4. ökad resurseffektivitet i produktion och distribution och
5. relevanta samhällseliga villkor.

Utmaning 1 syftar till att på kort sikt genom åtgärder av inkrementell karaktär förbättra lönsamheten för existerande biogaslösningar genom att ta till vara den förbättringspotential som finns.

Utmaningarna 2-4 syftar till att på längre sikt med ett större mått av innovation skapa förutsättningar för nya biogaslösningar med effektiv produktion samt god miljöprestanda och lönsamhet. Utmaning 5 syftar till att facilitera utvecklingen av biogaslösningar generellt genom att skapa förståelse för samhällets effekt på denna. Bakgrunden till utmaningarna och till dem hörande forskningsprojekt presenteras mer utförligt i kapitel 4.

För denna första tvåårsperiod har bland annat följande mål varit viktiga:

- att bygga upp en väl fungerande verksamhet med organisation och funktioner för att stödja högklassig forskning med programmets deltagare;
- att organisatoriskt och vetenskapligt lägga grunden för en ny programperiod i utökad omfattning.

BRC etablerades medvetet med fokus på teknik- och processforskning och dess nyttiggörande, väl kompletterat med en kombination av systemanalytisk och socioteknisk forskning, vilket inte finns samlat på detta sätt någon annanstans i Sverige.

2.3 Ekonomisk omsättning

Verksamheten påbörjades i december 2012 och pågick till och med november 2014. Den totala omsättningen har varit 22,7 Mkr, fördelat på 10 Mkr år 1 och 12,7 Mkr år 2. Energimyndigheten stod för en knapp tredjedel (7 Mkr, kontant); LiU (7,9 Mkr) samt partner och medlemmar för drygt en tredjedel (7,8 Mkr). Finansieringen från LiU och deltagande organisationer var både i form av kontanta medel och naturamedel.

Det bör noteras att den beskrivna ekonomin gäller det program som Energimyndigheten finansierar och som främst är inriktat mot de åtta forskningsprojekt som bedrivits. Dock pågår mycket andra relevanta aktiviteter kring BRC, vilket kan ses som att centrumets verksamhet är mer omfattande än själva forskningsprogrammet.

2.4 Vision, syfte och framgångsfaktorer

BRC:s långsiktiga vision är:

Resurseffektiva biogaslösningar finns genomförda i många nya tillämpningar och bidrar till en mer hållbar energiförsörjning, förbättrat miljö tillstånd och goda affärer.

BRC:s särskilda roll för att uppnå denna vision är att bidra med kunskapsförsörjning och process-/teknikutveckling för att göra den möjlig. Centrumets verksamhet skall facilitera utveckling, innovation och implementering av biogaslösningar.

Resurseffektivitet är ett nyckelord, som signalerar fokus på optimerat nyttjande av resurser såväl genom att förbättra befintliga processer och anläggningar som genom att utveckla biogaslösningar för olika sektorer och möjliggöra användning av nya substrat. En integrerad syn på tillförsel och användning är exempel på konkreta uttryck av visionen.

Syftet med BRC är att skapa en stark, nationell kompetensbas som mynnar ut i industriellt och samhällsligt motiverad forskning om och utveckling av biogaslösningar. Tyngdpunkten ligger på process- och teknikutveckling, kompletterad med system- och samhällsforskning för att analysera resurseffektivitet samt samhällsliga och affärsmässiga villkor, eftersom den typen av kunskap är central för att resurseffektiva biogaslösningar faktiskt skall implementeras.

Forskningen inom programmet ska vara av hög akademisk och industriell relevans för att kunna understödja utvecklingen inom kunskapsområdet. Detta gäller såväl kompetenshöjningen via forskarutbildning och annan vetenskaplig meritering som det industriella behovet av teknisk kompetens och personal inom området. BRC-programmet ska vara till nytta för producenter och användare av biogas, för företag som utvecklar teknik och processer samt för beslutsfattare i olika offentliga organisationer.

På ett övergripande plan ska centrumets verksamhet främst fokusera på kompetenshöjning i akademien, företag och offentliga organisationer. Viktiga framgångsfaktorer för centrumet är således:

- Att fungera som en kraftsamlande plattform i Sverige för integrerad kunskapsutveckling inom biogaslösningarnas process- och teknikutveckling och dess nyttiggörande. Detta innebär att svensk FoU stärks och blir kostnadseffektiv.
- Att stärka den nationella kompetensen inom akademien för att möta den ökade efterfrågan av kvalificerade forskare inom akademien och de kunskapsintensiva företagen.
- Att bedriva världsledande FoU med stor bredd och stort djup för att driva och stödja process-/teknikutveckling och dess spridning och nyttiggörande.
- Att vara en stark samarbetspartner för internationella aktörer och bidra i europeiska och globala program för att stärka kompetensuppbyggnaden inom området resurseffektiva biogaslösningar.

2.5 BRC:s hörnstenar

Några av hörnstenarna med BRC beskrivs i de följande avsnitten.

2.5.1 Interaktion för innovation

De medverkande i centrumet har hög kompetens när det gäller biogaslösningar men är ofta specialiserade inom en del av området. Centrumet ska ge god möjlighet för företag och forskare att fortsätta utveckla sina specialområden. En grundtanke med centrumet är dessutom att sammanföra biogasrelaterad kompetens från olika områden med olika perspektiv för att skapa interaktion på flera olika plan – mellan näringsliv, akademi och samhälle, mellan olika aktörsperspektiv, mellan olika discipliner samt mellan olika kompetensområden. Syftet är att utveckla en arena för innovation där samproduktion av kunskap frodas.

Programmets tyngdpunkt ligger inom process- och teknikutveckling. För att kunna nyttiggöras måste denna utveckling också implementeras. Därför utgår programmets vision från faktiskt genomförande av biogaslösningar, vilket innebär en stor utmaning eftersom resurseffektiva biogaslösningar

involverar många olika aktörer och sektorer. För vissa är biogaslösningarna bara en mindre fråga som kan ha svårt att tävla om organisationens fokus. Visionen ställer också krav på forskningens ansats och organisering. Forskningsutmaningarna är av transdisciplinär art och därför måste centrumet innehålla en stor bredd av vetenskapliga discipliner.

2.5.2 Teknik- och processutveckling, explorativ forskning och stödjande av implementering

Under etapp 1 har kontakterna med de deltagande parterna, med BRC:s bredare nätverk samt en vidare omvärldsanalys klart indikerat att de 5 huvudutmaningarna för biogasaktörer fortfarande är centrala och bör utgöra utgångspunkter för forskningen. En grundtanke med programmet är att säkerställa en god balans mellan de kortsiktiga FoU-behovet och samhällets behov av kunskap som stödjer långsiktiga transitioner. Tanken är att parallellt:

- Öka kunskapen inom områden som i nuläget lyfts fram som väsentliga av "biogasaktörerna" där man snabbt vill se konkreta lösningar för att öka konkurrensförmågan och lönsamheten.
- Ha en explorativ dimension i projekten för att kartlägga viktiga huvudspår för den fortsatta forskningen. Flera projekt innehåller en översiktlig värdering av olika teknikspår med syfte att stimulera förnyelse.
- Kunna genomföra integrerande analyser av aspekter som processutmaningar, behov av teknikutveckling, energi- och miljöprestanda, affärsstrategiska överväganden, institutionella villkor samt aktörsintressen för att bättre kunna förstå och understödja implementering av biogaslösningar i utvalda branscher och regioner.

2.5.3 Kortsiktig lönsamhet och långsiktig innovation

En viktig hörnsten för programmet är att bidra till att stärka biogasaktörernas affärer. Dessa aktörer utgör bärare av den erfarenhet och innovation som utvecklats så här långt vilken det nya ska vila på. Därför är det viktigt att fokus läggs på forskning som på ett kostnadseffektivt sätt bidrar till förbättrad lönsamhet för existerande biogasaktörer. All forskning genomförs i projekt med deltagande från akademien och centrumets medlemmar. Centrumet ska även bidra till affärsnytta genom att möjliggöra kommersiell utveckling av resultat från forskningen. Ett kompetenscentrum gör det möjligt för enskilda biogasaktörer att sätta in en mindre insats för FoU och bli del av en stor verksamhet som ger en mycket god utväxling av den egna insatsen. Detta bidrar till en god jordmån för det mer långsiktiga innovationsarbetet.

2.5.4 Spridning till nya sektorer och marknader

Kunskap och praktisk erfarenhet av biogaslösningar i Sverige har främst växt fram i avfallssektorn. Denna sektor och dess aktörer utgör en viktig bas för biogaslösningarnas utveckling och för BRC:s forskning. För att kunna få ett större genomslag för resurseffektiva biogaslösningar krävs dock att denna utveckling kan spridas och omsättas i fler sektorer och i nya marknader.

2.6 Energi-, samhälls- och miljörelevans

Biogasen kan spela en betydande roll i energisystemet på flera olika sätt, såsom att nå mål om förnybarhet och minskad miljöpåverkan samt för att förbättra försörjningstryggheten lokalt. Biogasteknik ger möjlighet att utvinna energi ur lågvärdig biomassa, exempelvis biomassa med hög vattenhalt som inte bör förbrännas. Biogas är en flexibel energibärare som bland annat kan användas inom transportsektorn där fossila bränslen dominerar bilden.

Biogaslösningarnas resurseffektivitet och betydelse i framtiden påverkas av det omkringliggande energisystemet. Om biogas används för elgenerering påverkas andra sätt att generera el på lokal, nationell och internationell nivå. Om biogas används för värmegenerering, påverkas energi- och miljöprestanda av vilka andra bränslen som i detta fall ersätts. Här har det också stor betydelse om biobränslen betraktas som en begränsad resurs eller inte. Om biogas tillförs ett fjärrvärmesystem med kraftvärme, kommer både elgenerering och bränsleanvändning att påverkas. Om biogas används i transportsektorn kommer den att konkurrera med andra bränslen och med eldrivna transporter och därmed också i dessa fall påverka både elgenerering och bränsleanvändning.

Expansion av biogaslösningar medför flera fördelar ur ett samhällsperspektiv utan att de medför några större konflikter mellan olika intressen. Ökad tillförsel av energi från lokala och regionala råvaror stärker den lokala och regionala ekonomin bland annat genom minskad import av fossila bränslen och genom ökad sysselsättning. Biogaslösningarna griper samtidigt in i många olika samhällssektorer. Avfalls-, energi-, lantbruks-, skogsbruks- och transportsektorn samt många industrisektorer kan tillsammans med offentliga aktörer utvecklas genom att använda olika typer av biogaslösningar. Därigenom kan samhällsliga kostnader för hantering av avlopp och avfall minskas och konkurrenskraften i många industrisektorer stärkas genom att kostnader för hantering av olika avfall kompenseras av en växande marknad för försäljning av biogas och biogödsel. Flera svenska företag levererar produkter, tekniska lösningar och systemkunnande inom biogasområdet. De svenska erfarenheterna av att utveckla ett fungerande system för framställning av fordonsgas till transportsektorn har uppmärksammats internationellt.

Miljösystemanalytiska studier visar att många biogaslösningar medför ett flertal miljörelevanta fördelar, inte minst i jämförelse med fossila alternativ. Utöver biogasens funktion som en förnybar energibärare med flera olika användningsområden, bidrar smarta biogassystem till lösningar på ett flertal problem med få miljömässiga konflikter. Biogas produceras vanligen av organiskt avfall, exempelvis reningsverksslam, gödsel och andra rester från jordbruksproduktion, hushåll och matindustri. Biogasproduktion från avfall innebär en kontrollerad nedbrytning och omhändertagande av metan som under andra premisser kan läcka till atmosfären från exempelvis gödsellagring. Biogasproduktionen kan således bidra till att reducera problem och negativa effekter kopplat till avfallshantering. I samband med nedbrytningen av det organiska materialet sker dessutom en omvandling som frigör viktiga näringsämnen i en mer tillgänglig form i rötresten än jämfört med andra avfallsbehandlingsmetoder. Rötresten kan sedan återföras till jordbruks- eller skogsmark där den ersätter handelsgödsel och ökar halten av organiskt material. Biogasproduktion kopplad till produktion av andra biobränslen, till exempel etanol och biodiesel, kan vara viktig för att kunna uppnå en bra energibalans samt för att hantera biprodukterna från sådan produktion.

Biogas kan spela en viktig roll i Sveriges arbete med miljö- och hållbarhetsfrågor, vilket bland annat gäller att uppnå mål avseende:

- begränsad klimatpåverkan, genom minskade utsläpp av växthusgaser
- frisk luft, genom minskade utsläpp av kväveföreningar och partiklar
- reducerad försurning, genom minskad utlakning av kväveföreningar
- reducerad övergödning, genom minskade utsläpp av kväveföreningar, där även biogas från akvatiska substrat kan ha positiv inverkan
- god bebyggd miljö, genom bättre luftkvalitet tack vare gasdrivna fordon
- levande sjöar och vattendrag, till exempel genom bortförel och rötning av akvatisk biomassa
- ökad andel förnybar energi
- ökad andel av matavfallet som återvinns genom biologisk behandling.

3 Organisation och medverkande

Här berörs först styrelsen och den övergripande organisationen, därefter medverkande avdelningar och forskare vid Linköpings universitet (LiU) samt deltagande partners och medlemmar.

3.1 Styrelse och övergripande organisation

För BRC:s verksamhet under etapp 1 har dess styrelse haft ett stort ansvar. Inledningsvis (under de första veckorna) fanns en interimstyrelse som sedan övergick i en ordinarie styrelse med tre representanter från LiU (utsedda av rektor, inklusive ordföranden), sex representanter från partners och medlemmar samt en representant från Energimyndigheten. Den ordinarie styrelsens sammansättning presenteras i bilaga 1 (se 6.1).

Samtliga partners och medlemmar formade BRC:s stämma, som bland annat valt vilka representanter för partner och medlemmar som ingått i styrelsen.

Per Mårtensson utsågs av rektor till centrumets föreståndare, för att leda den löpande verksamheten enligt de strategier och planer som styrelsen beslutat. Föreståndaren har bland annat haft arbetsuppgifter som gäller:

- Ekonomi
- Projektuppföljning
- Kommunikation internt och externt, exempelvis;
 - intranät och hemsida
 - möten
 - rapportering (styrelse, Energimyndigheten, etc.)
 - dialog med partner, medlemmar, adjungerade och övriga intresserade
 - dialog med internationella referensgruppen
- Dokumenthantering
- Ansökningar
- Representation i för verksamheten centrala organisationer och aktiviteter, exempelvis inom TASK37, samt vid olika typer av konferenser och seminarier.

För att assistera föreståndaren och bereda olika typer av ärenden har följande grupper och roller också förekommit under etapp 1:

- Vetenskapligt ansvarig; Mats Eklund, som bland annat jobbat med centrumets vetenskapliga utveckling och kvalitet och ansökan för etapp 2.
- Biträdande föreståndare; Annika Björn, som bland annat fokuserat på extern kommunikation och tagit fram en kommunikationsplan för BRC
- Biträdande föreståndare; Jonas Ammenberg, som bland annat jobbat med uppföljning, utvärdering och ansökan för etapp 2.
- Styrgrupp; som ledd av föreståndaren berett olika typer av ärenden. Bland annat har styrgruppen jobbat med ansökningar, projektplanering och uppföljning, samt planering av större, gemensamma möten. Styrgruppens deltagare presenteras i bilaga 2 (se 6.2).
- Ledningsgrupp; för dialog mellan föreståndaren och medverkande avdelningar. Ledningsgruppens deltagare framgår av bilaga 3 (se 6.3).

3.2 Internationell referensgrupp

En internationell referensgrupp har haft till uppgift att bedöma och bidra till centrumets utveckling och till de forskningsprojekt som bedrivs. Referensgruppen hjälper bland annat till att säkra den internationella relevansen. Under etapp 1 har medlemmarna deltagit vid centrumets stormöten och där exempelvis givit feedback till centrumets styrelseledamöter, ledning och projektledare samt på olika sätt klargjort relevanta utmaningar för biogaslösningar, med perspektiv från andra regioner och länder.

Referensgruppen leds av professor Frank Scholwin, som bland annat är vice ordförande för European Biogas Associations (EBAs) vetenskapliga råd. I gruppen ingår också:

- Professor Willy Verstraete, mikrobiolog vid Gent University, Belgien
- Dr Jochen Markard vid ETH Zürich, Schweiz, som studerar uppkomsten av nya tekniker, som biogasproduktion, såväl ur ett samhälls- som organisatoriskt perspektiv
- Dr. Rikke Lybaek vid Roskilde Universitet, Danmark, verksam inom planering och implementering av förnybar energi.

3.3 Medverkande avdelningar vid LiU

Under etapp 1 har främst forskare från 6 olika avdelningar inom Linköpings universitet medverkat i forskningsprojekten. Avdelningarna presenteras kortfattat nedan, i bokstavsordning. I bilaga 4 (se 6.4) finns också en förteckning över medverkande forskare.

3.3.1 Biologi

Avdelningen för Biologi tillhör Institutionen för Fysik, Kemi och Biologi (IFM), och har cirka 30 fast anställda och knappt 20 doktorander. Avdelningen undervisar främst biologer och civilingenjörer med inriktning mot kemisk och teknisk biologi. Forskningen är uppdelad på tre grenar: ekologi, molekylär genetik och zoologi. Forskningen inom ekologi - och miljöområdet bedrivs främst i Sverige i samarbete med flera andra institutioner (t.ex. Halmstad Högskola, SLU, SMHI). Biologi har också ett brett internationellt nätverk med forskare i till exempel Bolivia, Östafrika, Vietnam och Polen; i de två senare länderna specifikt med forskare som forskar kring frågor relaterade till biogaslösningar. Kompetensen som finns, och forskningen som bedrivs, är central för BRC på olika sätt, bland annat gäller det:

- Näringsflöden och -tillgänglighet, exempelvis kopplat till hantering av biogödsel. Ett exempel är analys av den rumsliga fördelningen av samhällets näringsämnen, inklusive scenarie-analyser, vilket görs tillsammans med IFM Teoretisk Biologi.
- Studier av metoder för att separera näringsämnena i digestat i olika fraktioner.
- Akvatiska miljöer, exempelvis hur biogaslösningar kan påverka Östersjöns utveckling, till exempel genom skörd av biomassa och rötning av densamma
- Våtmarksekologi och olika eko-tekniska lösningar för att bättre hushålla med näringsämnena.

Länk: <https://www.ifm.liu.se/biology/>

3.3.2 Energisystem

Avdelningen för Energisystem vid Institutionen för Ekonomisk och Industriell utveckling (IEI) har i mer än 30 år arbetat med att ur ett systemperspektiv analysera både energitillförsel och energianvändning. Syftet med den forskning som bedrivs är att identifiera och analysera systemåtgärder som främjar och påskyndar en utveckling av hållbara energisystem. Verksamheten inom avdelningen är uppdelad i tre huvudinriktningar:

- • Nationella, regionala och kommunala energisystem.
- • Industriella energisystem.
- • Byggnaden som energisystem.

Den forskning som bedrivs inom avdelningen har stor relevans för BRC genom biogasens starka koppling till och samverkan med det omgivande energisystemet. Speciellt kan nämnas miljömässiga konsekvenser och ekonomiska effekter av en ökad satsning på biogas samt åtgärder för att stärka biogasens roll i ett resurseffektivt regionalt energisystem genom en tydlig interaktion med näringslivet i övrigt.

Avdelningen är aktiv i flera internationella forskningssamarbeten inom ramen för International Energy Agency.

I den tvärvetenskapliga nationella forskarskolan Program Energisystem där doktorander och forskare från både tekniska och samhällsvetenskapliga discipliner deltar, är avdelningen för Energisystem ledande.

Länk: <http://www.iei.liu.se/energi?!=sv>

3.3.3 Industriell miljöteknik

Avdelningen för Industriell miljöteknik finns också på Institutionen för Ekonomisk och Industriell utveckling. Här jobbar ca 25 personer med olika bakgrunder och flera olika nationaliteter. Med en multidisciplinär approach bedrivs forskning och utbildning om miljörelevanta frågor rörande tekniska system, produkter och tjänster samt organisationer. Många av projekten har miljösystemanalytisk karaktär och sker i nära samverkan med industrin och andra typer av organisationer. Ett genomgående huvudspår är att vända miljöproblem till affärsmöjligheter, vilket stämmer mycket bra med centrumets inriktning.

Vid avdelningen bedrivs forskning om biobränslets miljöprestanda och under senare år med ett allt större fokus på biogas. Även annan verksamhet än den som rör biobränslen bidrar väsentligt, till exempel forskning som handlar om möjligheter att internationalisera miljörelevanta verksamheter och export av svensk miljöteknik, hållbar stadsutveckling och transitioner av sociotekniska system, samt miljösystemanalyser av olika typer av produkter.

Länk: <http://www.iei.liu.se/envtech?!=sv>

3.3.4 Molekylär bioteknik

Vid avdelningen för Molekylär bioteknik vid Institutionen för Fysik, Kemi och Biologi (IFM) bedrivs bland annat forskning om enzymer egenskaper inklusive hur dessa egenskaper kan utnyttjas eller ändras för att användas inom industriell bioteknik. Denna forskning bedrivs i nära samarbete med

andra grupper inom institutionen och i samverkan med näringslivet. Viktiga exempel är proteinkemi och strukturbologi, där sammanlagt ett tiotal forskare har kompetens och utrustning som är av stor betydelse för bioteknisk forskning. Inom institutionen finns god tillgång till utrustning för forskning kring industriell bioteknik.

Inom avdelningen för Molekylär bioteknik finns stora kunskaper om enzyms biokemiska och biofysikaliska egenskaper och analysmetoder för dessa egenskaper. Dessa kunskaper täcker alla de egenskaper som är viktiga för ett projekt inom industriell bioteknik såsom enzymatiska mekanismer, veckningsmekanismer, proteinstabilitet, proteiners interaktioner med ytor och protein-proteininteraktioner, samt djupgående kunskaper om kloning, molekylmodellering, protein engineering och protein produktion/upprening.

Vid avdelningen finns personal med mångårig och central erfarenhet av biogasrelaterad forskning. Det gäller dels inom protein engineering, enzymstabilitet och enzyms interaktioner med ytor och funktionalitet på nanopartiklar - egenskaper som alla är av fundamental betydelse för stabil och effektiv användning av enzymer i påfrestande miljöer.

Länk: <https://www.ifm.liu.se/chemistry/molbiotech/>

3.3.5 Tema miljöförändring (f.d. Tema vatten i natur och samhälle)

Tema miljöförändring (f.d. Tema Vatten i natur och samhälle) är en nationellt och internationellt etablerad miljö för tvärvetenskaplig forskning och utbildning. Här samarbetar forskare i sökandet efter kunskap över disciplingränserna inom ett brett spektrum av miljö- och energifrågor. Vid avdelningen bedrivs biogasforskning med fokus på att effektivisera den biologiska nedbrytningen av organiskt material till metan och koldioxid. Detta omfattar bland annat ökad produktion av biogas från specifika substrat, förbättring av processtabilitet och ökad belastningskapacitet. I detta ingår studier av potentialer och effekter av samrötning av olika substrat och avfallsströmmar samt möjligheter att utnyttja nya substrat. Exempel på det sistnämnda är en djupare studie av möjligheterna att utnyttja vattenströmmar inom pappers- och massaindustrin för biogasproduktion i ett projekt samfinansierat av industriella partner, LiU och Energimyndigheten. Ett starkt fokus är spårämnestillsatserns inverkan på processen och deras tillgänglighet för mikroorganismernas tillväxt. I ett pågående projekt studeras svavels inverkan på spårmetallernas biotillgänglighet. Kemisk och fysikalisk analys samt mikrofloras respons i form av aktivitet och sammansättning utgör basen för utvärderingen i dessa sammanhang. Till detta kommer en kartläggning av mikrofloras dynamik och rötvätskors reologiska karaktär i förhållande till olika processbetingelser och substrat. På Tema M:s laboratorium finns tillgång till nödvändig utrustning för biogasrelaterad forskning.

Forskargruppen har en gedigen kompetens och mångårig erfarenhet, med ett par professorer samt ett flertal doktorer och doktorander.

Länk: <http://www.tema.liu.se/tema-m?!=sv&sc=true>

3.3.6 Tema teknik och social förändring

Tema teknik och social förändring (Tema T) vid Linköpings universitet bedriver samhällsvetenskaplig forskning kring hur människor skapar och använder teknik, samt om sambandet mellan teknisk förändring och kulturmönster, vardagsliv, politik och ekonomi. Forskningen är tvärvetenskaplig och innefattar såväl nutidsanalyser som historiska studier. På Tema T arbetar cirka 50 personer med olika

disciplinära bakgrunder. Ungefär hälften av de anställda forskar om energisystemens utveckling, vilket betyder att Tema T en stor forskningsmiljö i Norden när det gäller samhällsvetenskapliga studier av energisystem. Tema T är aktivt inom den nationella forskarskolan Program Energisystem, där blivande doktorer utbildas i energisystem med olika systemavgränsningar.

Energiforskningen kretsar bland annat kring dynamiken i lokala och regionala transport- och energisystem, byggnadens energisystem samt energianvändarnas förståelse för teknik och energi. Empirisk, teoretisk och metodisk kunskap har byggts upp om de system som möjliggör användning av energi, med stöd av teorier om stora tekniska system, risk, genus, institutioner, planering, policy, innovationer och styrning. Inom forskargrupperna finns lång och gedigen erfarenhet av fältstudier i kommuner och regioner. Flera seniora forskare har disputerat inom, eller haft verksamhet kopplat till, biogasområdet. Det gäller exempelvis kommuners roll avseende biogasutvecklingen.

Länk: <http://www.tema.liu.se/tema-t?!=sv>

3.3.7 Övriga ämnesområden av relevans

Utöver dessa inom BRC involverade avdelningar/forskargrupper finns ett flertal andra grupper vid Linköpings universitet som kan komma att bli värdefulla med tanke på centrumets verksamhet. Det gäller till exempel de som forskar om företags- och nationalekonomi, logistik, innovation och entreprenörskap samt beteendevetenskap. De kan tillföra ytterligare kompetens, bland annat gällande:

- Export, internationalisering, affärer och näringslivsutveckling.
- Förbättring av möjligheterna till resurseffektiv logistik för biogaslösningar.
- Samhällsekonomiska analyser av biogaslösningar.
- Utformning, anpassning och tillämpning av olika typer av styrmedel på ett gynnsamt sätt.
- Kunskapsöverföring, kommunikation, nätverk, samverkan, m.m.

3.4 Medverkande partners, medlemmar och associerade

Utöver de medverkande forskarna, har medverkande företag och andra typer av organisationer såsom branschorganisationer och kommuner en central roll. Dessa har medverkat i BRC:s etapp 1 på två nivåer: där *partners* bidragit med minst 250 kkr/år respektive *medlemmar* med minst 100 kkr/år. Dock har det inte bara handlat om att finansiera verksamheten/forskningen, utan även om att påverka verksamhetens inriktning, delta i forskningsprojekten och vid olika typer av gemensamma möten. Det har rört sig om betydande insatser i form av kompetens, tid och engagemang. En tredje nivå var *associerade* organisationer (som bidragit med 10 kkr/år), som velat stötta och hålla sig ajour med centrumets verksamhet, erhållit anpassad information, samt inbjudits till konferenser och andra liknande arrangemang som BRC anordnat.

I de följande styckena finns kort information om medverkande partners och medlemmar, vilka presenteras i bokstavsordning. I bilaga 4 (se 6.4) finns också en förteckning över medverkande personer i forskningsprojekten.

3.4.1 Biototal

Biototal arbetar för hållbara kretsloppslösningar mellan stad och land, där vi tillsammans med våra kunder ser till att olika bi- och restprodukter kommer till nytta inom kretsloppet. Biototals vision är att bidra till en bättre miljö, utveckla långsiktigt hållbara lösningar och samtidigt skapa ekonomiska

värden för inblandade parter. Företagets fokus ligger på kunder och att hitta effektiva systemlösningar, med kunskap och erfarenhet inom kemi, biologi och agronomi som våra främsta verktyg. Biototal omsätter ca 25 Mkr och har 15 anställda.

Biogaskonceptet innebär insamling av olika organiska material från samhälle och industri. I biogasprocessen bryts en stor del av det organiska materialet ner till Biogas samtidigt som värdefulla växtnäringsämnen frigörs och blir mer växttillgängliga. Återstoden – Biogödsel – har framtida potential att ersätta energikrävande framställning av handelsgödsel, en produktion som dessutom innebär förbrukning av jungfruliga växtnäringsstillgångar, genom att erbjuda lantbruket en grönare växtnäringslösning. Men för att göra detta möjligt, behöver dock Biogödseln marknadsföras, utvecklas, vara av fullgod kvalitet samt hanteras på ett effektivt och rationellt sätt.

Biototal medverkar i BRC för värdet av nätverket, få ta del av den senaste vetenskapen inom området samt för att hjälpa till att "lyfta" biogaskonceptet.

3.4.2 InZymes Biotech

InZymes Biotechs avsikt är att utveckla metoder för att identifiera och optimera de enzymer som kommer behövas för att realisera processer inom en mängd områden inom industriell bioteknik. Detta är av stor vikt då den industriella biotekniken är identifierad som en nyckelkomponent för att driva den framväxt av en bioekonomi som nu sker.

Biogas är en mycket tillämpad form av industriell bioteknik då det handlar om att framställa energi, med hjälp av mikroorganismer och deras enzymer, ur förnybara råvaror. Dessutom ofta ur avfallsråvaror som i många fall inte konkurrerar med annan användning. Därmed berör biogasproduktion många komponenter som är viktiga ur ett samhällsligt perspektiv såsom avfallshantering, energiförsörjning, transportbränsle, återföring av näringsämnen till åkermark osv. Det vill säga en mycket reell form av industriell bioteknik och bioekonomi.

Eftersom det är hydrolytiska (nedbrytande) enzymer som är de minsta funktionella enheterna i att göra olika substrat tillgängliga för mikroorganismerna för att omvandla substraten till biogas ser företaget en uppenbar möjlighet att förbättra utrotningshastigheten och utrotningsgraden för de substrat som är erkänt svårnedbrytbara (ex. reningsverksslam och lignocellulosa). En sådan utveckling skulle då genom att det uppnås en bättre verkningsgrad avsevärt förbättra ekonomin för etablerade produktionsanläggningar samt möjliggöra att fler anläggningar kan etableras.

"Genom vårt engagemang i BRC får vi möjlighet att identifiera vilka substrat, eller komponenter i substrat, som anses viktigast för den framtida utvecklingen av biogas. Därmed kan vi bestämma vilka typer av enzymer som vi ska inrikta oss på inom vår övriga verksamhet. Vidare får vi möjlighet att förstå vad det är som hindrar användning av nu tillgängliga enzymer så att vi därmed vet vilka egenskaper vi ska inrikta oss på att finna hos nya enzymer, alternativt modifiera/optimera hos nu tillgängliga enzymer".

3.4.3 Kemira

Kemira är ett globalt företag med en verksamhet som är inriktad mot att förbättra kundernas effektivitet när det gäller energi, vatten och råmaterial. Viktiga tillämpningsområden är avloppsreningsverk och biogasanläggningar. Kemira är världsledande inom avlopps-och dricksvattenrening, samt har ett stort utbud av produkter till biogasanläggningar

Medverkan i BRC ger kontakter med forskning och utveckling i Sverige, andra leverantörer samt myndigheter.

3.4.4 NSR Produktion AB (NSR)

NSR AB och dotterbolaget NSR Produktion AB ägs av de sex nordvästskånska kommunerna Bjuv, Båstad, Helsingborg, Höganäs, Åstorp och Ängelholm. Målet med verksamheten är att vara med och skapa ett långsiktigt och kretsloppsbaseerat samhälle och trygga en god arbetsmiljö. NSR arbetar för avfallsminimering och med att ta hand om avfall och återvinningsmaterial på bästa sätt med hänsyn till miljö, arbetsmiljö, teknik och ekonomi.

NSR samrötar ca 160 000 ton livsmedels- och utsorterat matavfall med mindre mängder av naturgödsel. Certifierad biogödsel transporteras till närbelägen jordbruksmark via pipeline eller bil. Gasen renas i LBGAB:s moderna vattenskrubbar till fordonsgaskvalitet och huvuddelen distribueras via naturgasnätet till bland annat bussar med egen tankningsdepå och till lokala gasmackar.

Biogas är viktigt för att det handlar om kretslopp av näring och energi och BRC ses som NSR:s forskningsavdelning för biogas.

3.4.5 Lantbrukarnas Riksförbund och Lantmännen

Lantbrukarnas Riksförbund (LRF) är en intresse- och företagarorganisation inom de gröna näringarna. LRFs drygt 172 000 medlemmar driver tillsammans 90 000 företag och de gröna näringarna står för lite mer än 4 procent av Sveriges BNP. LRF medverkar till utveckling av företag och företagare med jord, skog, trädgård och landsbygdens miljö som bas, så att de kan förverkliga sina ambitioner om tillväxt, lönsamhet och attraktionskraft.

Lantmännen är en av Nordens största koncerner inom lantbruk, maskin, energi och livsmedel. Lantmännen ägs av 32 000 svenska lantbrukare, har cirka 8 500 anställda och närvaro i ett 20-tal länder. Ett av koncernens mål är att skapa en väl sammanhållen verksamhet som på bästa sätt utnyttjar styrkan i hela värdekedjan och tillvaratar synergier och skalfördelar. I det sammanhanget är biogas intressant.

Inom såväl LRF som Lantmännen finns mycket värdefull erfarenhet och kompetens kring biogas och många projekt pågår eller övervägs som är mycket relevanta för BRC.

3.4.6 Linköpings kommun

Linköpings kommun har varit en av de mest drivande kommunerna i landet när det gäller biogas och är huvudaktören bakom att Biogasregionen växt fram. Kollektivtrafik drivs sedan många år på biogas, det finns många biogasaktörer inom kommunen och från och med 2012 ska matavfall utsorteras för att producera biogas och biogödsel.

Linköpings kommun har en lång tradition av att arbeta med miljö- och klimatfrågan. Biogas som fordonsbränsle har och är en stor och prioriterad del i arbetet med att ställa om vårt transportsystem till förnyelsebart. Idag drivs alla bussar inom kollektivtrafiken med biogas.

”BRC är en viktig del i arbetet med att öka andelen biogas som fordonsbränsle av den totala fordonsbränsleanvändningen i Linköping. BRC är också en viktig part i kommunens interna

kompetensutveckling rörande biogas. Det är också mycket värdefullt för hela Linköping att vi har ett starkt universitet med stimulerande, kompetenta och välutvecklade forskningsmiljöer.”

3.4.7 Scandinavian Biogas

Scandinavian Biogas är en av Sveriges största privata producenter av biogas. Bolaget arbetar med industriell produktion och kan erbjuda ledande kunskap om hur biogasanläggningar bör utformas och drivas för att uppnå en hög och jämn biogasproduktion i resurs- och energieffektiva processer. Inom verksamheten finns ledande kompetens i att omvandla matavfall, slam och alger samt restprodukter från pappersindustri och skog till en billig och effektiv energibärare.

Scandinavian Biogas kärnverksamhet är att utforma och driva biogasanläggningar. Bolagets biogasverksamhet bidrar till en ökad tillgång på förnybara drivmedel, bättre resursutnyttjande av jordens resurser och att övergången från fossil energi till förnybar blir möjlig. Bolagets biogasproduktion bidrar därmed till en mer hållbar samhällsutveckling.

Scandinavian Biogas verksamhet bygger på forskningsbaserad kunskap. En viktig del av verksamheten är att kontinuerligt övervaka och förbättra biogasprocessen i anläggningarna i syfte att över tid uppnå en allt effektivare biogasproduktion. Samverkan med andra aktörer från akademi, myndigheter och även privat verksamhet är en förutsättning för att ytterligare stärka Scandinavian Biogas och Sveriges kompetens inom biogasområdet och därmed även vår konkurrenskraft.

3.4.8 Svensk Biogas

Svensk Biogas är ett helägt dotterbolag till Tekniska verken i Linköping AB med uppdrag att driva på marknadsutvecklingen för biogas till fordon. Det gör företaget genom att producera biogas i sin anläggning i Linköping, etablera publika tankställen på en regional marknad och erbjuda internationellt gångbar processutveckling för biogas med råvaror i form av avfall och grödor. Se Tekniska Verken, nedan.

3.4.9 Tekniska Verken i Linköping

Tekniska verken skapar nytta i vardagen för omkring 300 000 privat- och företagskunder, genom att erbjuda ett brett utbud av produkter och tjänster inom el, belysning, vatten, fjärrvärme, fjärrkyla, energieffektivisering, avfallshantering, bredband och biogas. Tillsammans med kunderna driver företaget utvecklingen mot visionen – att bygga världens mest resurseffektiva region.

Inom Tekniska verken med det helägda dotterbolaget Svensk Biogas ligger fokus på hela kedjan, från forskning till produktion, marknad och samhällsengagemang.

BRC ger bra kontaktytor med andra aktörer i branschen. Företaget hoppas att forskning som bedrivs inom BRC ska stärka verksamhet och affärer, och därigenom bidra till att nå visionen.

3.4.10 Associerade organisationer

Under etapp 1 var följande organisationer associerade till BRC: AgroÖst, Energikontoret Östra Götaland, Norrköpings kommun samt Swedish Biogas International.

4 Utmaningar och forskningsprojekt

Trots biogaslösningars många fördelar och att biogaspotentialen är stor, både nationellt och internationellt, begränsas expansionen av biogaslösningar bland annat av svårigheten för enskilda biogasaktörer att nå lönsamhet. Detta beror på flera problem på olika nivåer som processtörningar, betydande investeringskostnader, dåligt substratutnyttjande, osäker substrattillgång, dåligt utbyggt infrastruktur, komplicerade regelverk och kortsiktiga styrmedel, elmarknader med stora prissvängningar, etc.

Inför etappen gjordes en genomgång av litteratur som gäller branschens utmaningar och två workshops anordnades där intresserade organisationer (främst potentiella partners och medlemmar) diskuterade biogassektorn och utifrån dess situation vilka forskningsområden och forskningsprojekt som BRC borde prioritera. Sammanfattat kan det framhållas att flera aktörer efterlyste forsknings- och utvecklingsprojekt av teknisk karaktär, exempelvis i syfte att effektivisera rötningsprocesserna, förbättra tekniken för uppgradering samt nå en mer effektiv hantering av den näringsrika rötresten. I syfte att reducera förekommande hinder var det bland annat viktigt att öka kunskapen om hur produktion och logistik kunde effektiviseras, med hänsyn till geografiska förutsättningar avseende råvarutillgång, produktion och användare. Biogaslösningar finns främst implementerade inom avfallssektorn, varför det lyftes fram som betydande att genom forskning bidra till expansion av biogaslösningar i andra sektorer. Exempelvis är lantbruket, skogsindustrin och livsmedelsindustrin viktiga och de representerar en stor biogaspotential. En ökad kunskap om ekonomiska aspekter efterfrågades, i skala från enskilda aktörer till samhällsnivå, där det senare syftar till analyser av biogasens roll i ett samhällsekonomiskt perspektiv. Problem och insatser kopplat till finansieringsmöjligheter, styrmedel och regelverk nämndes också frekvent, liksom behovet av bättre infrastruktur och distributionsmöjligheter. Teknik- och processutveckling sker och påverkas alltid i ett samhälleligt sammanhang. Den teknik som utvecklas är i många avseenden en respons på samhällets efterfrågan. Förståelsen för detta samspel är kritisk för att kunna förstå hur samhällets aktörer på olika nivå kan facilitera teknikutveckling genom olika policyåtgärder. Detta samspel förordades därför som ett prioriterat område för centrumets verksamhet. Utifrån litteraturen och input från medverkande aktörer formulerade fem huvudsakliga forskningsutmaningar för etapp 1, vilka framgår av Tabell 1.

Programmets tyngdpunkt har i etappen legat på forskningsområdet "Process- och teknikutveckling" avseende förbehandling, rötning och digestathantering i olika biogastillämpningar. Att åstadkomma större biogasutbyte i befintliga processer och anläggningar kan ge snabba resultat som direkt kan påverka biogaslösningarnas lönsamhet. En del av de lösningar som process- och teknikforskningen varit inriktad mot har också handlat om att göra det möjligt att röta nya substrat, vilket är ett annat prioriterat område eftersom traditionellt tillgängliga substrat utgör en begränsning för biogaslösningarnas expansion. Eftersom visionen innefattar biogaslösningarnas resurseffektivitet, expansion och faktiskt nyttiggörande av process- och teknikutveckling har dessutom forskningsområdena "System" och "Samhälle" kompletterat process/teknikforskningen inom centrumet. Systemforskningen analyserar biogassystemens resurseffektivitet, utifrån flera perspektiv och på en högre systemnivå än process- och teknikforskningen. Bland annat handlar det om att identifiera kritiska faktorer som är avgörande för god prestanda avseende ekonomi, energi och miljö. Samhällsforskningen tar sin grund i faktisk implementeringen av biogaslösningar, vilket kräver att de fungerar i sina affärsmässiga och samhälleliga sammanhang.

I Tabell 1 indikeras om respektive projekt främst varit inriktat mot process-/teknikutveckling, system eller samhälle.

Tabell 1. Utmaningar, explorativa forskningsprojekt (EP) samt teknik- och utvecklingsprojekt (DP) för BRC:s etapp 1.

Utmaningar:	Mera biogas	Nya substrat	Nya sektorer	Resurseffektiv produktion	Samhällsvillkor
Explorativa projekt:	EP1, process/teknik; Förbättrade biogasprocesser	EP2, system; Systematisk utvärdering av substrat för en ökad biogasproduktion	EP3, system; Biogas i nya branscher	EP4, system; Samverkan för förbättrad ekonomisk och miljömässig prestanda	EP5, samhälle; Kommuner som systembyggare i energisystemen
Teknik- & utvecklingsprojekt:	DP6, process/teknik; Ökad metanproduktion och processtabilitet i biogasreaktorer	DP7, process/teknik; Enzymatisk ökning av slams rötbarhet		DP8, process/teknik & system; System och teknik för effektiv användning av biogödsel	

De åtta forskningsprojekten presenteras kortfattat i de följande avsnitten, men observera att det för respektive projekt kommer att finnas separata forskningspublikationer, i form av rapporter och/eller vetenskapliga artiklar. När denna slutrapport skrivs pågår arbete med publikationer från projekten, varför det inte finns någon komplett förteckning av dessa.

4.1 EP1 - Förbättrade biogasprocesser

Det explorativa projektet EP1 presenteras i de följande avsnitten.

4.1.1 Deltagare

Forskare:

- Bo Svensson (Prof.) Tema M miljöförändring, projektledare
- Jonas Ammenberg (Dr.) Industriell miljöteknik
- Annika Björn (Dr.) Tema M miljöförändring
- Anna Karlsson (Dr.) Tema M miljöförändring
- Sepehr Shakeri Yekta (Doktorand) Tema M miljöförändring
- Mats Söderström (Prof.) Energisystem

Deltagande partners och medlemmar: Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR), Scandinavian Biogas Fuels AB och Tekniska Verken i Linköping AB. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.1.2 Bakgrund

Anaerob rötning för biogasproduktion har ändrat fokus från att vara en avfallshanteringsmetod till att utgöra bioteknologiska anläggningar för kommersiell metanproduktion, där ekonomin kommer i förgrunden. Detta har inneburit ett stort intresse för att optimera produktionseffektiviteten vid anläggningarna och därigenom kunna utvinna mer metan per röttningsvolym och tid. Detta innebär i princip att man kan belasta reaktorerna med mer substrat och eller utöka röttningsgraden av ett givet substrat och att nya krav för den bioteknologiska utformningen tillkommer uppströms och nedströms. En viktig väg för att öka produktionen framgent är också att i större omfattning inkludera lignocellulosahaltiga substrat. Som en följd av detta har en ökad forskning och utveckling inom företag och akademi kommit till stånd. Trots det fanns det ett behov av att inventera och systematisera möjligheterna att inom dagens system kunna maximera biogasproduktionen.

4.1.3 Syfte

Projektets syfte var att inventera och systematisera möjligheterna att inom dagens system kunna maximera biogasproduktionen samt ett utnyttjande av bl a lignocellulosabaserade biomassor i nya produktionsenheter. Syftet var också att lyfta fram områden, som skulle kunna beforskas inom BRCs etapp 2. I projektet har den kunskap och erfarenhet som finns hos medlemmar i BRC använts för en analys av åtgärder som vidtagits för att maximera metanproduktion vid biogasreaktorer som är i drift.

4.1.4 Metodik

Strategin för att nå målen har utgjorts av identifikation av flaskhalsar och processproblem i relation till rötning av de tre huvudsakliga biomassebaserade polymererna, dvs fett, protein och kolhydrater. För den senare utgjorde lignocellulosa ett specifikt fall. I samband med detta beaktades också behov av förbehandling, näringsstatus, reologin hos reaktorvätska och dess reglering med tillhörande blandningsbehov, användandet av "nya" substrat och substrat som kan ge upphov till processtörningar. En del av inventeringen ägnades åt processkontroll och möjligheter till on-line-mätningar, eftersom högbelastade reaktorer kan var känsliga för variationer av olika slag.

Arbetet bedrevs i huvudsak genom litteraturstudier, som tog sin utgångspunkt från en workshop med BRC partners, som levererade ett bakgrundsmaterial, där man beskrev angelägna områden och flaskhalsar för sina respektive system och för branschen i sin helhet. Denna följdes upp med ytterligare en workshop för att strukturera informationen. En annan utgångspunkt för arbetet var de screeningar, som gjorts vid Tema för att undersöka näringsstatus (t ex spårämnestillgång), nedbrytningskapacitet, reologiska förhållanden och sammansättningen av mikrobiella populationer vid ett 20-tal biogasanläggningar i Sverige samt en enkät till 15 av anläggningarna med anmodan att ange förbättringar, processproblem och områden, där man gärna såg en utveckling.

En workshop för genomgång och synpunkter på den resulterande rapporten genomfördes slutligen, där också en prioritering av forskningsområden, som ansågs lämpliga och önskvärda att ingå i en etapp två för BRC.

Erfarenheter och resultat från utvecklingsprojekteten DP6 och DP7 (se nedan) har också utgjort underlag för sammanställningen, vilket också gäller för det explorativa projektet EP2 (se nedan).

4.1.5 Resultat

Projektet har resulterat i rapporten: "Improvement of the Biogas Production process" med Anna Karlsson, Annika Björn, Sepehr Shaeri Yekta och Bo Svensson som författare (se 6.6.5).

I korthet kan ett bättre utnyttjande av de biogasanläggningar, som föreligger idag beskrivas under följande rubriker:

- Ökning av den organiska belastningen och/eller reduktion av den hydrauliska uppehållstiden.
 - Optimering av den anaeroba rötningen genom:
 - Samrötning med substrat med hög metanpotential
 - Tillse att näringsbalansen är adekvat inte minst vad gäller spårelement
 - Öka den aktiva biomassan i rötkammaren t ex genom återcirkulation av slam
 - Undvika processinhibition genom att undvika att toxiska substanser ackumuleras och enzymreglerad produktinhibition
 - Använda lämpliga förbehandlingsmetoder för att öka nedbrytningshastighet och substratutnyttjande.
- Optimera blandningen i reaktorer med beaktande av variationer i reologiska regimer
- Förbättra processkontroll

Flera av dessa är direkt kopplade till en ökad tillväxt och aktivitet hos mikroorganismerna i biogasreaktorer, vilket är basen för biogasproduktionen. Till detta kommer införandet av "nya" substrat, där fr a lignocellulosa utgör ett specifikt fall på grund av varierande nedbrytbarhet relaterat till lignininnehållet och därmed olika behov av förbehandling samt att ligninfraktionen inte bryts ned i någon nämnvärd utsträckning vid anaerob rötning. Resultaten redovisas vidare under nästa rubrik som refererar på forskningsområden, som redovisats i projektrapporten.

4.1.6 Framtida forskningsutmaningar

Resultat visar att de mest angelägna forskningsfrågorna omfattar förbehandlingstekniker främst för cellulosarika material, optimering av näringsbalanser och spårämnestillsatser, reologisk karaktärisering för ökad processkontroll, ökad förståelse för mikrobiella nedbrytningsvägar och

hastighetsbegränsande steg, ökad nedbrytningsgrad för avloppsslam, lignocellulosa, akvatisk biomassa och organiskt material i industriella avloppströmmar samt en mer hållbar hantering av näringsämnen i rötresten. Dessa områden är, trots att de har varit aktuella under flera år, viktiga för en vidareutveckling av biogasprocessens potential. Nedan anges några nyckelområden, som skulle kunna bli basen för en etapp 2 inom process- och teknikområdena.

Det finns alltså en stor outnyttjad biogaspotential i reningsverksslam. Resultat från etapp 1 indikerar att tillsats av hydrolytiska enzymer, då främst proteaser skulle kunna öka utrottningsgraden och biogasutbytet från reningsverkens slam. Resultat från etapp 1 indikerar även att biogasutbyte och VS-reduktion för reningsverksslam kan förbättras betydligt genom att återcirkulera rötat slam, eventuellt som komplement till ovan nämnda enzymatiska förbehandling. Här finns en avsevärd potential att öka metanproduktionen i Sverige och detta borde därför prioriteras.

Inventeringen visade att protein- och aminosyraomsättningen i biogasreaktorer inte är klarlagd. Litteraturen gör exempelvis gällande att proteinhydrolysen kan hämmas i samband med att kolhydrater (stärkelse) bryts ned samtidigt och att aminosyror skiftar i nedbrytningsvägar beroende på sammansättning och proportion av proteiner i substratet. Detta implicerar att proteiner kan passera en reaktor utan att rötas, vilket innebär att potentiell metanproduktion inte utnyttjas och instabilt digestat med dåliga avvattningsegenskaper. Detta område är därför angeläget att studera mer ingående.

För att avsevärt öka den svenska biogasproduktionen krävs nya storskaliga anläggningar för rötning av hittills outnyttjade substrat i form av energigrödor, biomassa och avfall från lantbruket och skogsrelaterad industri samt akvatisk biomassa. För att optimalt kunna omsätta dessa substrat krävs emellertid energisnåla förbehandlingstekniker, som gör materialet mer tillgängligt för nedbrytning. Metanutbyten vid nedbrytning av lignocellulosa i satsvisa rötningförsök indikerar en metanpotential motsvarande 80% av det teoretiska utbytet, medan motsvarande utbyten i semi-kontinuerliga reaktorer i labbskala i flera fall varit ungefär 50%. Detta medför att resultatet vid en implementering i fullskala blir osäker. Orsaker till dessa skillnader och de låga utbytena i reaktorförsök behöver utredas och åtgärdas med syfte att möjliggöra högre metanutbyten vid rötning av lignocellulosarika substrat.

I samband med optimering av befintliga processer genom belastningsökning har det visat sig att mikronäringsämnen ofta är begränsande och behöver tillsättas för att uppnå stabila processförhållanden. Detta område har varit föremål för forskningsinsatser i DP6, som liksom i litteraturen främst berört spårämnen av betydelse för syntrofa organismer och metanbildare. Spårämnenas betydelse för den hydrolytiska aktiviteten och därmed de mikroorganismer, som utför denna ofta hastighetsbegränsande funktion, verkar inte ha beforskats, varför detta borde utredas. På samma sätt saknar vi fortfarande kunskap om hur man optimalt skall docera spårmetallerna för de olika fysikalisk/kemiska förhållandena som råder i reaktorer. Här är olika distributionsformer av spårämnen t ex i kelatiska föreningar sannolikt lämpliga för en maximerad effekt på rötningen, vilket också bör undersökas närmare.

Resultat, bland annat från etapp 1, visar att förändringar i substratprofiler och belastning medför förändring i rötvätskans reologiska egenskaper och därmed i dess viskositet. Viskositetsförändringar, som kan ske plötsligt hos reaktorvätskor, tycks vara starkt relaterade till substratsammansättning, produktion och förekomst av mikrobiellt utsöndrade och cellbundna organiska komplex samt till vissa

processbetingelser. Vi saknar förklaring till de snabba reologiska förändringar som kan uppträda och som sannolikt varit orsaken till ett antal haverier i omrörningssystem vid svenska biogasanläggningar. En mer systematisk forskningsinsats är därför nödvändig för att bättre förstå dessa fenomen och konsekvenser.

En aspekt inom biogasproduktionen rör digestategenskapernas roll för möjligheten att resurseffektivt hantera och förädla digestatet till olika biogödselprodukter. Detta kräver en effektiv separation. Ett forskningsfokus borde därför ligga på digestatets på avvattningsegenskaper samt på möjligheter att separera näringsämnen vid förändringar av substratprofiler. Här är t ex frågor om digestatets näringsinnehåll i relation till en återcirkulering av reaktormaterial (vätska resp. slam) ett område att beforska liksom effekter av införandet av nya typer av distributionsformer av spårelement till biogasprocessen.

Sammanfattningsvis är de flesta av de ovan identifierade områdena direkt eller indirekt relaterade till hydrolysisprocessen och hur den kan optimeras för att öka utröttningsgraden av traditionella substrat och för att kunna etablera rötning av ”nya” substrat.

4.2 EP2 - Systematisk utvärdering av substrat för en ökad biogasproduktion

Det explorativa projektet EP2 presenteras i de följande avsnitten.

4.2.1 Deltagare

Forskare:

- Jonas Ammenberg (Dr.), Industriell miljöteknik, projektledare
- Mats Eklund (Prof.), Industriell miljöteknik
- Carolina Ersson (doktorand), Industriell miljöteknik
- Roozbeh Feiz (doktorand), Industriell miljöteknik
- Bo Svensson (Prof.), Tema miljöförändring

Deltagande partners och medlemmar: Biototal, Lantbrukarnas Riksförbund, Lantmännen, Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR), Scandinavian Biogas. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.2.2 Bakgrund

Tillgången till **lämpliga** substrat är en grundförutsättning för biogasbranschen, som i stor utsträckning påverkar lönsamheten och möjligheten till expansion. Det finns många olika studier av substrat, med olika perspektiv. Exempelvis uppskattningar av biogaspotentialer. En genomgång av sådana studier visar på stora variationer när det gäller vilka substrat som inkluderas, ämnesområden som granskas, vilka typer av potentialer som omfattas (teoretiska till ekonomiska), etc. Det fanns därför ett behov av att brett och systematiskt utvärdera biogaslösningar utifrån substrat och då speciellt:

- se till att täcka in nya och intressanta substrat (t ex akvatiska substrat),
- relevanta områden, perspektiv och konsekvenser som andra studier inte inkluderat eller hanterat tillfredsställande, samt
- jämföra intressanta substrat med samma typ av metodik.

4.2.3 Syfte

Projektets syfte var att strategiskt, brett och systematiskt utvärdera några utvalda substrat som är intressanta avseende biogasproduktion. *Strategiskt* innebar att ha ett proaktivt förhållningssätt med god framförhållning, *brett* att utvärdera utifrån ett flertal olika relevanta perspektiv, samt *systematiskt* att använda en logisk struktur och genomföra värderingen på ett likartat sätt för substraten.

För detta ändamål var ett delsyfte att utarbeta en metodik för värderingen, vilken förenklade att strukturera relevant information om utvalda substrat och därigenom underlättade översikt och ett välgrundat beslutsfattande. Projektet skulle visa på viktiga hinder och drivkrafter för olika substrat samt i detta avseende jämföra substrat. Utvärderingen skulle göras med ett livscykelperspektiv. Vidare skulle metodiken dels kunna användas för att utvärdera substrat med ett generellt (svenskt) perspektiv och dels för fallstudier, exempelvis av ett visst substrat till en viss anläggning.

Eftersom substratmarknaden är dynamisk, kan den här typen av projekt/studier vara mycket relevanta även för vissa substrat som använts inom biogasbranschen under lång tid (det vill säga inte

enbart för ”nya substrat” som bakgrunden antyder), för att mer strategiskt analysera deras lämplighet framöver, exempelvis angående framtida efterfrågan/prisbilder.

4.2.4 Metod

Inledningsvis granskades andra studier av substrat, dels för att lära oss om metodiken generellt och dels för att se vilka områden som ingick. Projektets inriktning hade delvis lagts fast utifrån den litteraturstudie och de workshops som hölls med potentiella partners och medlemmar innan etappen, eftersom dessa aktiviteter tydliggjorde viktiga områden/perspektiv att inkludera. Ett flertal studier som inte rörde biogas/substrat granskades också, där främst projekt som gällde komplexa utvärderingar och beslut påverkade hur vi valde att genomföra projektet EP2.

Biogasbranschen är mycket komplex, med många involverade aktörer/sektorer, kopplingar till flera sociotekniska system, en betydande dynamik, en stor variation avseende råvaror, ett flertal olika tekniska möjligheter, många olika typer av målbilder och effekter samt andra marknader som påverkar utvecklingen. Det finns alltså många olika typer av biogaslösningar och många aspekter på vad som är **lämpliga** biogassubstrat. I den här typen av komplexa sammanhang, till exempel kopplat till politiska beslutsprocesser, är multikriterieanalys (MKA) en relativt vanlig och lämplig metod för att på ett strukturerat sätt analysera hur väl ett visst alternativ uppfyller väsentliga kriterier.

Därför etablerades en metodik för multikriterieanalys, i samarbete med deltagande företag. Det har skett i en form av iterativ process, där metodiken stegvis byggts upp, remissats, diskuterats vid möten samt utvecklats, remissats igen, och så vidare. Metodiken bygger på 10 huvudområden (10 huvudkriterier) och för varje huvudområde har huvudfrågor utformats – se Tabell 2. För att besvara frågorna har litteraturgenomgångar varit mycket väsentliga. Det innebär att söka, klassificera samt prioritera bland källorna och sedan mer noggrant analysera de som var mest centrala och extrahera information från dem. Mjukvaran Zotero användes för källhantering. Vidare har projektmöten bidragit med viktig information, eftersom flera av projektdeltagarna är experter inom relevanta områden. För att täcka in relevanta frågor och strukturera såväl processen som informationen, användes en matris där varje huvudområde delades upp i ett flertal delområden. Via litteratur, intervjuer, projektmöten, etc., erhöles information som sammanfattades och fördes in i matrisen. Det har till ganska stor del handlat om kvalitativ information. Utöver information av faktakaraktär, noterades hur relevant och trovärdig informationen var. Utöver forskarnas, partners och medlemmars direkta arbete med utvärderingarna bidrog projekt i form av examensarbeten och inom kurser vid LiU, där studenter använde den utarbetade metoden.

När ett substrat utvärderas på detta sätt innebär det att relativt mycket och detaljerad information samlas i matrisen. Dock var ett viktigt syfte med projektet att förenkla översikt och beslutsfattande, varför metodiken kompletterats med en metod för syntesbedömning. Syntesbedömningen har också gjorts utifrån de 10 huvudområdena, där en eller några indikatorer valts ut för varje huvudområde. För respektive indikator har skalor tagits fram för att vägleda bedömningen. Det kan se ut såhär, med ett kvalitativt och ett kvantitativt exempel:

- Biometanpotentialen bedöms vara **hög** om *den ligger i intervallet 400 – 700 Nm³ CH₄/ton* vs
- Lämpligheten avseende biogödsel bedöms vara **mycket hög** om substratet (har mycket högt näringsinnehåll och) *innehåller försumbara mängder oönskade ämnen/material och dessa*

dessutom är lättnedbrytbara (kortlivade). Det bedöms oproblematiskt att producera certifierad biogödsel.

Det finns motsvarande beskrivningar för alla andra nivåer i skalorna (mycket låg → mycket hög). En översikt av hela metodiken för att utvärdera substrat visas i bilaga 5.

4.2.5 Resultat

Deltagande partners och medlemmar har i stor utsträckning valt vilka substrat som studerats och delvis på vilket sätt det skett, till exempel generellt för Sverige eller för ett specifikt fall. Vidare gjordes några utvärderingar på ett tidigt stadium då utvärderingsmatrisen började ta form och dessa gjordes relativt översiktligt, bland annat utifrån välkända substrat för att testa metodiken. Tabell 3 visar vilka substrat som har utvärderats under projektets gång, indikerar vilken typ av utvärdering det gäller, vem som genomfört utvärderingen, samt hur noggrant den gjorts eller avses göras. När denna rapport skrivs pågår fortfarande utvärdering av substrat. För mer uppdaterad och detaljerad information – se publikationer för projektet.

Tabell 2. Huvudområden och huvudfrågor för multikriterieanalys av substrat

Perspektiv	Huvudområde	Huvudfråga
Bakgrund	Beskrivning av substratet	Vilket substrat har utvärderats?
Företags-ekonomiskt perspektiv, (biogas- & biogödsel-producenter)	1, Metanpotential och lämplighet för anaerobisk rötning	Är substratet fördelaktigt om det enbart gäller dess metanpotential? Är substratet lämpligt när det gäller anaerob rötning?
	2, Näringsinnehåll och lämplighet avseende biogödsel	Är substratet fördelaktigt om det enbart gäller dess näringsinnehåll? Är substratet lämpligt med tanke på biogödselproduktion?
	3, Tillgänglighet	Är substratet fördelaktigt avseende geografisk och fysisk tillgänglighet?
	4, Total mängd biometan	Är den totala tillgängliga mängden av substratet tillräckligt stor för att signifikant bidra till den totala produktionen av biometan?
	5, Total mängd och värde för biogödsel	Är den totala tillgängliga mängden av substratet tillräckligt stor för att signifikant bidra till den totala produktionen av biogödsel?
	6, Tekniska möjligheter	Är den teknik och infrastruktur som behövs för produktion av biogas och biogödsel från substratet tillgänglig och applicerbar, om hela livscykeln betraktas?
	7, Lönsamhet	Bidrar produktion baserad på substratet till lönsamhet (intäkterna större än kostnaderna) för producenten av biogas och biogödsel (inklusive analys av andra produkter och tjänsters/effekter ³)?
Samhälleligt, hållbarhets-perspektiv	8, Kontroll och konkurrens	Är det möjligt för producenterna att kontrollera tillgången till substratet (vem äger/kontrollerar)? Är substratet fördelaktigt avseende konkurrerande intressen (med lågt intresse för andra ändamål)?
	9, Institutionellt stöd och samhällelig acceptans	Stöttas produktion baserad på substratet av regeringen och andra institutioner? Är allmänheten positivt inställd till produktion av biogas och biogödsel baserat på substratet?
	10, Miljö- och energiprestanda	Är det rimligt från miljö- och energiperspektiv att producera biogas och biogödsel baserat på substratet?
Övrigt	Övrigt	Finns några övriga relevanta aspekter som bör lyftas fram avseende produktion av biogas och biogödsel baserat på substratet?

³ Till exempel, minskade kostnader för vattenrening när biogas är en integrerad lösning vid ett pappersbruk.

Tabell 3. Översikt av de utvärderingar av substrat som genomförts.

Substrat	Generell (Sverige)	Noggrannhet, utvärderare	Fall	Noggrannhet, utvärderare
Apelsinskal (citrusfrukter)	Nej/Delvis	Vissa delar generella, översiktlig	Ja	Scandinavian Biogas, översiktlig
Halm	Ja	Lantmännen översiktlig Forskare LiU detaljerad	Ja	Examensarbete, samrötning med gödsel
Hushållsavfall	Ja	Översiktlig	Ja	NSR, detaljerad
Makroalger	Nej/Delvis	Översiktlig	Ja	Scandinavian Biogas, Översiktlig
Musslor	Ja	Översiktlig	Delvis	Studenter i projektkurs, detaljerad
Spigg	Ja	Översiktlig	Delvis	Studenter i projektkurs, detaljerad
Vall	Ja	Forskare LiU detaljerad	Ja	Examensarbete, samrötning med gödsel
Vass	Ja	Biototal, översiktlig	Nej	
Våtmarksväxter	Nej/Delvis		Ja	Examensarbete

Projektet ger för respektive substrat en strukturerad översikt, med detaljerad information utifrån de olika huvudområdena. Det innebär en kunskapsöversikt - en strategisk analys som förtydligar möjligheter, hinder och kritiska faktorer, vilket förenklar jämförelser mellan olika substrat samt underlättar analys av biogaslösningars samhälleliga effekter, exempelvis i diskussioner med beslutsfattare.

4.2.6 Framtida forskningsutmaningar

Projektet har tydligt visat att det förekommer många olika sätt att utvärdera möjliga substrat för biogasproduktion och det vore värdefullt att värdera ytterligare substrat med den utarbetade metodiken. Dessutom finns behov av att göra metodiken mer lättillgänglig samt förbättra visualiseringen av såväl metodiken som resultaten.

Det kan vidare konstateras att olika typer av substrat innebär olika typer av utmaningar. För vissa substrat handlar det kanske främst om tekniska problem, för andra om styrmedel, etc. Projekt av den här typen är därför centrala när det gäller att identifiera forskningsutmaningar och peka ut flaskhalsar som bromsar utvecklingen.

4.3 EP3 - Biogas i nya branscher

Det explorativa projektet EP3 presenteras i de följande avsnitten.

4.3.1 Deltagare

Forskare:

- Magnus Karlsson (Doc), Energisystem, projektledare
- Emma Lindkvist (Doktorand), Energisystem
- Jenny Ivner (Dr.), Energisystem
- Johan Niskanen (Doktorand), Tema teknik och social förändring
- Mats Söderström (Doc), Energisystem
- (LiU, Tema T), har varit de medverkande forskarna i projektet.

Deltagande partners och medlemmar: Lantmännen, Lantbrukarnas Riksförbund, Scandinavian Biogas och Tekniska verken i Linköping. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.3.2 Bakgrund

Ett sätt att öka produktionen av biogas är att använda de materialflöden, som inte används i dag och som kan bidra till att lösa miljö- och energiproblem. Ett exempel på detta finns i massa- och pappersindustrins avloppsvattenflöden, där det finns pågående projekt med ett starkt industrisamarbete.

Branschen har ett stort antal energi- och materialflöden. Ett antal av dessa skulle kunna användas med befintlig teknik för biogasproduktion, medan andra kräver teknikutveckling. Potentiella flöden kan också gömmas i industriella produktionsstrukturer, så det kan finnas ett behov av att ändra dem för att "frigöra" materialflöden för biogasproduktion.

Ökad industriell samverkan i kluster leder till att tidigare outnyttjade flöden blir möjliga att använda och även att nya material och energiflöden kan upptäckas. Samspelet mellan olika branscher kan därmed bidra till att synliggöra tidigare outnyttjade möjligheter. Dessutom, för att öka möjligheterna att realisera biogasproduktion från små materialflöden kan dessa integreras i större system.

Ett ökat antal materialflöden som används för biogasproduktion innebär att stora delar av en industris interna energisystem kommer att påverkas. Detta innebär också att energisystemen på kommunal och regional nivå påverkar, och påverkas av, sådana industriella processförändringar.

Förmågan att implementera processförändringar i branschen påverkas också av organisatoriska, reglerande styrmedel och beslutsfattandet. Olika regionala och kommunala planeringsprocesser och deras samverkan är därför viktiga för biogaslösningar som ska genomföras.

Exempel på branscher som i första hand berörs är skogsindustrin, livsmedelsindustrin och agrosektorn. Inom skogsindustrin finns redan pågående projekt (se ovan). Inom agrosektorn kommer projektet att undersöka möjligheterna till synergier med andra branscher där biogasteknik kan lösa energiproblemen avseende både energitillförsel och energianvändning samt för återvinning av värdefulla näringsämnen.

4.3.3 Syfte, övergripande målsättningar

Detta projekt syftar till systeminnovation, att hitta nya möjligheter för produktion av biogas och att undersöka hur dessa möjligheter passar in i existerande och framtida industriella, kommunala och regionala system.

Målet är att hitta några nya branscher där biogasproduktion är ett resurseffektivt sätt att dra nytta av materialflöden som inte används idag. Detta projekt syftar till att:

- Ge en bred bild av möjligheterna att producera biogas i industrin.
- Identifiera industrisektorer där det finns lönsamhetspotential för biogasproduktion, och där det finns bra samspel med andra energi- och miljömål, både inom industrin och i samverkan med andra branscher.
- Frambringa dokumentation som ger en grund för djupare analys.

Projektet kommer att skapa en gedigen grund för "state-of-the-art" för biogasproduktion och en grund för djupgående fallstudier. Det kommer också att skapa förståelse för hinder och möjligheter för förändringar i industriella processer i samspelet med biogasproduktion.

4.3.4 Metod

Projektet bestod av följande verksamheter:

- A1 Nuvarande biogaslösningar (i Sverige och internationellt).
- A2 Översikt över nya industriella branscher i Sverige när det gäller biogasproduktion och möjlighet att identifiera potentiella synergier mellan branscher och också möjlighet att identifiera substrat gömda i den industriella produktionsstrukturen.
- A3 Möjligheter och omöjligheter för processen (tekniskt)
- A4 Energi- och miljömässig påverkan.
- A5 Samhälleliga aspekter.
- A6 Val av fallstudier.
- A7 Fallstudiedesign.

För att genomföra projektet olika metoder har använts, som i korthet beskrivs nedan.

- Litteraturstudier har varit avgörande i Aktivitet 1-5.
- Beräkningar gjordes främst i Aktivitet 2 och 4.
- En enkät har använts i Aktivitet 4.
- I Aktivitet 2 och 5 har intervjuer genomförts.
- I Aktivitet 7 har ett företag kartlagts med hjälp av en energikartläggningsmetod. Dessutom har kompletterande mätningar utförts.
- Två workshops har genomförts inom projektet, i Aktivitet 1 och 3 (en i varje).

4.3.5 Resultat och slutsatser

A1: Internationell jämförelse av biogasproduktion vid industrianläggningar, till exempel, är omöjligt att genomföra eftersom olika klassificeringar används i olika länder. I A1 föreslås och diskuteras ett sätt att kategorisera biogasanläggningar.

A2: Genom att grovgallra och geografiskt placera ut livsmedelsindustrin, valdes åtta kluster ut för djupare studier. En kartläggning av biogaspotentialen genomfördes därefter i dessa kluster. Aktiviteten visar stor potential för en del av klustren avseende biogasproduktion.

A3: För de kluster som studerades i A2 undersöktes den processrelaterade genomförbarheten. Den allmänna slutsatsen är att det inte finns några allvarliga aspekter som innebär att man inte ska fortsätta att arbeta med ett specifikt kluster eller ett specifikt substrat som finns i dessa kluster, beträffande biogasproduktion.

A4: Varje kluster som studerades i A2 bedömdes i termer av miljöaspekter (klimat, försurning och eutrofiering), energibalans och ekonomi, som befanns vara de viktigaste kriterierna för bedömning när det gäller effektiva biogaslösningar. Resultaten visar, till exempel, att även om en del av klustren har en stor potential för biogasproduktion innebär detta inte alltid lönsamma lösningar eller miljömässiga fördelar för alla dessa kluster jämfört med nuvarande situation gällande substratanvändning. Dessutom visar studien att slutanvändningen av biogasen (el, värme och fordonsbränsle) har betydande påverkan på resultaten. Det visas att varje kluster har en unik kombination av substrat och unika alternativ för användning av både substrat och producerad biogas, vilket innebär olika gynnsamma lösningar. Ibland skiljer sig de gynnsamma lösningarna åt beroende på vilket bedömningskriterium som används.

A5: För varje kluster som studerades i A2 undersöktes samhällliga aspekter. Det visas att det finns skillnader mellan klustren vad beträffar institutionella och organisatoriska förutsättningar. Viktiga förutsättningar har identifierats på både nationell nivå (t.ex. skatter) och regional nivå (t.ex. samarbete mellan offentlig och privat sektor).

A6: Det konstateras att följande aspekter bör beaktas när fallstudier väljs: (1) biogaspotential, (2) karaktär av substrat och andra material, (3) miljöaspekter (klimat, försurning och eutrofiering), (4) påverkan på energibalanser (5), ekonomi, (6) användning av biogas, (7) samhällliga aspekter.

A7: Vid utformningen av fallstudier gäller samma aspekter som för A6. Men när man utformar fallstudien är det också viktigt att tänka på var systemgränsen sätts och också betänka lokaliseringen av produktionsenheten (t.ex. internt på ett företag eller fristående). Dessutom måste integration av biogaslösningar med andra typer av material- eller energiflöden beaktas.

Texten nedan tar sin utgångspunkt från kapitlet "Syfte, övergripande målsättningar" För varje del i "Syfte, övergripande målsättningar" finns det en kommentar rörande måluppfyllelse nedan.

Från "Syfte, övergripande målsättningar": " Detta projekt syftar till systeminnovation, att hitta nya möjligheter för produktion av biogas och att undersöka hur dessa möjligheter passar in i existerande och framtida industriella, kommunala och regionala system."

- En fallstudie handlar systeminnovation, eftersom den visar hur viktigt det är att sätta korrekta systemgränser och för att ta reda på den bästa lokaliseringen av en

biogasanläggning (A7). Dessutom har en metod att hantera resurseffektivitet, med hjälp av ett antal bedömningskriterier, utvecklats (A4). I klusterstudierna visas möjligheter för produktion av biogas både vad gäller mängden potentiell biogasproduktion (A2) och hur möjligheterna fungerar i olika system genom att titta på sociala aspekter (A5), miljömässiga, energimässiga och ekonomiska aspekter (A4) och omöjligheter i processen (tekniska aspekter) (A3).

Från "Syfte, övergripande målsättningar": "Målet är att hitta några nya branscher där biogasproduktion är ett resurseffektivt sätt att dra nytta av materialflöden som inte används idag."

- I klusterstudierna identifieras både materialflöden som inte används idag och material som redan används (för andra ändamål) (A2). Biogasproduktionen i dessa kluster, baserat på dessa materialflöden, analyseras därefter med avseende på resurseffektivitet (A4) baserat på några viktiga bedömningskriterier som har sammanställts från experter inom BRC (A4).

Från "Syfte, övergripande målsättningar": " Detta projekt syftar till att ge en bred bild av möjligheterna att producera biogas i industrin."

- I studierna av kluster beräknas potential för biogasproduktion (A2) och dessutom utvärderas olika överväganden angående potentialen (A4 och A5).

Från "Syfte, övergripande målsättningar": "Detta projekt syftar till att identifiera industrisektorer där det finns lönsamhetspotential för biogasproduktion, och där det finns bra samspel med andra energi- och miljömål, både inom industrin och i samverkan med andra branscher."

- I studierna av kluster beräknas potential för biogasproduktion (A2) och dessutom utvärderas olika överväganden angående potentialen (A4 och A5). Därutöver visar en fallstudie synergieffekter med att använda substraten för biogasproduktion (A7).

Från "Syfte, övergripande målsättningar": "Detta projekt syftar till att frambringa dokumentation som ger en grund för djupare analys."

- Dokumentationen avseende de studerade klustren är stor (A2, A4 och A5), inklusive mängd och typ av substrat, produktion av biogas och en metod för bedömning av biogassystem, som kan användas för djupare analys.

Från "Syfte, övergripande målsättningar": "Projektet kommer att skapa en gedigen grund för "state-of-the-art" för biogasproduktion och en grund för djupgående fallstudier. Det kommer också att skapa förståelse för hinder och möjligheter för förändringar i industriella processer i samspelet med biogasproduktion."

- För att skapa en gedigen grund för "state-of-the-art" för biogasproduktion inom branscher är det viktigt att ha - en gedigen grund. De befintliga nationella klassificeringarna av biogasproduktion varierar kraftigt mellan länder. Därför har en karakterisering av biogasanläggningar föreslagits för att kunna göra gedigna "state-of-the-art" studier av biogasproduktion (A1). Grunden för djupgående fallstudier har behandlats i projektet genom att samla in information om, bland annat, substrat och biogasproduktion i vissa kluster (A2, A4) samt ge information om viktiga aspekter vid utformningen av fallstudier (A7). Hinder och drivkrafter för förändring har behandlats och visar till exempel institutionella och organisatoriska angelägenheter på nationell och regional nivå (A5).

Alla de angivna delarna i "Syfte, övergripande målsättningar" behandlas i projektet. Följaktligen är målen för projektet uppnådda.

4.3.6 Framtida forskningsutmaningar

Det visas att varje kluster har en unik kombination av substrat och unika alternativ för användning av både substrat och producerad biogas, vilket innebär olika gynnsamma lösningar. Ibland skiljer sig de gynnsamma lösningarna åt beroende på vilket bedömningskriterium som används. Detta understryker behovet av mer forskning kring indikatorer rörande vilka bedömningskriterier som ska användas och när dessa ska användas. Dessutom visar studien att slutanvändningen av biogas (el, värme och fordonsbränsle) har stort inflytande på resultaten. Framtida forskning om användningen av biogas är således av största vikt. Dessutom visar fallstudien intressanta resultat rörande placeringen av en biogasanläggning. Detta visar på vikten av ytterligare forskning om lokaliseringsfrågor, vilket även involverar användning av material och energi inom och mellan branscher. Vidare understryker detta också behovet av forskning, inte bara på anläggningsnivå utan också på klusternivå och regional nivå, som även omfattar mer än en bransch. Genom att modellera biogasproduktionssystem på olika systemnivåer är det möjligt att hitta resultat bland annat rörande användningen av biogas och vikten av sammankopplingar. Dessutom är det av största vikt att samla in mer empiriskt material (internationellt) och skapa en välgrundad kategorisering eller definition för biogas till exempel för att skapa en gedigen grund för "state-of-the-art" rörande biogasproduktion. Slutligen, begreppet resurseffektivitet, när det gäller biogasproduktion, måste utforskas.

4.4 EP4 - Samverkan för förbättrad ekonomisk och miljömässig prestanda

Det explorativa projektet EP4 presenteras i de följande avsnitten.

4.4.1 Deltagare

Forskare:

- Niclas Svensson (Dr.), Industriell miljöteknik, projektledare
- Mats Eklund (Prof.), Industriell miljöteknik
- Michael Martin (Dr.), Industriell miljöteknik
- Carolina Ersson (doktorand), Industriell miljöteknik
- Roozbeh Feiz (doktorand), Industriell miljöteknik

Deltagande partners och medlemmar: Kemira OYJ, Lantbrukarnas Riksförbund, Linköpings kommun, Scandinavian Biogas, Svensk Biogas AB. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.4.2 Bakgrund

Många av dagens biogasanläggningar lider av låg lönsamhet. Detta är en av de faktorer som påverkar att få nya anläggningar byggs. En av de viktigaste delarna för ett väl fungerande produktionssystem med förbättrad lönsamhet, minskad risk och förbättrad miljöprestanda, är att utveckla en effektiv organisation kring material och energihanteringen. Miljöprestanda är en av de viktigaste drivkrafterna för framtida utbyggnad, inte bara för att främja hållbara lösningar utan också för att klara lagkrav som styr bidrag. Genom att utnyttja material och energi mer effektivt kan också kostnadsbesparingar göras.

4.4.3 Syfte, övergripande målsättningar

Syftet har varit att studera parametrar som påverkar biogassystemets miljö-och ekonomiprestanda och använda resultaten för att hitta möjligheter till förbättrad organisering av biogassystemen. För detta ändamål har ett verktyg för att analysera biogassystems ekonomiska och miljömässiga prestanda utvecklats, vilket är ett centralt bidrag. Olika scenarier har tagits fram för att öka kunskapen kring hur viktiga parametrar som, skala, stadsnära eller jordbruksnära lokalisering, olika energisystem samt närhet till biogödsel marknader påverkar ekonomi och miljö.

4.4.4 Metod

Metoden kan förenklat delas upp i tre delar, intervjuer, verktygsutveckling samt analyser av ekonomisk och miljömässig prestanda. Intervjustudien innefattade 4 intervjuer med biogasproducenter och frågorna fokuserade på vilka faktorer som påverkar framtida utveckling inom biogasbranschen med frågor kring process, substrat, användning av biogas och rötrest samt kopplingar till övriga samhället. Intervjuerna var planerade att hållas med fler aktörer men stoppades då svaren var väldigt samstämmiga och konvergerade i hög grad mot frågor kring substratmarknad. För att ytterligare verifiera resultaten så skickades en enkät ut till 6 biogasproducenter.

Ett verktyg har utvecklats för att kunna bistå med kvantifiering av miljöpåverkan och ekonomi för olika typer av biogassystem. Verktöget utgår från livscykelanalys och livscykelkostnad och är utvecklat för att direkt i resultaten spegla inneboende parametersäkerheter. Framtagandet skedde i

samråd med de olika partners och medlemmar och innefattar alla delar av biogassystem. Ett speciellt fokus i fas 1 av BRC har legat på att utveckla en flexibel modell för själva anläggningen men även digestatsystemet via DP8. Detta betyder att användningen av biogasen samt systemen kring produktion/insamling av substrat har modellerats utanför verktyget och aggregerad prestanda för miljö ekonomi har importerats in i verktyget.

Slutligen har verktyget använts för att analysera ett flertal olika fall som fokuserar på produktionsskala och lokalisering. Dessutom har i ett relaterat projekt det gjorts en analys på ett fall med spigg som substrat och fiske som insamlingsmetod som användes i det här projektet för att testa generaliserbarheten av verktyget från ett annat perspektiv. Inom ramen för systemanalysen har även en rad studentprojekt startats upp och delvis genomförts. Ett färdigt projekt behandlar spårämnestillsatser miljöpåverkan, två andra har påbörjats som behandlar energibalanser för insamling av matavfall samt miljöpåverkan från en torrövningsanläggning.

4.4.5 Resultat och slutsatser

Intervjustudien pekar på att respondenterna upplever en ökad osäkerhet på substratmarknaden. En förändring är att kontraktet har blivit kortare vilket innebär en större ekonomisk risk. Detta är i sin tur en följd av att konkurrensen kring olika substrat har ökat. Producenterna som intervjuats signalerar att de istället för substrat med högt gasutbyte men hög risk börjar gå mot substrat som matavfall med lägre gasutbyte men även lägre ekonomisk risk. Även för de senare finns det dock indikationer på att konkurrensen ökar då den egna lokala produktionen inte räcker utan producenterna måste köpa matavfallet på öppen marknad. En annan aspekt som producenterna lyfte upp som viktig var digestathanteringen. För att kunna bättre säkra långsiktig lönsamhet är det viktigt att jobba mot hur digestatet kan uppgraderas som produkt och säljas.

Det viktigaste resultat av projektet är att ett generellt och versatilt verktyg för att bedöma miljöpåverkan och ekonomisk prestanda av biogassystemen. Verktyget har visats vara användbart i all de fallen som har testats och modellen har haft den flexibilitet som behövs för att studera olika biogaslösningar, så som stadsnära stora anläggningar till små lantbruksnära samt med akvatiska substrat. Verktyget kommer underlätta för att med en gemensam metod studerar flera olika typer av biogaslösningar. Då branschen fortfarande är under framväxt så är fortfarande en hel del parametrar osäkra antingen via inneboende komplexitet eller på grund av att fokus helt enkelt inte varit på att studera vissa parametrar.

Resultat från det angränsande spiggprojektet i Västervik visar på att fiskedelen av projektet är väldigt viktig vilket sedan användes för att studera hur viktigt osäkerheter kring transport och insamling av substrat är även för andra biogassystem baserade på avfalls- eller jordbrukssubstrat. En annan viktig lärdom som kan tas med från spiggprojektet till kommande forskning är att biogaslösningarna ibland även kan ses som effektiva miljöåtgärder. Skulle man anta att spiggprojektet är en övergödningsåtgärd för Östersjön så är de kvantifierade effekterna av att ta upp fosfat och kväve ur havet väldigt stora vilket skulle kunna innebära lönsamhet ur ett bredare samhällsperspektiv.

För simuleringarna kring produktionsskala och lokalisering så indikerar resultaten att transporter är viktiga för övergripande resultat när det gäller klimatpåverkan, närhet till substratmarknad samt närhet till digestatavsättning visade sig vara viktiga för hur anläggningarna skall placeras. Dessa parametrar blir även viktiga ur ett ekonomiskt perspektiv men här har även försäljningspriset på

biogasen stor vikt. Dessutom verkar storskalighet ge fördelar både ekonomiskt samt miljömässigt. Detta resultat är dock mycket beroende av hur röt-kammareffektiviteten, främst för småskalig produktion, modelleras. Generellt så är det svårt att dra för stora slutsatser när det gäller ekonomi då tillgången till färsk substratpriser har varit få. Med priser från litteraturkällor så visar resultatet små men positiva genomsnittliga resultat där småskalig lantbruksnära biogasproduktion har störst risk för dålig lönsamhet. Studentprojekten har visat att spårämnestillsatser har små och i sammanhanget obetydliga miljöeffekter sett ur ett livscykelperspektiv. Det finns också indikationer på att torrrottningsanläggningar kan ha liknande miljöprestanda som våtrötning. Dock är dessa resultat preliminära då detta studentprojekt vid denna rapport publicering inte är helt slutförd.

4.4.6 Framtida forskningsutmaningar

Biogasens miljöprestanda är en förutsättning för att samhället ska satsa på den. Men det räcker inte med att biogasen anses ha en rad samhällliga förtjänster utan det måste finnas en marknad för biogasen (och även digestatet) samt att ekonomin måste gå ihop för biogassystemets olika aktörer.

En rad substrat är intressanta att studera mer. Avfallssubstrat och substrat från jordbrukssektorn har studerats i ett flertal studier men det finns dock få som studerar substrat från akvatisk och skogssektorn. Dessutom är det intressant att studera vilka miljökonsekvenserna blir för andra system om substrat används till biogas. Även för ekonomiska analyser blir det intressant att vidga systemen eftersom mycket pekar på att biogaslösningar ger många positiva effekter på samhällsnivå, såsom minskad klimatpåverkan och slutna näringsflöden. Därför är det viktigt att inte enbart inkluderar biogasproducenters ekonomi, då analyser med vida systemgränser kan hjälpa till att belysa relevanta effekter som annars kan vara svåra för biogasaktörerna att tydliggöra och internalisera fullt ut i den egna ekonomin.

Olika substrat och tekniker påverkar digestathanteringens möjligheter och effektivitet, näringsinnehållet och formen och därmed möjligheten att avsätta rötresten i exempelvis jordbrukssektorn - värdet. Slutna näringsflöden och god biotillgänglighet är väsentligt på många sätt och bör därför studeras. Det är bland annat viktigt att ta hänsyn till att användning av biogödsel gör att mindre handelsgödsel brukas. Dessutom är det intressant att studera indirekta effekter av att applicera rötresterna på jordbruk då flera studier har visat på att till exempel kolinbindning i mark och lustgasemissioner kan få stor påverkan på klimatpåverkan. Då dessa bägge även har en stor osäkerhet kopplad till både lokala förutsättningar samt påverkans effekter så passar de bra att studera med det framtagna verktyget.

4.5 EP5 - Kommuner som systembyggare i energisystemen

Det explorativa projektet EP5 presenteras i de följande avsnitten.

4.5.1 Deltagare

Forskare:

- Jenny Palm (prof.), Tema teknik och social förändring, projektledare
- Magdalena Falde (dr.), Tema teknik och social förändring, biträdande projektledare
- Kajsa Ellegård (prof.), Tema teknik och social förändring
- Linnea Hjalmarsson (doktorand), Tema teknik och social förändring

Deltagande partners och medlemmar: Linköpings kommun, Svensk Biogas samt Tekniska Verken i Linköping AB. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.5.2 Bakgrund

För att förstå framväxt och utveckling av tekniska system måste sådana system analyseras som sociotekniska, det vill säga utifrån ett antagande där tekniken och dess samhälleliga, ekonomiska, politiska omgivning samverkar och påverkar varandra ömsesidigt. Teknisk utveckling sker i ett socialt sammanhang av nätverk där aktörer gemensamt formar dessa sociotekniska system. I detta projekt har vi särskilt fokuserat på kommunernas drivande roll som systembyggare i energisystemen, i synnerhet gällande biogasproduktion. I ett flertal svenska kommuner pågår framställning av biogas i kommunal regi, exempelvis genom kommunala energi- och/eller avfallsbolag och ibland i samverkan med privata aktörer.

Projektet har varit explorativt med målet att undersöka kommuners roll som systembyggare för att på så vis öka kunskapen om hinder, drivkrafter och lärdomar gällande kommunernas roll i omställningen av energisystemen.

4.5.3 Syfte och målsättningar

Syftet var att undersöka och analysera kommuners roller som systembyggare för lokala biogasproduktioner, för att öka kunskapen om de barriärer och drivkrafter som påverkar kommunerna i omställningen av energisystemet. De tre övergripande frågeställningarna var följande:

Q1: Hur och varför initieras sociotekniska energisystemlösningar för biogas på den kommunala nivån?

Q2: Hur agerar kommunen som systembyggare alternativt för att vara stöd och pådrivare för teknikutveckling och kommersialisering på biogasområdet?

Q3: Vilka hinder och möjligheter möter kommuner? Hur och varför uppfattas biogas som en kommunal uppgift?

4.5.4 Metod

Projektet inleddes med en workshop där politiker och tjänstemän från Linköpings kommun deltog för att diskutera biogas i förhållande till kommunala miljömål. En så kallad SWOT-analys genomfördes under workshopen för att initiera tankar och idéer inför projektstart.

Metoden som ligger till grund för att besvara de tre frågeställningarna baseras på två fallstudier av Linköping samt Västerås. I båda fallstudierna har intervjuer genomförts med aktörer som varit involverade i biogasverksamheten, vilket inneburit att de arbetat som politiker eller tjänstemän inom den kommunala organisationen alternativt i ett biogasproducerande bolag. Sammantaget har 9 intervjuer genomförts i Linköpings kommun och 7 i Västerås.

Kontakt med deltagande partners och medlemmar har huvudsakligen koncentrerats till de schemalagda vår- och höstmötena inom BRC. Därtill har resultat från intervjustudien i Linköping presenterats för Linköpings kommuns PLU våren 2014.

Deltagande partners och medlemmars aktiva delaktighet i projektet har bestått i deltagande i workshop, deltagande i schemalagda vår- och höstmöten samt genom intervjustudien.

4.5.5 Resultat

De tre centrala frågeställningarna (Q1-3) har lett till olika angreppssätt, publikationer och presentationer som delvis presenteras i nedanstående tabell samt förklaras i den efterföljande texten.

Tabell 4. Tre centrala frågeställningar och deras koppling till publikationer och presentationer.

Frågeställning	Titel	Tidskrift, konferens
Q1	“Towards a sustainable socio-technical system of biogas for transports: the case of the city of Linköping in Sweden”	Journal of Cleaner Production (in press)
Q2	”Municipally owned energy companies in local energy systems: System builders and hybrid organisations?”	GGROS, Gävle, 2014 4S, San Diego, 2013
Q3	“Biogas: tool for environmental implementation or place branding? How and why Swedish municipalities became fuel producers” (arbetstitel)	Pågående projekt (beräknas att färdigställas februari 2015)

Dessa tre frågeställningar (Q1-3) syftar alltså till att belysa kommunal utveckling av biogas, att fördjupa innebörden av den systembygggarroll som kommuner tenderar att få, men även till att problematisera den kommunala uppgiften och dess koppling till biogasverksamhet.

Den första frågeställningen (Q1) besvarades genom en artikel i JCP där en historisk skildring av Linköpings kommuns arbete med biogas redovisades. Resultaten från studien visade bland annat hur den nationella nivån ständigt hade möjlighet att påverka kommunal biogasverksamhet, samtidigt som lokala aktörer var centrala för att initiera denna typ av teknisk förändring.

Den andra frågeställningen (Q2) har presenterats på en nationell och en internationell konferens. Denna studie tar istället greppet kring systembygggarbegreppet i förhållande till kommunala organisationer och problematiserar deras roller som hybridorganisationer, det vill säga organisationer som ligger mellan den offentliga och privata sfären.

Den avslutande frågeställningen (Q3) avser att problematisera den kommunala uppgiften och ifrågasätter hur och varför kommuner tar på sig uppgiften som drivmedelsproducenter. Projektet är

pågående och jämför Linköpings och Västerås mål och syften med biogasverksamhet i förhållande till den kommunala rollen.

Sammantaget har projektet visat att kommuner, i synnerhet kommunalägda bolag, har haft stor betydelse för utvecklingen av biogas. Kommunalägda bolag har många gånger resurser (ekonomiska resurser och kunskapsresurser) som gjort att de kunnat initiera och driva biogasprojekt, samtidigt som de också styrts av politiska mål som inriktats mot biogasproduktion. Samtidigt har studierna visat att trots kommunala aktörers intresse för biogas, finns en osäkerhet bland aktörerna gällande hur mycket biogas som ska produceras och vad det ska användas till.

4.5.6 Framtida forskningsutmaningar

Projektet har visat att trots att biogasutvecklingen har initierats på kommunal nivå, har den spridit sig och till sin karaktär blivit allt mer regional. Framtida studier om förutsättningar för biogasutveckling kan därför omfatta den regionala arenan. För att ytterligare komma åt och kunna studera hur och varför aktörer arbetar med biogas på den regionala arenan är det även relevant att anta ett användarperspektiv där såväl stora organisationer (t ex kollektivtrafikaktörer) som individer (privatbilister som använder biogas) undersöks.

4.6 DP6 - Ökad metanproduktion och processtabilitet i biogasreaktorer

Utvecklingsprojektet DP6 presenteras i de följande avsnitten.

4.6.1 Deltagare

Forskare:

- Bo H. Svensson (prof.), Tema miljöförändring, projektledare
- Annika Björn (dr.), Tema miljöförändring, projektledare
- Jörgen Ejlertsson (prof.), Tema miljöförändring
- Karl Gustavsson (MSc.), Tema miljöförändring
- Martin Karlsson (dr.), Molekylär bioteknik
- Magali Marti Genero (doktorand), Tema miljöförändring
- Pascal Ojong (tekniker), Tema miljöförändring
- Sepehr Shakeri Yekta (doktorand), Tema miljöförändring
- Carina Sundberg (dr.), Tema miljöförändring
- Matilda Svedlund (MSc.), Tema miljöförändring
- Ryan Ziels (doktorand), Tema miljöförändring

Deltagande partners och medlemmar: Kemira OYJ, Nordvästra Skånes Renhållnings AB, Scandinavian Biogas AB och Tekniska Verken i Linköping AB. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.6.2 Bakgrund

Ett sätt att snabbt öka den svenska metanproduktionen är att utnyttja befintliga röt-kammare på ett bättre sätt genom att öka belastningen. Detta kan ske genom en ökad substrattillförsel eller/och genom att öka nedbrytbarheten hos ett redan beskickat substrat. En sådan optimering innebär sannolikt att näringsämnessituationen förändras, varvid spårämnestillsats och/eller förändringar i reaktorkonfigurationen kan behövas för att bibehålla en stabil process. Risken med ökad belastning är de traditionella med risk för surgörning pga obalans i tillväxt och aktivitet hos mikroorganismerna, som ombesörjer processen. Sådana förändringar kan leda till förändringar i rötvätskans viskositet och ge problem med bl a dålig omrörning, propellerhaveri och skumning. En karaktärisering av reaktorvätskans reologi ger information om dess flödesegenskaper, viskositet och strukturella återhämtningsförmåga. Därför identifierades dessa områden som centrala för studierna inom projektets ambition att skapa förutsättningar för belastningsökningar.

Reologisk information är dessutom betydande för uppskattning av energiförbrukning och investeringar vid biogasanläggningar, eftersom den påverkar omrörningsintensitet, pumpning, värmeväxling, avvattning etc. Reaktorvätskans reologiska egenskaper verkar även vara kopplade till produktion och förekomst av mikrobiellt utsöndrade och cellbundna organiska komplex. Dessa har i andra sammanhang visats bidra till bildning av flockar och biofilm och därmed påverkat viskositeten.

I samband med optimering av befintliga processer genom belastningsökning har det visat sig att tillgången på mikronäringsämnen ofta är begränsande för biogasproduktionen och behöver tillsättas för att uppnå stabila processförhållanden. Tillsats av kobolt och nickel ger ofta positiv effekt på processens stabilitet, vilket i många fall ger möjlighet till belastningsökningar i befintliga system.

Selen och volfram kan addera till effekten men är sannolikt beroende av nivån av till exempel kobolt, d.v.s. det föreligger en interaktion mellan spårämnen som påverkar deras effekt. Mikrofloras sammansättning har också visat sig variera med spårämnestillgången, dvs. tillväxten av vissa arter verkar premieras med tillsatts av ett eller flera spårelement.

Spårelementens tillgänglighet är kopplad till de kemiska/fysikaliska förhållandena i reaktorerna dvs. den kemiska jämvikten mellan spårelementen och ligander, som kan binda dem i lösta eller fasta komplex. Under de anoxiska förhållandena i biogasreaktorer är det framför allt reducerade svavelföreningar inklusive svavelväte, karbonater och organiska substanser, som interagerar med spårelementen och där kobolt verkar vara mer lättillgängligt än nickel. Bilden av metalltillgängligheten kompliceras av att järn tillsätts för att fälla svavelväte i reaktorvätskor för att minska sulfidhalten i gasfasen. En samfällning av andra metaller sker, varför graden av järntillsats sannolikt påverkar spårämnestillgängligheten likväl.

4.6.3 Syfte och målsättningar

Syftet med DP6 var att undersöka möjligheterna till effektivisering av biogasproduktion inom gränserna för både tekniska och mikrobiella krav. Det huvudsakliga målet var att vidareutveckla vår förståelse för spårämnenas roll för att främja stabil biogasproduktion inklusive deras roll som möjliga effektorer på reaktorvätskans reologi. Ytterligare målsättning var att resultat från projektet skulle ligga till grund för förslag till vidare forskning inom området process- och teknikutveckling inom BRC år tre och framåt.

4.6.4 Metod

Projektet har innefattat sex workshops och fyra experimentella reaktor försök med tillhörande analyser av vanliga processparametrar (t ex VFA, pH, TS, VS, VS-reduktion, gasproduktion, metanhalt) och projektspecifika analyser som:

- Reologisk karaktärisering
- Sekventiella extraktioner för bestämning av spårämnestillgänglighet
- Molekylärbiologisk karaktärisering av mikrobiologisamhällen
- Nedbrytningskapacitet hos mikrofloran
- Extraktion av extracellulära polymerer
- Omsättning av centrala metaboliter (acetat, propionat, fenylacetat och oljesyra) i batchförsök.

Totalt har 13 mesofila biogasreaktorer i lab skala varit i drift inom ramen för projektets fyra reaktor försök. Vid projektets workshops har försöken delvis planerats, följts upp, analyserats, tolkats och diskuterats.

Det första reaktor försöket fokuserade på huruvida koboltsulfid kan utnyttjas av anaeroba mikroorganismer på liknande sätt som tvåvärt kobolt (Co^{2+}) vid samrötning av mat- och slakteriavfall. I reaktor försök nummer två testades effekter av förändrade järn:svavel (Fe:S) kvoter genom tillsats av natriumsulfid vid rötning av primärslam/bioslam innehållande höga järnhalter. Inom ramen för reaktor försöket testades även en successivt ökad inblandning av matavfall till samma typ av slam utan extra tillsatser av natriumsulfid.

I det tredje reaktor försöket testades möjligheter till effektivisering och effekter av slamåterföring vid samrötning av frityrfett med primärslam/bioslam. Inom ramen för reaktor försök fyra undersöktes effekter av ökade tillsatser av kväverikt substrat vid samrötning av hushålls-, mat-, vegetabiliskt-, slakteriavfall och gödsel.

4.6.5 Resultat och slutsatser

Resultaten visar att koboltsulfid kan nyttjas för källa till kobolt av mikroorganismerna. Resultaten visar även att tillsatser av både kobolt och nickel krävdes för att erhålla en stabil och effektiv process, vid rötning av mat- och slakteriavfall med avseende på biogasproduktion, metanproduktionskinetik och omsättning av flyktiga fettsyror vid en belastning av 4,0 kgVS/m³ dag. Nickel var mer begränsande än kobolt för processen. Dessutom erhöles högre viskositet och förändrade flödesegenskaper vid processinstabilitet orsakad av brist på nickel.

Tillsatser av natriumsulfid påverkade ej nedbrytningskapacitet, kinetik, viskositet eller mikrofloradynamik i reaktor försök med primärslam/bioslam. Dock erhöles kortvarig processinstabilitet i form av förhöjda koncentrationer av flyktiga fettsyror och extracellulära polymera substanser samt tillfällig nedgång i acetatutnyttjande metanogener. Tillsatsen av natriumsulfid påverkade ej lösligheten för kobolt och nickel eller rötvätskans reologiska egenskaper. Resultaten påvisade emellertid en ökad löslighet för fosfor.

En stabil process och metanytbyten närmare 100% av det teoretiskt beräknade erhöles vid inblandning av organisk fraktion av matavfall (3,5 kgVS/m³ dag) vid samrötning med primärslam/bioslam. Inblandningen bidrog till en ökad viskositet i rötvätskan och påvisade en minskad hämning av metanproduktion i närvaro av fenylacetat (i försök med satsvis utrötning). Inga markanta förändringar i mikrofloras dynamik observerades.

Inblandning av fett ökade metanproduktionen avsevärt för typiska intermediärer som acetat, fenylacetat och oljesyra. Mikrofloradynamiken förändrades vid samrötning med fett och resulterade i en ökning av vätgas- och acetatutnyttjande metanogener. Likaså ökade koncentrationen av *Syntrophomonas*, vilket indikerar nedbrytning av långa fettsyror. Trots ett skifte till en anpassad mikroflora erhöles ej fullständig nedbrytning av tillsatt fett utan metanutbyten motsvarande 70% samt en ackumulering av långa fettsyror noterades. Detta åtgärdades när slamåterföring infördes vilket resulterade i ökade metanutbyten motsvarande 90%.

Vid ökade tillsatser av kväverikt substrat vid samrötning av hushålls-, mat-, vegetabiliskt-, slakteriavfall och gödsel indikerade resultaten förhöjda halter av flyktiga fettsyror och lägre metanutbyten, men en fortsatt stabil process. Tillsatser av proteiner bidrog i större utsträckning till förhöjda halter av flyktiga fettsyror jämfört tillsatser av urea. En högre viskositet uppmättes emellertid i reaktorvätska som erhöles extra urea jämfört med kontrollreaktor (utan extra kvävetillsats) respektive reaktor som erhöles extra protein. Emellertid verkar skillnaderna i kvävebelastning inte inverka på den vattenlösliga fraktionen av spårmetaller (preliminära resultat).

Sammantaget visar resultaten att förändringar i substratprofiler och belastning medför förändring i rötvätskans reologiska egenskaper och därmed i dess viskositet. Likaså visar resultaten att biogasutbyte och VS-reduktion kan förbättras genom att återcirkulera rötat slam och att mikroorganismer kan tillgodogöra sig kobolt via koboltsulfid. När denna rapport skrivs pågår

fortfarande utvärdering av erhållna resultat och skrivande av vetenskapliga artiklar. För ytterligare och detaljerad information – se publikationer från projektet.

4.6.6 Framtida forskningsutmaningar

Forskning behöver fortsatt fokusera på ökad nedbrytningsgrad och produktion av biogas från specifika substrat, förbättrad processtabilitet och ökad belastningskapacitet. En ökad organisk belastning kan till viss del uppnås genom användning av etablerade substrat i befintliga anläggningar t ex genom ökad inblandning av källsorterat hushållsavfall. En förutsättning för detta är att en aktiv fungerande population av mikroorganismer kan etableras och bibehållas i applicerade reaktorkonfigurationer, d.v.s. att näringsämnen och de fysikaliska-kemiska förhållandena är optimala. Tekniker som slamåterföring, tvåfassetter och pluggflödesreaktorer är sannolikt framkomliga vägar för att öka nedbrytningsgraden och metanproduktionen.

För att avsevärt öka den svenska biogasproduktionen krävs nya biogasanläggningar som kan röta hittills outnyttjade substratpooler i form av energigrödor, biomassa och avfall som genereras inom skogs- och skogsrelaterad industri samt akvatisk biomassa. För att optimalt kunna omsätta dessa substrat krävs emellertid energisnåla förbehandlingstekniker, som möjliggör att materialet ”öppnas upp” för ökad proportionen nedbrytningsbart material.

Studier av spårämnenas betydelse i olika biogaslösningar kommer fortsatt att vara centrala för möjligheter till effektivisering och stabilisering. Utöver kontroll av spårämnesbehov och biotillgänglighet för processer har behov av att utreda vilka effekter spårmetaller har på hydrolysstegens funktion identifierats. Likaså vilka distributionsformer av spårelement som kan vara lämpliga för maximerad rötnings effekt.

Eftersom reologin tycks svara på förändringar i biogasprocessens fundamentala mikrobiella funktioner och en reologisk karaktärisering av rötvätska är relativt snabb och billig att genomföra skulle denna metod även kunna utgöra en möjlighet att tidigt upptäcka obalanser i processer. Metodiken skulle eventuellt kunna anpassas för on-line-mätning och utnyttjas för processkontroll. En mer systematisk forskningsinsats är nödvändig för att bättre förstå dessa fenomen och konsekvenser.

4.7 DP7 - Enzymatisk ökning av slams rötbarhet

Utvecklingsprojektet DP7 presenteras i de följande avsnitten.

4.7.1 Deltagare

Forskare:

- Martin Karlsson (Dr.), Molekylär bioteknik, projektledare
- Anna Odnell (f.d. Hansson, doktorand), Molekylär bioteknik
- Bengt-Harald "Nalle" Jonsson (Prof.), Molekylär bioteknik
- Bo Svensson (Prof.), Tema Miljöförändring

Deltagande partners och medlemmar: InZymes Biotech AB (fd Rational Enzyme Mining), Kemira AB, Scandinavian Biogas fuels AB, samt Tekniska Verken i Linköping AB. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.7.2 Bakgrund

En stor substratkälla för biogasproduktion är det slam som produceras vid olika typer av vattenreningsverk världen över. I Europa, med mer än 40 000 kommunala reningsverk, produceras varje år grovt räknat cirka 9 miljoner ton torrsbstans som utnyttjas för biogasproduktion, varav cirka 220 000 ton produceras vid svenska reningsverk. Således utgör slam som producerats vid vattenreningsverk en enorm källa av organiska föreningar för biogasproduktion. Dock är det så att uträkningsgraden (utbytet) vid rötning av slam ofta är lägre än 50 % vid de reningsverk som tillämpar rötning. Delvis på grund av den korta uppehållstiden i röttkammaren vid reningsverk och delvis på grund av slamsubstratet är motståndskraftigt mot hydrolys, det första steget i biogasprocessen. I detta sammanhang är det noterbart att det inom EU (2013) producerades 1 253 kiloton oljeekvivalenter (ktoe, ca 14,6 TWh) av biogas vid reningsverk (EurObserv'ER, Biogas barometer, 2014). Det vill säga, om uträkningsgraden kunde ökas med 20 % (från 50 till 70 % av en total potential på 2 506 ktoe) skulle detta motsvara en ökning om 501 ktoe (ca 5,8 TWh), eller motsvarande 587 miljoner liter diesel, enbart från ökningen!!

De slam som rötas vid vattenreningsverk är primärslam från försedimentering och överskottslam som bildas i de efterföljande biologiska reningsstegen. Av dessa båda är det väl känt att det framförallt är överskottsslammet som är svårnedbrytbart då det i huvudsak består av bakterieceller (med hårda cellväggar), som ofta består av flockar av bakterier inkapslade i ett naturligt skyddande slemlager. En mängd tekniker har därför provats för att göra det organiska innehållet i bakterier och bakterieflockar tillgängligt för rötning genom kemiska, termiska och mekaniska behandlingar av överskottsslammet. På grund av att överskottsslammet har så låg torrhalt, ofta bara 0,5 – 2 %, är det svårt att tillämpa förbehandlingsmetoder som bygger på termisk, kemisk eller mekanisk energi då det är stora mängder vatten som måste behandlas för att uppnå ändrade förhållanden (temp., pH etc.) för att behandla en mycket liten andel organiskt material. Detta gör att det är svårt att nå en ökning av gasproduktionen som motsvarar den tillförda mängden energi med dessa tekniker, ens om man uppnår en maximal uträkningsgrad.

Ett mer energieffektivt sätt att bryta upp bakterieflockar och bakterier för att göra det organiska innehållet mer lättillgängligt för ökad biogasproduktion kan vara att använda enzymer. Detta av flera anledningar men framförallt för enzymerna är aktiva vid normala pH, tryck och temperaturer.

Användandet av enzymer för att öka tillgängligheten av det organiska materialet har prövats på en mängd substrat, varav en del försök har utförts på slam från reningsverk. Man har kunnat fastslå att effekten av att tillsätta enzymer i en del fall lett till ökad biogasproduktion, men även motsatsen har noterats. De motsägelsefulla resultaten beror i många fall på att försöken har utförts på ett otillfredsställande sätt ("trial and error"). Det vill säga, olika blandningar och olika koncentrationer av kommersiellt tillgängliga enzymer har helt enkelt blandats med slam och metanpotentialen före och efter tillsats har bestämts i satsvisa och kontinuerliga röt-försök.

4.7.3 Syfte, övergripande målsättningar

Syftet med projektet var att på ett mer genomlysande angreppssätt avgöra om tillsats av enzymer de facto är en framkomlig väg för att öka metanutbytet vid rötning av slam. Dels genom att bestämma enzymernas aktivitet och livstid i olika slam och dels genom att mäta effekten av enzymtillsats. Dessa resultat kan sedan ligga till grund för att antingen förkasta metoden eller för att utveckla den vidare.

4.7.4 Metod

Fokus har legat på de typer av enzymer som sannolikt är avgörande för nedbrytningen av bakterieflockar och bakterieceller. Dessa är framförallt dextranaser, som bryter ned dextran som är huvudbeståndsdelen i bakteriers kapslar och slemlager och enzymer som är aktiva i nedbrytningen av bakteriers cellväggar (lysozymer), samt enzymer som är aktiva mot andra polymera delar av substratet (cellulosa och proteiner). Har därför också varit nödvändigt att avgöra varje enzyms aktivitet och livslängd vid de aktuella förhållanden som enzymerna ska verka vid. Dels för att det är osannolikt att olika enzymer har till exempel aktivitetsoptimum vid samma förhållanden (temp., pH, etc.) och dels för att förhållandena kan förväntas vara mycket "fientliga". Snarare än att enbart notera effekterna på metanpotential i traditionella batchförsök har vi mätt på den effekt som enzymer faktiskt har, det vill säga i hastigheten av biogasproduktion. Detta har gett ny information om enzymernas effektivitet och livslängd men också vilka enzym som är mest lämpade för den aktuella applikationen.

4.7.5 Resultat och slutsatser

- Vissa enzymer är överhuvudtaget inte aktiva, eller har mycket låg aktivitet, i de aktuella miljöerna (d.v.s. i substratet (slam) eller processen (rötkammarmaterialet)). Orsakerna till detta kan vara lika många som det finns möjliga parametrar (pH, jonstyrka, partikelyta, inhiberande metaboliter etc.) och är inget som "enkelt" kan lösas ut, men får till effekt att just dessa typer av enzymer inte heller kan förväntas ge någon processförbättring. Det vill säga, det är knappast någon mening med att fortsätta att försöka förbättra gasproduktionen med dessa typer av enzym.

- Enzymer som de facto har aktivitet i de aktuella miljöerna har i förhållande till processens tid (cirka 20 dagar) en mycket begränsad livstid (halveringstid på några få timmar till cirka 1 dygn). Det vill säga, i ett "vanligt" BMP test (Biochemical Methane potential) är det mycket svårt att korrelera enzyms aktivitet till effekten på materialets biogaspotential eftersom sådana försök ofta pågår under lång tid (> 30 dagar). Många försök i litteraturen som därmed också är tveksamma.

- I våra batchförsök för att studera enzymernas effekt på gasproduktionshastighet under tillämpningsrelevanta förhållanden (ej BMP test), så är det bara proteaser och lysozym som ger någon signifikant ökning av gasproduktionshastigheten och utbytet inom enzymernas uppmätta livstid. Det vill säga, dessa enzymer är intressanta att arbeta vidare med då de uppenbarligen (1) är

aktiva i den miljö de utsätts för (2) är aktiva under tillräckligt lång tid för att ge effekt på biogasproduktionen, och (3) att det i substratet finns tillräckligt hög mängd av enzymernas målmolekyler (proteiner & cellväggar) för att det ska slå igenom som snabbare producerad biogas. Dessa enzymer i olika kombinationer skulle kunna ge en god effekt om de tillsätts i tillräckligt hög mängd. Blir mest en fråga om hur mycket enzym som krävs för att ge "tillräcklig" effekt och kostnaderna för detta.

- I våra försök har vi sett att tillsatts av proteashämmare gör att livstiden för tillsatta enzymer ökar avsevärt. Det vill säga, för initialt aktiva enzymer, men som tappar sin aktivitet över tid, är inaktiveringsmekanismen högst troligen proteolytisk nedbrytning av de tillsatta enzymerna genom aktiviteten hos mikrobiella proteaser/peptidaser som förekommer naturligt i de båda miljöerna. Vi har också i initiala studier sett att de tillsatta enzymerna bryts ned till relativt väl definierade peptider, det vill säga, det finns goda möjligheter att man kan följa den proteolytiska fragmenteringen av tillsatta enzymer för att bestämma (1) var de klipps och (2) i vilken ordning de klipps. Denna information öppnar för möjligheten att med "protein engineering" modifiera de tillsatta enzymer som är initialt aktiva (proteaser och lysozym) för att ge dem "motståndskraft" mot proteolytisk inaktivering och därmed ge dem ökad livslängd.

- Resultaten visar också att det på grund av den korta livstiden för enzymerna kanske är mindre meningsfullt att förbehandla slam, eller ens behandla i reaktorn. Det som förmodligen skulle vara bäst är att efterbehandla slammet eftersom det är i denna restfraktion som det svårnedbrytbara materialet återstår. Det vore därför rimligen bättre att utnyttja enzymernas aktivitet, under den korta tid de är aktiva, specifikt mot den svårnedbrytbara delen av substratet i en efterrottningsprocess.

4.7.6 Framtida forskningsutmaningar

Användandet av enzymer för att öka på utrottningshastigheten och biogasutbytet av slam vid reningsverka kan inte förkastas då några typer av enzymer ger en faktisk effekt eftersom de är aktiva i miljön och deras substrat finns tillgängligt. Särskilt inte som det finns en så oerhört stor utnyttjad potential i reningsverksslam (i Europa cirka 9 miljoner ton organiskt material från reningsverk som ger en produktion av cirka 2,4 miljarder m³ biogas, trots en utrottningsgrad på ofta under 50 %).

Hur dessa enzymer ska tillsättas (i vilka kombinationer, i vilken ordning, etc) är dock inte klarlagt. Inte heller vilken en effekt de har på en "verklig" process eller de ekonomiska förutsättningarna. Vår misstanke är dock att den begränsade livstiden hos enzymerna, som får till effekt att stora mängder enzym med kort livslängd måste tillsättas för att nå effekt, kommer förhindra en storskalig, ekonomiskt möjlig, implementering. Om tillsatta enzyms livslängd däremot kunde ökas skulle detta kunna vara den avgörande skillnaden mellan en icke-möjlig och en möjlig implementering för en substantiellt ökad biogasproduktion från reningsverksslam, då mycket mindre mängd enzym skulle behöva tillsättas för att nå samma effekt.

Från våra resultat i BRC fas I har vi redan nu en god bild av vad som begränsar tillsatta enzyms livstid och vad som kan göras för att lösa problemet. Denna kunskap kan då användas för att öka enzymernas aktivitet eller livslängd genom att justera förhållanden eller modifiera enzymerna med genteknisk ingenjörskonst. Därav vårt föreslagna projekt från molekylär bioteknik för den fortsatta verksamheten inom BRC:s etapp 2.

4.8 DP8 - System och teknik för effektiv användning av biogödsel

Utvecklingsprojektet DP8 presenteras i de följande avsnitten.

4.8.1 Deltagare

Forskare:

- Karin Tonderski (docent), Biologi, projektledare
- Mats Eklund (professor), Industriell miljöteknik
- Carolina Ersson (doktorand), Industriell miljöteknik
- Roozbeh Feiz (doktorand), Industriell miljöteknik
- Karin Johannesson (doktorand), Industriell miljöteknik

Deltagande partners och medlemmar: Biototal, Kemira, Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), Scandinavian Biogas AB, Svensk Biogas AB, Tekniska Verken i Linköping AB. Vilka personer som medverkat från partners och medlemmar framgår av bilaga 4.

4.8.2 Bakgrund och syfte

En biogasanläggning levererar två produkter, biogas och näringsrik biogödsel (rötrest/digestat). Näringsvärdet i biogödseln beror bl.a. av substratets sammansättning och hur stor andel av kvävet som mineraliseras under rötningsprocessen. Torrsubstans (TS)-halten i biogödseln beror dels på TS i det substrat som används och dels på vilken utrötningsgrad som uppnås vid rötningen. Substrat med lågt TS och en hög utrötningsgrad leder till biogödsel med låg TS-halt. Kostnaderna för att transportera denna vätska till lantbrukare för lagring och spridning på åkermark är avsevärda, och det är högst intressant att finna metoder som minskar dem. Det är också viktigt att minimera miljöpåverkan från hanteringen och maximera nyttan av näringen som biogödsel. En mängd olika tekniker för behandling av biogödsel finns på marknaden, liksom maskiner för att sprida den på åkermark. En rad publikationer pekar dock på att det finns behov av ytterligare forsknings- och utvecklingsarbete för att bl.a. minska kostnaderna för en effektiv återföring av näringen. Den övergripande målsättningen med detta utvecklingsprojekt var därför att analysera olika möjligheter för hantering av biogödsel för att stärka den totala ekonomin för biogasanläggningar.

4.8.3 Metod

Inom projektet har vi använt tre olika ansatser:

1. Utvecklat en bedömningsmodell för att analysera kritiska faktorer som påverkar det ekonomiska och miljömässiga resultatet av olika metoder för hantering av biogödsel. Den utgör en detaljerad modul inom BRCs systemverktyg för analys av hela biogaslösningar (se EP4). Viktiga grunder för modellen är i) att det finns en metodik för att bedöma osäkerheter i resultaten (här används Monte Carlo-simuleringar), ii) att definitionen av scenarier är flexibel så man kan optimera med avseende på olika faktorer, iii) att den miljömässiga prestandan bedöms med hjälp av livscykelanalys. Som grund för analysen gjordes även en litteraturoversikt över olika existerande tekniker för behandling och hantering av biogödsel vilket resulterat i en intern rapport. För att demonstrera hur modellen kan användas, analyserades tre valda scenarier för biogödselhantering vid en fiktiv biogasanläggning. Biogasanläggningen i Linköping bidrog med data över rötrestens sammansättning och avstånd till gårdar som tar emot biogödsel. Andra data hämtades från litteraturkällor och rimliga osäkerhetsintervall fastställdes bl.a. med hjälp av kompetensen hos partner och medlemmar.

2. Studerat en förbehandlingsmetod för att öka effektiviteten av polymertillsats vid separering genom att göra laboratorieförsök med biogödsel från samrötningsanläggningar. Planen var även att göra ett pilotförsök med en lovande ny teknik som identifierades inom projektet, men detta fullföljdes inte av flera skäl, bl.a. budgetbegränsningar.

3. Analyserat hinder och drivkrafter för användning av biogödsel bland lantbrukare i regionen.

4.8.4 Resultat och slutsatser

Ett modellverktyg för att jämföra ekonomisk och miljömässig prestanda för olika scenarier för hantering av biogödsel har utvecklats och kan nu användas för olika scenarioanalyser. De tre scenarier som analyserats för att demonstrera hur modellen kan användas (Tabell 5) valdes utifrån resultaten av litteraturöversikten och försöken med fassettering av rötrest från samrötning (se nedan). I exemplet ingår driftkostnader för energi, kemikalier, transporter och spridning, men inte kostnader för investeringar. I fall B och C krävs till exempel extra utrustning för vakuamtorkning respektive skruvpress/centrifug för fassettering.

Tabell 5. Tre valda scenarier för biogödselhantering vid en fiktiv biogasanläggning för samrötning av avfall. De första raderna visar parametervärden som definierar scenarierna, och följande rader visar några andra viktiga parametervärden i modellberäkningen. Kostnader för energi, kemikalier och transporter är inkluderade men inga investeringskostnader, och det antas att all näring sprids på åker.

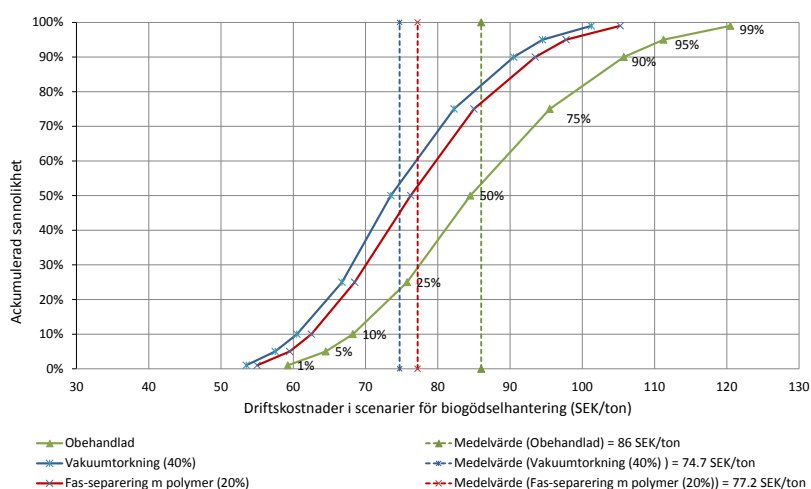
Parameter	A (Obehandlad)	B (Vakuamtorkning + obehandlad)	C (Fassettering + obehandlad)
Andel obehandlad biogödsel som transporteras till lantbruk och lagras där (% av årsmängd)	100	60	80
Andel biogödsel där 50% av vätskan torkas bort med vakuumavdunstning (% av årsmängd)	0	40	0
Andel biogödsel som fas-separeras med förbehandling, PAM och recirkulering av vätskan tillbaka till processen (%)	0	0	20
Pris för överskottsvärme under sommaren (SEK/kWh)		0.04 – 0.08, medel 0.05	
Pris för svavelsyra (SEK/kg)		0.5 – 1.5, medel 0.75 ^a	
<i>Samtliga tre scenarier:</i>			
Avstånd från anläggning till lantbruk (km)		20 – 60, vanligtvis 35 – 45 km ^b	
Transportkostnad för biogödsel (SEK/(ton*km))		1.4 – 2, medel 1.7 ^c	
Pris för elektricitet (SEK/kWh)		0.6 – 0.8, medel 0.7 ^d	
Metanemission från lagring (% av producerad metan)		0.5 - 2% (vanligtvis 1-1.5)	

^aKettunen, 2013. Pers.komm, Kemira Oyj; Avfall Sverige, 2011. Rapport U2011:03 (s. 11). ^bSvensk Biogas, 2013. Miljörapport 2013. Svensk Biogas, Linköping. ^cBerglund, 2010. Avfall Sverige. Rapport U2010: 11 (s. 30). ^dEurostat, 2014. European Energy Price Statistics - Price of Electricity for Industrial Customers. Eurostat, March 2014.

Resultaten från scenarioanalyserna beror delvis av de antaganden som har gjorts, till exempel antogs i detta exempel att ingen separering av biogödseln behöver göras innan vakuamtorkningen. Det kan dock vara nödvändigt att separera en del av partiklarna innan torkningen, vilket skulle ge högre driftkostnader för detta scenario. Med de antaganden som gjordes i detta exempel blev den totala

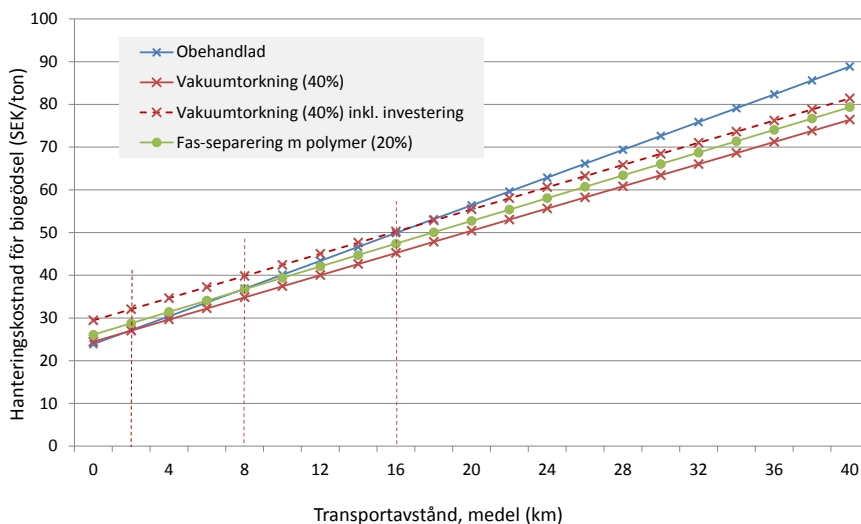
driftskostnaden för fassettering 32 – 44 SEK/ton biogödsel, med ett medelvärde av 35 SEK/ton (inklusive kemikalier och energikostnader).

En viktig del av scenarioanalysen är att bedöma osäkerheten i beräkningarna. Med de osäkerhetsintervall och den sannolikhetsfördelning som antagits i detta fall är det till exempel 75 % sannolikhet att kostnaden för scenariot "vakuumtorkning" (dvs. 60% obehandlad biogödsel och 40% vakuumtorkad) är lägre än 82 SEK/ton (Figur 1). Med 90 % sannolikhet ligger kostnaden mellan 58 och 94 SEK/ton. För scenariet "fas-separering" är det 95 % sannolikhet att kostnaden är lägre än 98 SEK/ton. Osäkerheterna i modelleringen hänger samman med både kända variationer, till exempel priset på elektricitet och värme, brist på kunskap, till exempel om metanemissioner vid lagring av biogödsel, och att uppgifterna är en blandning av verkliga data, litteraturuppgifter och antaganden.



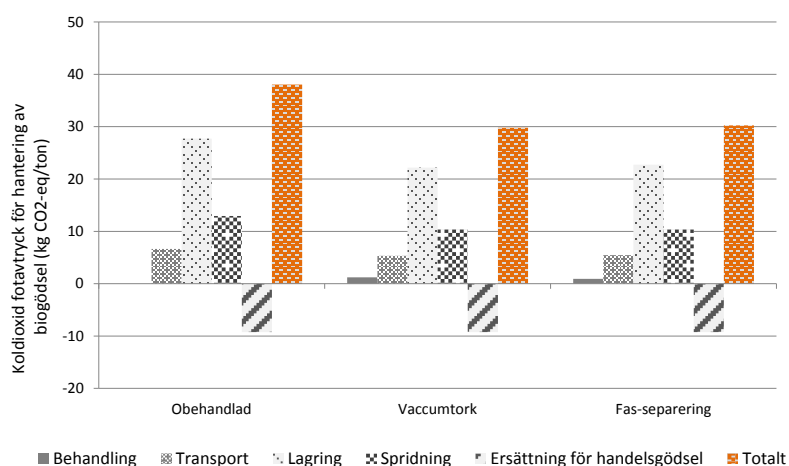
Figur 1. Uppskattning av osäkerheter i beräkningarna av driftskostnader i tre scenarier (Tabell 1) för biogödselhantering, inklusive spridning på åker, vid en biogasanläggning för samrötning av avfall.

Scenario-modelleringarna kan till exempel användas för att analysera hur kostnaderna varierar med olika faktorer. I detta exempel visar de ekonomiska beräkningarna (livscykelkostnad, LCC) baserat på enbart driftskostnader (antaganden i Tabell 5) att om priset för värme är väldigt lågt, och ingen fassettering krävs före torkningen, kan vakuumtorkning vara en intressant metod för att behandla en del av biogödseln när transportavståndet är så kort som 2 km (Figur 2). Om man antar att investeringskostnaden i scenario B skulle motsvara en årskostnad av 5 SEK/ton total mängd biogödsel blir avståndet ca 16 km. Skulle föregående fassettering krävas blir avståndet ännu större. På motsvarande sätt kan andra faktorer varieras för att analysera olika möjligheter för att hantera rötresten.



Figur 2. Sambandet mellan transportavstånd och hanteringskostnaden (driftskostnader inkl. spridningen på åker) för tre olika scenarier (Tabell 5) för biogödselhantering vid en fiktiv biogasanläggning i Östergötland.

Livscykelanalysen visade att miljöpåverkan i form av koldioxidfotavtryck verkar vara större med alternativ A (obehandlad biogödsel) jämfört med alternativ B och C, och att den största påverkan sker vid lagringen (Figur 3).



Figur 3. Koldioxidfotavtryck för olika scenarier (Tabell 1) för biogödselhantering vid en fiktiv biogasanläggning för samrötning av avfall.

När det gäller resultaten från laborieförsöken så indikerade de att en förbehandling av biogödseln med H₂SO₄, H₂O₂ och Fe²⁺-joner (Kemicond®) medförde att dosen av polyakrylamid-polymer (PAM) kunde minskas med över 80 %. En dos av ca 2 kg/t TS medförde att mer än 90 % av det suspenderade materialet i en rötrest med en TSS halt >25000 mg/l kunde avskiljas med en gravimetrisk separation (0.6 mm sil). Efter separationen fanns ca 94 % av fosfor och 74 % av kvävet i den avskilda partikulära fassen. Det ska dock påpekas att med denna enkla mekaniska separering hade den avskilda partikelfasen en hög vattenhalt (ca 10 % TS) jämfört med om en centrifug eller press hade använts (uppskattningsvis 20-30% TS). Detta är en del av förklaringen till den höga andelen kväve i partikelfasen i försöken. Om vätskan ska recirkuleras till reaktorn så är kvävehalten

en kritisk faktor, varför mätningar efter en mer realistisk mekanisk separering skulle krävas för att avgöra hur stor del som kan recirkuleras på årsbasis.

Vad gäller användarnas syn på biogödsel så visar resultaten från intervjuer med 10 lantbrukare i Östergötland att det finns en generellt positiv inställning till biogödsel från biogasanläggningar. Två faktorer som lyftes fram av konventionella odlare är att biogödselns innehåll av organiskt material och mikronäringsämnen gör den till ett bättre gödselmedel än handelsgödsel, och att det dessutom känns principiellt rätt att recirkulera näringsämnen från organiskt avfall tillbaka till åkrarna. När även prisbilden är gynnsam är det ett klart intressant alternativ. Ett problem som lyftes fram är, liksom för flytgödsel, markpackningen, och där är det intressant att flera olika spridningstekniker förekommer. Några lantbrukare nämnde att plastbitar ibland förekommit i gödseln, men annars såg man inga kvalitetsproblem. Informationsmaterial för biogödsel, inkl. kvalitetsaspekter, togs fram i regi av bl.a. Hushållningssällskapet m.fl. under 2013, varför inga studier gjordes på detta område inom DP8.

4.8.5 Framtida forskningsutmaningar

När det gäller tekniker för behandling av biogödsel så är det intressant med utveckling av nya typer av biopolymerer för att ersätta PAM polymerer, eftersom de senare inte är tillåtna tillsatser i ett SPCR 120 certifierat biogödsel. Preliminära lab.-försök indikerade att kitosan-baserade polymerer kan vara värda att undersöka närmare. Nya forskningsresultat med användning av kitosan för behandling av avloppsslam visar att det finns potential att både modifiera polymererna och de kemiska förutsättningarna för att uppnå en god flockbildning.

Ett annat viktigt utvecklingsområde är att studera effekten av att ha en högre torrsubstanshalt in till röt-kammaren när matavfall rötas, och möjligheten att samröta olika substrat med syfte att få ett biogödsel där det är lättare att separera ut näringsämnena. Möjligheten att recirkulera vätskefasen till reaktorn är också ett intressant forskningsområde.

Det är också mycket intressant att gå vidare med analyser av andra scenarier för biogödselhantering. En aktuell sådan analys gäller jämförelsen av kostnader och miljöpåverkan mellan torrötning och våtrötning av en given substratmix. Det är också angeläget att inkludera investeringskostnaderna för olika tekniska lösningar som bedöms driftsmässigt intressanta för behandling och spridning av biogödsel, med tanke på en framtida utökning av biogasproduktionen i Sverige. Effekter av markpackning och möjliga emissioner av lustgas bör inkluderas i modelleringen av miljöpåverkan.

4.9 Forskningssynes för etapp 1

Forskningen har tagit sin utgångspunkt i de stora utmaningar som biogasbranschen och samhället står inför. Forskningen har byggt på mycket interaktion mellan BRC:s forskare och övriga partners och sammantaget står det klar att en bra grund har lagts för relevant och högklassig forskning som kan facilitera biogaslösningarnas fortsatta utveckling.

BRC:s processforskning har främst fokuserat på att inom ramen för befintliga anläggningar och substrat öka biogasutbytet. Det finns många olika faktorer som kan utgöra flaskhalsar för att öka den organiska belastningen i en reaktor. Tillgänglighet av närings- och spårämnen, processinhibering, inaktiv biomassa och ofullständig blandning av substrat är några viktiga exempel som kan mötas med olika ansatser. Tillsatser av spårämnen och samrötning med komplementära substrat, återcirkulering av substrat och förbättrad omrörning utgör exempel på sådana ansatser. De försök som genomförts i samverkan med industriella partners har fördjupat kunskapen om behovet av spårämnen, samrötning av primärslam, matavfall och fett samt möjligheten att öka användningen av kväverika substrat. Flera enzymer, som proteaser, har uppvisat en hög aktivitet i biogasprocessen. Utmaningen för en framgångsrik tillämpning av dessa är att lyckas förlänga deras livslängd i de aktuella miljöerna. De forskningsmässiga framstegen inom processområdet indikerar att det finns fortsatt en stor förbättringspotential inom ramen för de befintliga systemen men också att framsteg där kommer att underlätta möjligheten att utveckla nya biogaslösningar. En fördjupad kunskap om och möjlighet att påverka hydrolysstegen i biogasprocesserna är ett exempel som kan öka utröttningsgraden i de befintliga systemen som samtidigt möjliggör rötning av nya substrat i nya sammanhang.

Viktiga lärdomar har gjorts när det gäller behovet av breda analyser särskilt när det gäller framtidens substrattillförsel. Biogasproducenter får idag hantera en förändrad situation där priset på attraktiva substrat blir högre och fluktuerar mera. En respons på denna utveckling som också påverkas av policy är att utnyttja utsorterat matavfall i större utsträckning än förr för att minska den ekonomiska risken. Multi-kriterieanalys har visat sig vara en lovande metod när det gäller att brett och djupt analysera denna typ av strategiska vägval för biogasaktörerna. En viktig lärdom i etapp 1 är också att efterfrågan av biogas inte längre är att betrakta som självklar och växande. Intressanta möjligheter av detta är att involvera aktörer från kollektivtrafiksektorn i forskningen samt att söka integrerade lösningar på tillförsel och efterfrågan i särskilt lämpliga geografiskt baserade kluster av aktörer. Systemforskningen i BRC har handlat mycket om att ta fram ett relevant verktyg som kvantitativt kan hantera identifieringen av kritiska faktorer och de stora osäkerheter som finns rörande både ekonomisk och miljömässig prestanda. En utvecklingsväg av biogaslösningarna i riktning mot mera grödor som substrat leder till en liknande situation i samhällsdiskursen som gäller för de andra biodrivmedlen. Denna kan ändå argumenteras för genom biogaslösningarnas många positiva sidoeffekter. Utvecklingsspåret mot ökad biogasproduktion kopplat till olika vattenreningslösningar har inte samma problem utan här är utmaningarna mer kopplade till tekniskt utförande och integration i andra verksamheter.

5 Måluppfyllelse och utvärdering

5.1 Samhällsinriktade mål

Nedan beskrivs bidraget från projekten EP1-EP5 och DP6-DP8 till de samhällsinriktade målen. Målen härrör från programbeskrivningen för BRC:s etapp 1 och skrivs med kursiv stil.

5.1.1 Förbättrat utbyte i befintliga biogasanläggningar med befintliga substrat

Mål: Bidra till förbättrat utbyte i befintliga biogasanläggningar med befintliga substrat. Utbytet bedöms kunna öka med 20 % vilket innebär en ökning av biogasproduktionen i Sverige från 1,1 till ca 1,3 TWh per år. Under etapp 1 kommer processer att utvecklas som realiserar hälften av denna potential motsvarande 0,1 TWh per år.

EP1 Genom identifiering av och fördjupad kunskap om vanligt förekommande processproblem, flaskhalsar och genomförda förbättringsåtgärder har projektet skrivit fram förslag till möjliga förbättringar av biogasprocessen, med fokus på ökad metanproduktion under stabila förhållanden. Resultat från etapp 1 visar att de mest angelägna forskningsfrågorna omfattar förbehandlingstekniker främst för cellulosarika material; optimering av näringsbalanser och spårämnestillsatser; reologisk karaktärisering för förbättrad processkontroll; ökad förståelse för mikrobiella nedbrytningsvägar och hastighetsbegränsande steg; ökad nedbrytningsgrad för avloppsslam, lignocellulosa, akvatisk biomassa och organiskt material i industriella avloppströmmar samt en mer hållbar hantering av näringsämnen i rötresten. Dessa områden är, trots att de har varit aktuella under flera år, viktiga för en vidareutveckling av biogasprocessens potential. Se 4.1.

EP4: Projektet kommer inte att ge ett direkt bidrag till målet, men verktyget som tagits inom projektet kan användas för att beräkna effekterna av en sådan ökning när det gäller ekonomisk och miljömässig prestanda. Se 4.4.

DP6: Resultaten från studier inom DP6 visar att tillsatser av både kobolt och nickel behövs för stabila och effektiva biogasprocesser vid mesofil samrötning av organisk fraktion av matavfall och slakteriavfall. En stabil process för samrötning av fett och organiska fraktionen av matavfall med avloppsslam (primärslam/aktivt slam) med en ökad metanproduktion, jämfört rötning av enbart avloppsslam, har etablerats. Likaså indikerar pågående studier möjligheter att öka inblandningen av kväverika substrat vid mesofil samrötning av matavfall, vegetabiliskt fett, slakteriavfall och gödsel utan ihållande processtörningar. Se 4.6.

DP7: Bestämningen av olika enzyms livslängd, både i substratmiljön (slam) och processmiljön (rötkammaren) har bidragit med informationen att dessa miljöer är långt ifrån optimala för enzymerna, där livstiden för enzymerna i de båda miljöerna varierar från några timmar till något dygn. I de flesta fall finns också starka indikationer att inaktiveringsmekanismen är proteolys av de tillsatta enzymerna. Det intressanta är dock att trots att livstiden är begränsad, så har flera enzymer de facto en hög ursprungsaktivitet i en eller båda miljöerna. I teorin betyder detta att de faktiskt skulle kunna påverka sitt respektive substrat i tillräcklig omfattning för att ge en ökad biogasproduktionshastighet, under förutsättning att de hinner göra detta under sin begränsade livstid. Inom projektet har man bestämt aktivitet och livstid för merparten av de undersökta enzymerna, inaktiveringsmekanismer, samt effekten av enzymtillsats till biogasprocessen i

batchförsök. Det enzym som utifrån de ovanstående försöken identifierats som det mest lovande (subtilisin), har testats i kontinuerliga biogasförsök. Se 4.7.

5.1.2 Ökad biogasproduktion genom användning av mer substrat i befintliga anläggningar

Mål: Bidra till ökad biogasproduktion genom användning av mer substrat i befintliga anläggningar. Programmet har som mål att härigenom bidra till en ökning av biogasproduktionen i Sverige med 100 %, vilket innebär en ökning från 1,3 till 2,6 TWh per år. Under etapp 1 kommer processer och system att utvecklas som realiserar en fjärdedel av denna potential motsvarande 0,32 TWh per år.

EP1: Se 5.1.1. Genom etablering av stabilare biogasprocesser ges ökade möjligheter till belastningsökningar och därmed ökad biogasproduktion. Se 4.1.

EP2: Projektet bidrar till ökad kunskap eftersom ett flertal substrat som redan används för biogasproduktion utvärderats med hjälp av den metodik som tagits fram, t ex hushållsavfall och vallgrödor. Det är dock inte rimligt att kvantitativt uppskatta bidraget till detta mål. Se 4.2.

EP3: Projektet har en viss betydelse eftersom hittills outnyttjade substrat från nya sektorer skulle kunna användas i befintliga anläggningar. Det är dock inte rimligt att kvantitativt uppskatta bidraget till detta mål.

EP4: Projektet kommer inte att ge ett direkt bidrag till målet, men med hjälp av det verktyg som tagits fram kan effekterna av en ökad substratanvändning beräknas när det gäller ekonomisk och miljömässig prestanda. Indirekt kan projektet bidra till målet via kunskap om nya eller outnyttjade materialströmmar som erhållits via den intervjustudie som genomförts. Se 4.4.

DP6: Se ovan. Stabila processer och en ökad metanproduktion har erhållits genom en successivt ökad belastning motsvarande inblandning av fett 1,5 g VS/L/dag respektive 3,5 gVS/L/dag av matavfall till primärslam/aktivt slam (1,25 g VS/L). Likaså motsvarande inblandning upp till 3,5 g VS/L/dag av kväverikt substrat (urea respektive protein) till befintlig substratblandning som används i fullskala idag. Genom tillsats av kobolt och nickel till samröttningsprocesser av matavfall och slakteriavfall kunde en organisk belastning om 3.5 g VS/L bibehållas med stabil och effektiv process som följd, vilket ej erhöles i frånvaro av spårelementen (kobolt och nickel). Resultaten indikerar även att biogasutbyte och VS-reduktion för reningsverksslam kan förbättras betydligt genom att återcirkulera rötat slam, eventuellt som komplement till enzymatisk förbehandling som fokuserats i DP7. Se 4.6.

5.1.3 Nya substrat i biogaslösningar

Mål: Bidra till utnyttjande av nya substrat i biogaslösningar. Potentialen, skogssektorn exkluderad, bedöms vara ca 10 gånger större än den befintliga biogasproduktionen. Under etapp 1 kommer vi att identifiera och prioritera vilka substrat med tillhörande processer som är bäst lämpade för fortsatt utveckling.

EP1: Se ovan. Projektresultaten visar på möjligheter till utökade samröttningskombinationer med ökad biogaspotential. Lignocellulosa, akvatisk biomassa, hushållsavfall och fettrika material har identifierats som särskilt intressanta substrat för fortsatt utveckling. Se 4.1.

EP2: Projektet har en tydlig roll eftersom det syftat till att ge vägledande information om fördelar, nackdelar och utmaningar med biogasproduktion från olika typer av substrat. En metodik för att

strategiskt, brett och systematiskt utvärdera substrat har tagits fram och tillämpats. Det är dock inte rimligt att kvantitativt uppskatta bidraget till detta mål. Se 4.2.

EP3: Projektet har en tydlig roll eftersom hittills outnyttjade substrat i nya sektorer kan bli viktiga i framtida biogaslösningar. En uppskattat biogaspotential på 820 GWh har identifierats inom livsmedelsindustrin. Se 4.3.

EP4: Projektet kommer inte att ge ett direkt bidrag till målet, men med hjälp av verktyget som tagits fram kan effekterna av införandet av nya substrat beräknas när det gäller ekonomisk och miljömässig prestanda och därmed bana väg för detta. Se 4.4.

DP6: Resultaten från studier inom DP6 visar att såväl inblandning av fett som organisk fraktion av hushållsavfall är intressant för fortsatt utveckling. En ökad metanproduktion och stabila processer erhöles vid samrötning med primärslam/aktivt slam i laboratorieskala. Likaså visar resultaten möjligheter att öka inblandningen av kväverika substrat vid mesofil samrötning utan ihållande processtörningar. Se 4.6.

5.1.4 Etablering av nya biogaslösningar i nya sektorer

Mål: Bidra till etablering av nya biogaslösningar i sektorer vilka traditionellt inte producerat biogas som jord- och skogsbrukssektorerna samt livsmedelsindustri. Under etapp 1 kommer vi att identifiera och prioritera vilka sektorer som är bäst lämpade för fortsatt utveckling.

EP1: Exempelvis har lignocellulosa och akvatisk biomassa identifierats som särskilt intressanta substrat för fortsatt utveckling. Inom ramen för projektet har också betydelsen av författningar, andra styrmedel och incitament omnämnts som viktiga faktorer för nya etableringar av biogaslösningar. Se 4.1.

EP2: Projektet har en tydlig roll eftersom flera av substraten och fallen som studeras har lantbrukskoppling. Även den akvatiska sektorn har studerats. Se 4.2.

EP3: Projektet har en tydlig roll eftersom hittills outnyttjade substrat i nya sektorer kan bli viktiga i framtida biogaslösningar. Åtta kluster, med fokus på livsmedelsindustrin, har valts ut utifrån några kriterier och har studerats ingående, där det visat sig att några av dessa är mycket intressanta för fortsatta studier. Se 4.3.

EP4: Projektet har en tydlig roll för möjligheten att värdera nya biogaslösningar m.h.a. det framtagna verktyget. Vidare kan projektet bidra till målet via kunskap om nya eller outnyttjade materialströmmar som erhållits via den intervjustudie som genomförts. Se 4.4.

5.1.5 Förbättrade möjligheter att nyttiggöra biogödseln

Mål: Bidra till förbättrade möjligheter att nyttiggöra biogödseln. Under etapp 1 kommer vi att utvärdera och prioritera tillgängliga tekniker för värdehöjande förädling.

EP1: Förändringar i substratprofiler, omrörning och reologi har visats sig påverka biogasprocessen och metanutbytet. Dessa parametrar inverkar även på kvalitén för den bildade biogödseln genom t ex förbättring av avvattningssegenskaper och möjligheter att separera näringsämnen, som hanteras i DP8. Likaså presenteras egna och andras kunskaper om metallkoncentrationer i substrat/rötvätska och metallernas speciering i reaktorerna vätske- och fastfas. Se 4.1.

EP2: Projektet bidrar eftersom utvärderingen av substrat både tar hänsyn till biogas- och biogödselproduktion. Se 4.2.

EP3: Projektet har en viss roll, eftersom det ingår att beakta biogödselaspekter. Vid analysen av de åtta klustren har även aspekter på biogödsel diskuterats. Se 4.3.

EP4: Projektet har en tydlig roll då verktyget som tas fram kan visa på biogödselns påverkan på prestandan och därmed ge incitament till förändringar av hanteringen. Se 4.4.

DP6: Inom projektet har vi studerat reologiska egenskaper med fokus på viskositet och flödesegenskaper i samtliga i projektet ingående försöksreaktorer, samt genomfört metallanalyser (totala koncentrationer, metall speciering för kobolt och nickel, samt dess biotillgänglighet). Dessa kunskaper utgör viktigt underlag för fortsatt hantering av biogödsel. Se 4.6.

DP8: Fokus i projektet har varit att undersöka olika strategier och tekniker för att utnyttja biogödseln på ett kostnadseffektivt sätt. Vi har utvärderat olika tekniska lösningar och i laboratorieskala visat att doseringen av PAM polymerer går att minska med över 80% om digestatet förbehandlas med bland annat svavelsyra och väteperoxid enligt Kemiras metodik. Resultaten indikerade att 70% av kvävet och 90 % av fosfor återfanns i den fastare fraktionen efter separeringen. Vi har även gjort en systemanalytisk jämförelse mellan tre olika scenarier för digestathantering vid Tekniska Verkens anläggning i Linköping. Se 4.8.

5.2 Program- och centrumspecifika mål

I Tabell 6 visas de program- och centrumspecifika mål som gällt för etapp 1 samt utfallet. De programspecifika målen faller helt inom ramen för det av Energimyndigheten finansierade forskningsprogrammet, medan de centrumspecifika målen omfattar verksamhet med (delvis) annan finansiering. Enligt hänvisningarna i tabellen finns mer detaljerad information kopplat till målen i bilaga i avsnitt 6.6.

Kortfattat kan det konstateras att måluppfyllelsen överlag är god. Det är speciellt positivt att så många vetenskapliga artiklar publicerats (eller är på gång att publiceras) kopplat till forskningsprojekten och även i det vidare centrumperspektivet. Helt klart förekommer en omfattande verksamhet inom och kopplat till BRC. I etapp 2 är det viktigt att öka andelen mycket nöjda partner och medlemmar, där nu hälften är *nöjda* och hälften *mycket nöjda*. Det handlar framför allt om stärkt kommunikation, interaktion och projektledning. Under 2015 förväntas åtminstone två doktorsexamina, där avhandlingarna har stor koppling till forskningen inom etapp 1.

Tabell 6. Program- och centrumspecifika mål för etapp 1 och utfallet för dem.

	Mål etapp 1	Utfall	Hänvisning
Programspecifika mål:			
Andelen mycket nöjda intressenter i uppföljning	75%	50%	6.6.1
Antal deltagande intressenter	9	10	
Antal programgemensamma möten	4	5	6.6.3
Antal vetenskapliga artiklar inom programmet	14	22	6.6.5
Antal presentationer vid vetenskapliga konferenser inom programmet	17	16	6.6.6
Antal internationella sampubliceringar	3	8	6.6.5
Antal forskarutbyten	3	2	6.6.7
Antal examensarbeten	10	14	6.6.8
Antal adjungerade forskare från industrin inom programmet	2	2	6.6.9
Antal patent	1	0	
Nationell medieexponering	8	7	6.6.11
Internationell medieexponering	2	1	6.6.11
Andra presentationer	-	28	6.6.12
Centrumspecifika mål:			
Antal vetenskapliga artiklar inom centrumet (exkl. programmet)	-	12	6.6.5
Antal presentationer vid vetenskapliga konferenser inom centrumet (exkl. programmet)	-	23	6.6.6
Antal öppna större seminarier	2	2	
Antal nya företag bildade ur centrumets forskning	1	0	
Antal doktorsexamina	2	0	6.6.15
Antal licentiatexamina	3	2	6.6.16
Koordinator eller deltagare i EU-projekt	1	3	6.6.17
Antal kurser i forskarutbildning med stora inslag från programmet	-	2	6.6.18
Antal kurser i grundutbildning med stora inslag från programmet	6	7	6.6.19
Ansökningar om finansiering i närliggande område	-	10	6.6.20
Övriga långsiktiga samarbeten	-	4	6.6.21

5.3 Extern utvärdering av BRC

I början på år 2014 utvärderas verksamheten vid BRC av Faugert & Co Utvärdering AB, som är ett företag inom Technopolis-koncernen med mycket lång erfarenhet av att utvärdera den här typen av centrum. Huvudsyftet var att bedöma hur väl centrumet lyckats med etableringen samt att granska om det fanns förutsättningar för framtida framgångsrik verksamhet.

Generellt var utfallet mycket positivt för BRC:s del, där utvärderarna bland annat konstaterade att:

- BRC har på kort tid lyckats etablera en verksamhet som fungerar väl och engagerar det stora flertalet deltagande aktörer.
- De områden som står i fokus bedöms fortsatt mycket relevanta, och projekten som bedrivs fungerar med något undantag väl.

- ”De flesta involverade ser BRC som en befogad och väl fungerande satsning, som de har för avsikt att även fortsättningsvis stödja”.
- Resultaten är än så länge i huvudsak akademiska, såsom vetenskapliga artiklar, examensarbeten och konferenspresentationer. Andra typer av resultat förväntas senare under 2014.
- ”BRC har bidragit till ett ökat samarbete mellan i centrumet ingående avdelningar och forskargrupper, och FoU-utförarna har kommit att samarbeta med avdelningar och personer de tidigare inte arbetat med. Flera FoU-utförare menar att BRC gett ett utökat nätverk ...”
- Verksamheten har inneburit tillgång till ny kunskap. ”En internationell referensgrupp har etablerats, och denna ger goda förutsättningar att öka de internationella kontakterna och utveckla nätverket.”

Utvärderingen bidrog också med flera relevant tips och till att belysa utmaningar såsom att:

- Centrumet bör gå mot fler tillämpade projekt och bedriva färre av explorativ karaktär.
- Stärka bilden av att BRC som en referenspunkt på nationell nivå.
- Fortsätta satsningarna på kommunikation där tydlighet är viktigt, exempelvis ”angående var och hur man vill kommunicera, med vem, och varför”.
- Flera av målen för centrumet behöver ses över och omformuleras inför nästa etapp.
- Förbättra interaktionen med Energimyndigheten.

5.4 Utveckling i etapp 2

Erfarenheterna från etapp 1, inklusive intrycken från utvärderingen, har inneburit att många grundtankar med BRC kvarstår och en viss vidareutveckling planeras. Några centrala delar är:

- Det är positivt att utvärderingen visade på ökad samverkan, men tanken i etapp 2 är att stärka integrationen ytterligare. Här har bland annat så kallade implementeringsprojekt en viktig roll.
- Att stärka kompetensen om affärer, med företagsekonomiskt perspektiv, och avseende nya marknader, vilket lett till att ytterligare en utmaning inkluderats till etapp 2 och forskarnätverket därmed utökas.
- Omvärldsanalysen inför etapp 1 indikerade att gasens användning/avsättning hade lägre prioritet. Utifrån erfarenheter under etapp 1 och med tanke på nya deltagare i centret kommer användningen av biogas att prioriteras mer i etapp 2.

6 Bilagor

6.1 Bilaga 1 – Styrelse

I tabellen nedan presenteras BRC:s styrelse.

Namn	Organisation, roll, m.m.
Maria Swartz	LiU, Innovationskontoret, Ordförande
Per-Olof Brehmer	LiU, prefekt och professor vid Institutionen för Ekonomisk och Industriell Utveckling (IEI)
Muharrem Demirok	Linköpings kommun, kommunalråd
Kajsa Ellegård	LiU, professor vid Tema teknik och social förändring
Jörgen Ejlertsson	Scandinavian Biogas, professor, forsknings- och utvecklingsdirektör
Erik Erjebj	Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), regionchef och representerade även Lantmännen. Adjungerad.
Britt Nilsson	Kemira, projektledare
Gunilla Nilsson	Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR), avdelningschef biogas
Mattias Philipsson	Svensk Biogas, VD. Representerade även Tekniska Verken i Linköping
Kalle Svensson	Energimyndigheten, doktor och handläggare för BRC

De personer som nämnts ovan är de som medverkade i styrelsen vid slutet av etapp 1. Dock har några förändringar skett under etappen, där främst följande personer tidigare medverkat i styrelsen:

- Malin Enockson, Svensk Biogas och Tekniska Verken i Linköping.
- Mattias Karlsson, Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), representerade även Lantmännen.

Föreståndaren Per Mårtensson medverkade som adjungerad vid samtliga styrelsemöten.

6.2 Bilaga 2 – Styrgrupp

I tabellen nedan presenteras styrgruppen ledd av föreståndaren Per Mårtensson, samt i slutet av etappen biträdande föreståndaren Jonas Ammenberg samt vetenskapligt ansvarig Mats Eklund. Styrgruppen har berett olika typer av ärenden. Bland annat har styrgruppen jobbat med ansökningar, projektplanering och uppföljning, samt planering av större, gemensamma möten

Namn	Organisation, roll, m.m.
Per Mårtensson	LiU, doktor, föreståndare
Jonas Ammenberg	LiU, doktor, Industriell miljöteknik, biträdande föreståndare
Stefan Anderberg	LiU, professor, Industriell miljöteknik
Annika Björn	LiU, doktor, Tema miljöförändring, biträdande föreståndare
Mats Eklund	LiU, professor, vetenskapligt ansvarig, Industriell miljöteknik
Bo Svensson	LiU, professor, Tema miljöförändring

6.3 Bilaga 3 – Ledningsgrupp

I tabellen nedan presenteras ledningsgruppen som leddes av föreståndaren Per Mårtensson. Det främsta syftet var att planera inför och informera om BRC, samt få igång en dialog mellan BRC/föreståndaren och medverkande avdelningar.

Namn	Organisation, roll, m.m.
Per Mårtensson	Doktor, föreståndare
Mats Eklund	Professor, representant för Industriell miljöteknik
Bengt Harald "Nalle" Jonsson	Professor, representant för Molekylär bioteknik
Jenny Palm	Professor, representant för Tema teknik och social förändring
Bo Svensson	Professor, representant för Tema miljöförändring
Mats Söderström	Docent, representant för Energisystem
Karin Tonderski	Docent, representant för Biologi

6.4 Bilaga 4 – Medverkande personer i forskningsprojekten

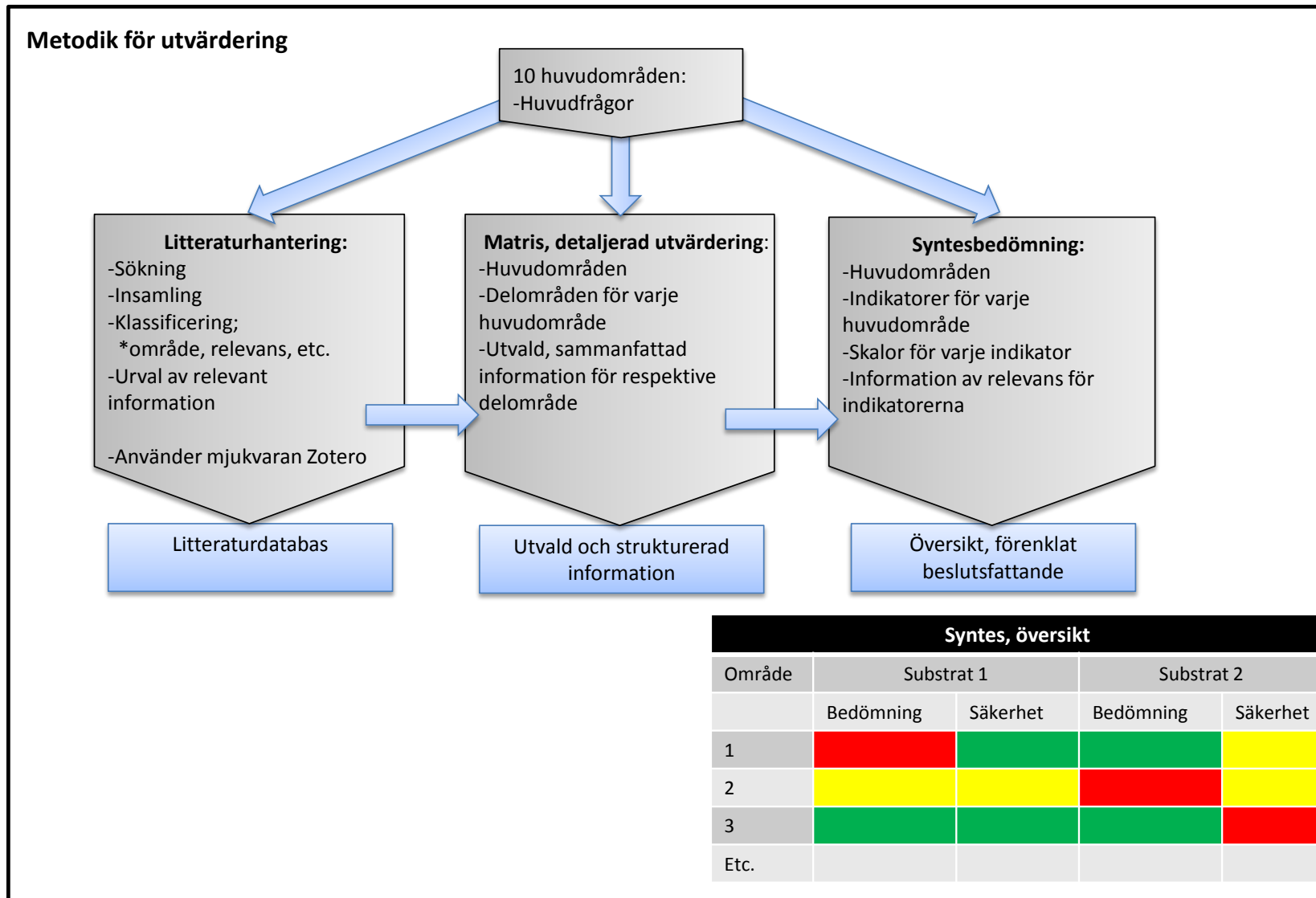
Tabellen nedan ger en översikt över de forskare vid Linköpings universitet som medverkat i de åtta forskningsprojekten.

Projekt	Namn	Organisation, roll, m.m.
EP1:	Bo Svensson	LiU, professor, projektledare, Tema miljöförändring
	Jonas Ammenberg	LiU, doktor, Industriell miljöteknik
	Annika Björn	LiU, doktor, delvis projektledare, Tema miljöförändring
	Irene Bohn	Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR)
	Jörgen Ejlertsson	LiU, Professor Tema miljöförändring och Scandinavian Biogas
	Carolina Ersson	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik
	Anna Karlsson	LiU, doktor och Scandinavian Biogas
	Martin Karlsson	LiU, doktor, Molekylär bioteknik
	Jan Moestedt	Tekniska Verken i Linköping
	Erik Nordell	Tekniska Verken i Linköping
	Linda Olsson	LiU, doktorand, Energisystem
	Sepehr Shakeri Yekta	LiU, doktorand, Tema miljöförändring
	Mats Söderström	LiU, docent, Energisystem
	Lina Wiberg	Tekniska Verken i Linköping
EP2:	Jonas Ammenberg	LiU, doktor, projektledare, Industriell miljöteknik
	Anneli Ahlström	Scandinavian Biogas
	Irene Bohn	Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR)
	Mats Eklund	LiU, professor, Industriell miljöteknik
	Carolina Ersson	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik
	Roosbeh Feiz	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik
	Julia Fransson	Biototal
	Mattias Karlsson	Lantbrukarnas Riksförbund (LRF)
	Tomas Kjellquist	Biototal
	Johan Larsson	Scandinavian Biogas
	Bo Svensson	LiU, professor, Tema miljöförändring
	Sofie Villman	Lantmännen
	EP3:	Magnus Karlsson
Andreas Berg		Scandinavian Biogas
Emma Lindkvist		LiU, doktorand, Energisystem
Jenny Ivner		LiU, doktor, Energisystem
Stefan Jakobsson		Tekniska Verken i Linköping
Johan Niskanen		LiU, doktorand, Tema teknik och social förändring
Mats Söderström		LiU, docent, Energisystem
Sofie Villman		Lantmännen
EP4:	Niclas Svensson	LiU, doktor, projektledare, Industriell miljöteknik
	Mats Eklund	LiU, professor, Industriell miljöteknik
	Erik Erjebj	Lantbrukarnas Riksförbund (LRF)
	Carolina Ersson	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik
	Roosbeh Feiz	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik

	Björn Magnusson	Scandinavian Biogas
	Michael Martin	LiU, doktor, Industriell miljöteknik
	Britt Nilsson	Kemira
	Anders Nordenö	Tekniska Verken i Linköping/Svensk Biogas
EP5:	Jenny Palm	LiU, professor, projektledare, Tema teknik och social förändring
	Magdalena Fallde	LiU, doktor, biträdande projektledare, Tema teknik och social förändring
	Kajsa Ellegård	LiU, professor, Tema teknik och social förändring
	Linnea Hjalmarsson	LiU, doktorand, Tema teknik och social förändring
	Helena Kock-Åström	Linköpings kommun
	Jonas Malmborg	Tekniska Verken i Linköping
	Mattias Philipsson	Tekniska Verken i Linköping/Svensk Biogas
DP6:	Bo Svensson	LiU, professor, projektledare, Tema miljöförändring
	Annika Björn	LiU, doktor, projektledare, Tema miljöförändring
	Sepehr Shakeri Yekta	LiU, doktorand, Tema miljöförändring
	Pascal Ojong	LiU, tekniker, Tema miljöförändring
	Carina Sundberg	LiU, doktor, Tema miljöförändring
	Magali Marti Genero	LiU, doktorand, Tema miljöförändring
	Ryan Ziels	LiU, doktorand, Tema miljöförändring
	Matilda Svedlund	LiU, MSc, Tema miljöförändring
	Karl Gustavsson	LiU, MSc, Tema miljöförändring
	Jörgen Ejlertsson	LiU, Professor Tema miljöförändring och Scandinavian Biogas
	Martin Karlsson	LiU, doktor, Molekylär bioteknik
	Anna Karlsson	Scandinavian Biogas
	Irene Bohn	Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR)
	Jan Moestedt	Tekniska Verken i Linköping /Svensk Biogas
	Erik Nordell	Tekniska Verken i Linköping/Svensk Biogas
	Lina Wiberg	Tekniska Verken i Linköping
	Jonas Malmborg	Tekniska Verken i Linköping
	Britt Nilsson	Kemira
	Saku Liuksia	Kemira
	Kajsa Karisalmi	Kemira
	Sanna Paija	Kemira
DP7:	Martin Karlsson	LiU, doktor, projektledare, Molekylär bioteknik, InZymes Biotech
	Bengt Harald "Nalle" Jonsson	LiU, professor Molekylär bioteknik, InZymes Biotech
	Britt Nilsson	Kemira
	Anna Odnell (f.d. Hansson)	LiU, doktorand, Molekylär bioteknik
	Jörgen Ejlertsson	Scandinavian Biogas
	Lina Wiberg	Tekniska Verken i Linköping AB
DP8:	Karin Tonderski	LiU, docent, projektledare, Biologi

Andreas Berg	Scandinavian Biogas
Carolina Ersson	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik
Roozbeh Feiz	LiU, doktorand, Industriell miljöteknik
Outi Grönfors	Kemira
Linda Hedlund	Lantbrukarnas Riksförbund (LRF)
Karin Johannesson	LiU, doktorand, Biologi
Tomas Kjellquist	Biototal
Hjalmar Loeb	Kemira
Sören Nilsson Påledal	Tekniska Verken i Linköping
Även Jonas Malmborg (Tekniska Verken) och Britt Nilsson (Kemira) har bidragit	

6.5 Bilaga 5 - Översiktlig bild av metodiken i projektet EP2, för utvärdering av substrat



6.6 Bilaga 6 – Detaljerad information om måluppfyllelse avseende program- och centrumspecifika mål

I denna bilaga finns mer detaljerad information angående den måluppfyllelse som översiktligt redovisades och kommenterades i 5.2 samt presenterades i Tabell 6.

6.6.1 Andelen mycket nöjda intressenter

Vid uppföljning i maj 2014 svarade åtta deltagande och då var sju mycket nöjda och en nöjd, med ett snitt på 4,0 på en femgradig skala. Det var ett bra resultat som överträffade målet.

Vid uppföljning i december 2014 var resultatet något sämre. Då svarade alla tio, där fem var mycket nöjda och fem nöjda, med ett genomsnitt på 3,6. Resultatet är alltså strax under den satta målnivån. Kommentarer i samband med enkäten och övrig kommunikation med partner och medlemmar visar på områden som BRC bör stärka i inledningen av etapp 2.

6.6.2 Deltagande intressenter

Målsättningen var 9 och det blev slutligen 10 deltagande partners/medlemmar. Dessa presenteras i 3.4.

6.6.3 Programgemensamma möten

Totalt har 5 stormöten hållits under etappen, till vilka bland annat forskarna och medverkande personal från partners och medlemmar inbjudits.

1. Stormöte HT 2012 och Kick off, 2012-12-06 – 07 i Linköping
2. Stormöte VT 2013, 2013-05-28 – 29 i Linköping
3. Stormöte HT 2013, 2013-12-05 – 06 i Linköping
4. Stormöte VT 2014, 2014-05-27 – 28 i Linköping
5. Stormöte HT 2014, 2014-10-09 – 10 i Linköping

6.6.5 Vetenskapliga publikationer

I tabellen nedan redovisas 34 vetenskapliga publikationer för etapp 1. Det innefattar publikationer inom det forskningsprogram som Energimyndigheten finansierat (indikerat med program), det vill säga inom de åtta forskningsprojekten (EP1-5 och DP6-8). Ett flertal av dessa publikationer är i manuskriptform, eftersom publicering till stor del pågår när denna rapport skrivs. Vidare innefattar tabellen ett flertal publikationer med stark koppling till de nämnda forskningsprojekten, vilka dock utarbetats med annan finansiering. De kan ses som en del av ett bredare centrum som skapats kring forskningsprogrammet (indikeras därför med centrum). De olika posterna är ordnade i bokstavsordning, utifrån den första författarens efternamn. För flera av projekten under etapp 2 är ytterligare artiklar planerade, för vilka dock ej titlar och författare är bestämda. De är därför ej med i tabellen.

Nr		Projekt
1	<p>Titel: Systematic assessment of feedstock for an expanded biogas production. A multi-criteria approach</p> <p>Författare: Jonas Ammenberg & Roozbeh Feiz</p> <p>Typ/Tidskrift: Biogas Research Center Report</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Manuskript</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	EP2
2	<p>Titel: Rheological characteristics of reactor liquids of 12 full-scale biogas reactors</p> <p>Författare: Björn A, Segura del La Monja, Karlsson A, Ejlertsson J, and Svensson BH</p> <p>Typ/Tidskrift: Appl Energy</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Submitted</p> <p>Program/Centrum: Centrum</p>	EP1, DP6
3	<p>Titel: Effects of increasing the nitrogen content in the substrate when co-digesting food wastes from household and industry</p> <p>Författare: Irene Bohn, Sepehr Shakeri Yekta, Sanna Paija, Britt Nilsson, Bo H. Svensson, and Annika Björn</p> <p>Typ/Tidskrift: Int.sampubl.</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Manuskript</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	DP6
4	<p>Titel: Biogas production supported by excess heat - A systems analysis within the food industry</p> <p>Författare: Broberg Viklund, S. and Lindkvist, E.</p> <p>Typ/Tidskrift: Energy Conversion & Management</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Accepterad</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	EP3
5	<p>Titel: The methane potential of the Swedish pulp and paper industry – a screening of wastewater effluents</p> <p>Författare: Ekstrand E-M, Larsson M, Truong X-B, Cardell L, Borgström Y, Björn A, Ejlertsson J, Svensson BH, Nilsson F, and Karlsson A</p> <p>Typ/Tidskrift: Appl Energy 112: 507-517</p> <p>År: 2013</p> <p>Status: Publicerad</p> <p>Program/Centrum: Centrum</p>	EP1, EP3, DP6
6	<p>Titel: Biofuels for transportation in 2030: Feedstock and production plants in a Swedish county</p> <p>Författare: Ersson, C., Ammenberg, J. and Eklund, M</p>	EP2, EP3

Nr	Projekt	
Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Biofuels, July 2013, 4(4):379-395 2013 Publicerad Centrum	
7 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Biogödsel – ett gödselmedel i tiden? Ersson, C. BRC Rapport 2014 Manuskript Program	
8 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Municipally owned energy companies in local energy systems: System builders and hybrid organizations? Magdalena Falde and Jenny Palm Energy Policy 2014 Inskickad Program	EP5
9 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Toward a sustainable sociotechnical system of biogas for transport: the case of the city of Linköping in Sweden Magdalena Falde and Mats Eklund Journal of Cleaner Production 2014 Accepterad Program	EP5
10 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Systemanalys av biogaslösning i projektet Biogas av Fisk Roozbeh Feiz och Niclas Svensson Delrapport inom projektet: Biogas från Fisk 2014 Delrapporten klar, den kompletta rapporten planerad till våren 2015. Centrum	EP4
11 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	A multi-criteria approach to biogas digestate management Författare: Feiz, R., Johannesson, K., Ersson, C. & Tonderski, K.S. Resources , Conservation and Recycling 2014 Manuskript Program	
12 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Potential bioavailability and chemical forms of Co and Ni in biogas process – an evaluation based on sequential and acid volatile sulfide extractions. Gustavsson J, Shakeri Yekta S, Karlsson A, Skyllberg U, and Svensson BH Engineer Life Sci 13:572-579 2013 Publicerad Centrum	EP1, DP6
13 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Bioavailability of cobalt and nickel during anaerobic digestion of sulfur-rich stillage for biogas formation. Gustavsson J, Shakeri Yekta S, Sundberg C, Karlsson A, Ejlertsson J, Skyllberg U, and Svensson BH Appl Energy 112: 473–477 2013 Publicerad Centrum	EP1, DP6
14 Titel: Författare:	Activity, lifetime and effect of added exogenous enzymes for increased biogas production at waste water treatment plants Anna Hansson, Mikael Recktenwald, Bengt-Harald Jonsson, and Martin Karlsson	DP7

Nr	Projekt	
	Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Int.sampubl. 2014 Manuskript Program
15	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Mechanism of inactivation of exogenous enzymes added to biogas substrates and processes at waste water treatment plants. DP7 Anna Hansson, Mikael Recktenwald, Bengt-Harald Jonsson, and Martin Karlsson Int.sampubl. 2014 Manuskript Program
16	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Biogas as a boundary object for policy integration – the case of Stockholm. EP5 Linnea Hjalmarsson Tidskrift: Journal of Cleaner Production 2014 Accepterad Program
17	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Effects of chemical pretreatment on solids and nutrient separation in digestate from anaerobic digestion of organic waste. Johannesson, K. Grönfors, O. & Tonderski, K.S. Resources, Conservation and Recycling 2014 Manuskript Program
18	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Improvement of the biogas production process – Explorative project (EP1) EP1 Karlsson, A., Björn, A., Shakeri Yekta, S., Svensson, B.H. Biogas Research Center Report, 2014:2 2014 inskickad (in press) Program
19	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Biogas in new industries. Final report for BRC EP3 Magnus Karlsson, Jenny Ivner, Emma Lindkvist och Mats Söderström Biogas Research Center (BRC) report, 2014:3 2014 Manuskript Program
20	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Anaerobic digestion of alkaline bleaching wastewater from a Kraft pulp and paper mill using UASB technique. EP1, EP3, DP6 Larsson M, Truong X-B, Björn A, Ejlertsson J, Bastviken D, Svensson B.H Environmental Technology 2014 Accepted Centrum
21	Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Effects of trace element addition on process stability during anaerobic co-digestion of OFMSW and slaughterhouse waste DP6 Moestedt, J., Nordell, E., Shakeri Yekta, S., Lundgren, J., Genero Marti, M., Sundberg, C., Ejlertsson, J., Svensson, B.H., Björn, A. Waste Management 2014 Inskickad Program
22	Titel: Författare:	Zeolites relieves inhibitory stress from high concentrations of long chain fatty acids DP6, 7 Erik Nordell, Anna Hansson and Martin Karlsson

Nr	Projekt
Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Waste Management 33: 2659-2663 2013 Publicerad Centrum
23 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Enzymatic increase of sludge digestability. Odnell Anna. (f.d. Hansson) och Karlsson M. Biogas Research Center Report 2014 Manuskript Program – Slutrapport för BRC-projektet DP7.
24 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Waste(d) potential: A socio-technical analysis of biogas production and use in Sweden Linda Olsson and Magdalena Falde Journal of Cleaner Production 2014 Accepterad Program EP5
25 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Bridging the implementation gap: Combining backcasting and policy analysis to study renewable energy in urban road transport. Linda Olsson, Linnea Hjalmarsson, Martina Wikström and Mårten Larsson. Transport Policy 37:72-82 2014 Publicerad Centrum EP5
26 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Bioavailability of nickel, cobalt and cobalt sulfide for anaerobic co-digestion of food and slaughter house waste Sepher Shakeri Yekta, Jesper Lundgren, Erik Nordell, Jan Moestedt, Sanna Pajja, Britt Nilsson, Annika Björn, Anna Karlsson, and Bo H. Svensson Int.sampubl. 2014 Manuskript Program DP6
27 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Effect of sulfide on anaerobic digestion of primary and activated sludge: A multi-approach study Sepehr Shakeri Yekta, Magnus Willén, Annika Björn, Ryan Ziels, Matilda Svedlund, Anna Karlsson, Jörgen Ejlertsson, and Bo H Svensson Int.sampubl. 2014 Manuskript Program DP6
28 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	Equilibrium chemistry and kinetics of Fe, Co and Ni supplemented to semi-continuous stirred-tank biogas reactors fed with stillage Shakeri Yekta S, Lindmark A, Skyllberg U, Svensson BH J Hazardous Mat 2014 Accepted Centrum EP1, DP6
29 Titel: Författare: Typ/Tidskrift: År: Status: Program/Centrum:	The effect of iron additions on the chemical speciation of sulfur and trace metals in full scale continuous stirred tank biogas reactors Shakeri Yekta S, Björn A, Svensson BH, Skyllberg U. Appl Geochem 2014 In press Available online, http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.05.001 Centrum EP1, DP6

Nr		Projekt
30	<p>Titel: Pyrosequencing of bacterial and archaeal richness in 21 full-scale biogas digesters.</p> <p>Författare: Sundberg C, Abu Al-Soud W, Larsson M, Shakeri Yekta S, Alm E, Svensson BH, Sörensen SJ, and Karlsson A.</p> <p>Typ/Tidskrift: FEMS Microb Ecol. 85: 612-626</p> <p>År: 2013</p> <p>Status: Publicerad</p> <p>Program/Centrum: Centrum</p>	EP1, DP6
31	<p>Titel: Digestate processing techniques for plants co-digesting organic waste – a method review.</p> <p>Författare: Tonderski, K.S. & Johannesson, K.</p> <p>Typ/Tidskrift: Biogas Research Center Report</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Manuskript</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	DP8
32	<p>Titel: Impacts of co-digesting waste vegetable oil with primary and waste activated sludge on microbial community and process performance</p> <p>Författare: Ryan Ziels, Karl Gustavsson, Annika Björn, Anna Karlsson, Sepehr Shakeri Yekta, Bo H. Svensson and Jörgen Ejlertsson</p> <p>Typ/Tidskrift: Int.sampubl.</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Manuskript</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	DP6
33	<p>Titel: Improvement of probes for studies of LCFA-degrading syntrophs</p> <p>Författare: Ryan Ziels, Magali Genero Martí, Sepehr Shakeri Yekta, Bo H. Svensson, m.fl.</p> <p>Typ/Tidskrift: FEMS Microbial Ecology, Int.sampubl.</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Submitted</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	DP6
34	<p>Titel: Presence of syntrophic LCFA-degraders in 20 Swedish full-scale biogas reactors including co-digesters fed with different waste fractions and conventional reactors digesting primary and waste activated sludge</p> <p>Författare: Ryan Ziels, Magali Genero Martí, Sepehr Shakeri Yekta, Anna Karlsson, Carina Sundberg, Jörgen Ejlertsson, and Bo H. Svensson</p> <p>Typ/Tidskrift: Int.sampubl.</p> <p>År: 2014</p> <p>Status: Manuskript</p> <p>Program/Centrum: Program</p>	

6.6.6 Presentationer vid vetenskapliga konferenser

I tabellen nedan redovisas de 39 presentationer vid vetenskapliga konferenser som genomfördes under etapp 1. Det innefattar presentationer inom det forskningsprogram som Energimyndigheten finansierat (indikerat med program), det vill säga direkt kopplat till de åtta forskningsprojekten (EP1-5 och DP6-8). Vidare innefattar tabellen ett flertal presentationer med stark koppling till de nämnda forskningsprojekten, vilka dock främst är kopplade till projekt med annan finansiering. De kan ses som en del av ett bredare centrum som skapats kring forskningsprogrammet (indikeras därför med centrum). De olika posterna är ordnade i bokstavsordning, utifrån den första deltagarens (eller presentatörens/författarens) efternamn.

Nr		Typ & projekt
1	Titel: Systematic assessment of feedstock for an expanded biogas production Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige. Deltagare: Jonas Ammenberg År/Datum: 2014 Progr/Centr: Program	Muntlig, EP2
2	Titel: Extracellular polymers (EPS) and soluble microbial products (SMP) in reactor liquids of 12 full-scale biogas reactors Konferens: World Congress on Anaerobic Digestion (AD13); Spanien Deltagare ⁴ : Annika Björn, Sepehr Shakeri Yekta, Pascal Ojong, Jörgen Ejlertsson, and Bo H. Svensson År/Datum: 2013 Progr/Centr: Centrum	Poster, EP1, DP6
3	Titel: Biogas from pulp and paper industry effluents. Konferens: Conference of European Biogas Association (EBA), Alkmaar regionen, Nederländerna, 29 Sep – 2 Okt 2014 Deltagare: Ejlertsson, J., Karlsson, A., Björn A., Nilsson, F., Truong, X., Magnusson, B., Larsson, M., Ekstrand, E., Karlsson, M., Svensson, B.H. År/Datum: 2014 Progr/Centr: Centrum	Muntlig EP3
4	Titel: Biogas from pulp and paper industry effluents; Konferens: Gasdagarna, Båstad, Sverige, 23-24 oktober 2014 Deltagare: Ejlertsson, J., Karlsson, A., Björn A., Nilsson, F., Truong, X., Magnusson, B., Larsson, M., Ekstrand, E., Karlsson, M., Svensson, B.H. År/Datum: 2014 Progr/Centr: Centrum	Muntlig EP3
5	Titel: Biogas potential in fiber residues from pulp and paper mills Konferens: World Congress in Anaerobic Digestion (AD13), Santiago de Compostela, Spanien Deltagare: Ekstrand, E-M., Åhrman, S., Björn, A., Truong, X-B., Karlsson, A., Ejlertsson, J., Svensson, B.H. År/Datum: 25-28 juni 2013 Progr/Centr: Centrum	Poster, EP1, DP6
6	Titel: Protein extraction methods for gel based metaproteomics of extra-cellular proteins from anaerobic populations Konferens: BioMicroWorld, Madrid, Spanien Deltagare: Mikaela Eliasson, Jutta Speda och Martin Karlsson År/Datum: Oktober 2013 Progr/Centr: Centrum	Poster, DP7
7	Titel: Specific induction and identification of proteases from a methanogenic	Poster,

⁴ Deltagare innebär inte att samtliga nämnda personer deltog vid konferensen, utan i flera fall handlar det om bidrag till det arbete som presenterats.

Nr		Typ & projekt
	microbial community by induced differential metaproteomics. Konferens: 7th International Congress on Biocatalysis, 31 augusti – 4 september , Hamburg, Germany Deltagare: Mikaela Eliasson, Jutta Speda, Bengt-Harald Jonsson and Martin Karlsson. År/Datum: 2014 Progr/Centr: Centrum	DP7
8	Titel: Under what conditions does increased connectedness evolve in the biofuel industry? Konferens: Industrial Ecology: Strategy for Green Economy - 7th International Conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE2013); Ulsan, Sydkorea Deltagare: Carolina Ersson, Jonas Ammenberg och Mats Eklund År/Datum: Juni 2013 Progr/Centr: Centrum	Muntlig, EP2, EP4
9	Titel: Municipalities as system builders for sustainable energy solutions Konferens: Society for Social Studies of Science (4S) 2014, San Diego, USA Deltagare ⁵ : Magdalena Falde och Jenny Palm År/Datum: 2014 Progr/Centr: Program	Muntlig, EP5
10	Titel: Municipalities as system builders for biogas development: Drivers, barriers, boundaries Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige. Deltagare: Magdalena Falde År/Datum: 2014 Progr/Centr: Program	Muntlig, EP5
11	Titel: Analyzing critical factors influencing economic and environmental performance of biofertilizers management systems Konferens: IBBA workshop on digestate treatment, Höör, Sverige Deltagare: Roozbeh Feiz and Karin Tonderski År/Datum: 2013 Progr/Centr: Program	Muntlig, DP8
12	Titel: Modeling the environmental and economic viability of vehicle fuel-grade biogas production systems from a life-cycle perspective Konferens: Industrial Ecology: Strategy for Green Economy - 7th International Conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE2013); Ulsan, Sydkorea Deltagare: Roozbeh Feiz, Mats Eklund, and Niclas Svensson År/Datum: Juni 2013 Progr/Centr: Centrum	Muntlig, EP4
13	Titel: Evaluation of solid-liquid separation options in digestate processing Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige Deltagare: Karin M. Johannesson, Roozbeh Feiz, Outi Grönfors & Karin S. Tonderski År/Datum: 2014 Progr/Centr: Program	Poster, DP8
14	Titel: Anaerobic digestion of alkaline bleaching wastewater from a kraft pulp and paper mill Konferens: World Congress in Anaerobic Digestion (AD13), Santiago de Compostela, Spanien Deltagare: Larsson, M., Truong, X-B., Bastviken, D., Björn, A., Ejlertsson, J., Svensson, B.H., Karlsson, A År/Datum: 25-28 juni 2013	Muntlig, EP1, DP6

⁵ Deltagare innebär inte att samtliga nämnda personer deltog vid konferensen, utan i flera fall handlar det om bidrag till det arbete som presenterats.

Nr			Typ & projekt
	Progr/Centr: Centrum		
15	<p data-bbox="240 297 1257 353">Titel: Anaerobic wastewater treatment and biogas production at TMP and CTMP mills in Sweden</p> <p data-bbox="240 360 1257 394">Konferens: International Mechanical Pulping Conference (IMPC), Helsingfors, Finland</p> <p data-bbox="240 400 1257 456">Deltagare: Larsson, M., Truong, X-B., Ejlertsson, J., Bastviken, D., Björn, A., Svensson, B.H., Nilsson, F., Karlsson, A.</p> <p data-bbox="240 463 1257 497">År/Datum: 3-5 Juni, 2014</p> <p data-bbox="240 504 1257 517">Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig, EP1,3, DP6	
16	<p data-bbox="240 528 1257 584">Titel: The combined effects of cobalt and nickel additions on anaerobic co-digestion of food and slaughter house waste</p> <p data-bbox="240 591 1257 624">Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige.</p> <p data-bbox="240 631 1257 687">Deltagare: Jan Moestedt, Erik Nordell, Sepehr Shakeri Yekta, Jesper Lundgren, Annika Björn, Jörgen Ejlertsson, and Bo H. Svensson</p> <p data-bbox="240 694 1257 728">År/Datum: 2014</p> <p data-bbox="240 734 1257 748">Progr/Centr: Program</p>	Muntlig, DP6	
17	<p data-bbox="240 759 1257 815">Titel: Activity and life time of commercial enzymes in excess sludge fluid and digester fluid</p> <p data-bbox="240 822 1257 855">Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige</p> <p data-bbox="240 862 1257 896">Deltagare: Anna Odnell (f.d. Hansson), Bengt-Harald Jonsson, and Martin Karlsson</p> <p data-bbox="240 902 1257 936">År/Datum: 2014</p> <p data-bbox="240 943 1257 947">Progr/Centr: Program</p>	Muntlig, DP7	
18	<p data-bbox="240 958 1257 1014">Titel: Addition of endogenous extra-cellular cellulolytic enzymes result in increased biogas production rate and yield from lignocellulosic material</p> <p data-bbox="240 1021 1257 1055">Konferens: BioMicroWorld, Madrid, Spanien</p> <p data-bbox="240 1061 1257 1117">Deltagare: Anna Odnell (f.d. Hansson), Jutta Speda, Mikaela Eliasson och Martin Karlsson</p> <p data-bbox="240 1124 1257 1158">År/Datum: Oktober 2013</p> <p data-bbox="240 1164 1257 1178">Progr/Centr: Centrum</p>	Poster, DP7	
19	<p data-bbox="240 1189 1257 1245">Titel: Activity, life time and effect of exogenous enzymes in biogas processes of waste water treatment plants.</p> <p data-bbox="240 1252 1257 1308">Konferens: 7th International Congress on Biocatalysis, 31 augusti – 4 september i Hamburg</p> <p data-bbox="240 1314 1257 1348">Deltagare: Anna Odnell (f.d. Hansson), Bengt-Harald Jonsson och Martin Karlsson.</p> <p data-bbox="240 1355 1257 1388">År/Datum: 2014</p> <p data-bbox="240 1395 1257 1408">Progr/Centr: Program</p>	Poster, DP7	
20	<p data-bbox="240 1420 1257 1476">Titel: Equilibrium and kinetics of Fe, Ni and Co supplemented to semi-continuous stirred tank biogas reactors fed with stillage.</p> <p data-bbox="240 1482 1257 1516">Konferens: Sepehr Shakeri Yekta, Bo H. Svensson and Ulf Skyllberg (inbjuden)</p> <p data-bbox="240 1523 1257 1556">Deltagare: Workshop on STXM; Umeå, Sverige</p> <p data-bbox="240 1563 1257 1597">År/Datum:</p> <p data-bbox="240 1603 1257 1608">Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig, EP1, DP6	
21	<p data-bbox="240 1619 1257 1675">Titel: Evaluation of the effect of sulfide removal by addition of Fe to biogas reactors on Co and Ni speciation and biouptake processes.</p> <p data-bbox="240 1682 1257 1715">Konferens: Biogas Science 2014, Vienna, Austria</p> <p data-bbox="240 1722 1257 1756">Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta, Bo Svensson</p> <p data-bbox="240 1762 1257 1796">År/Datum: 2014, 26 – 30 October</p> <p data-bbox="240 1803 1257 1807">Progr/Centr: Program</p>	Muntlig DP6	
22	<p data-bbox="240 1818 1257 1852">Titel: Sulfur and metal speciation in biogas reactors</p> <p data-bbox="240 1859 1257 1892">Konferens: World Congress on Anaerobic Digestion (AD13); Spanien</p> <p data-bbox="240 1899 1257 1955">Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta, Ulf Skyllberg, Annika Björn, Jenny Gustavsson, Anna Karlsson, and Bo H. Svensson</p> <p data-bbox="240 1962 1257 1995">År/Datum: 2013</p> <p data-bbox="240 2002 1257 2007">Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig EP1, DP6	
23	<p data-bbox="240 2018 1257 2045">Titel: Equilibrium and kinetics of Fe, Ni and Co supplemented to semi-continuous</p>	Muntlig,	

Nr		Typ & projekt
	stirred tank biogas reactors fed with stillage. Konferens: 3rd International Conference on Research Frontiers in Chalcogen Cycle Science and Technology; Nederländerna Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta, Amanda Lindmark, Ulf Skyllberg, and Bo H. Svensson År/Datum: 2013 Progr/Centr: Centrum	EP1, DP6
24	Titel: Effect of sulfide on anaerobic digestion of primary and activated sludge: A multi-approach study Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige. Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta, Magnus Willén, Annika Björn, Ryan Ziels, Pascal Ojong, Matilda Svedlund, Anna Karlsson, Jörgen Ejlertsson, and Bo H Svensson År/Datum: 2014 Progr/Centr: Program	Muntlig, DP6
25	Titel: Chemical speciation of sulfur and metals in biogas processes Konferens: Workshop - COST Action on European network on ecological functions and trace elements in anaerobic biotechnologies, Porto, Portugal Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta, Ulf Skyllberg, Annika Björn, and Bo H. Svensson År/Datum: 5-7 Mars, 2014 Progr/Centr: Centrum	Muntlig, EP1, DP6
26	Titel: Modeling of trace metal (TM) speciation - Methodological approaches to study TM speciation and bioavailability in anaerobic environments and reactors Konferens: Workshop - COST Action on European network on ecological functions and trace elements in anaerobic biotechnologies, Vienna, Austria Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta, Bo Svensson År/Datum: 2014, 27 October Progr/Centr: Program	Muntlig DP6
27	Titel: The role of sulfur as a regulator for chemical speciation and bioavailability of iron, cobalt, and nickel during biogas formation. Konferens: The 6th GERG (the European Gas Research Group) academic network event, Copenhagen, Denmark. Deltagare: Sepehr Shakeri Yekta År/Datum: 2014, 17 – 19 September Progr/Centr: Program	Poster DP6
28	Titel: Induced differential metaproteomics for the identification of cellulases in a methanogenic microbial community Konferens: BioMicroWorld, Madrid, Spanien Deltagare: Jutta Speda, Bengt-Harald Jonsson och Martin Karlsson År/Datum: Oktober 2013 Progr/Centr: Centrum	Poster, DP7
29	Titel: Induced differential metaproteomics: identification of cellulases in a methanogenic microbial community at thermophilic conditions. Konferens: 7th International Congress on Biocatalysis, 31 augusti – 4 september , Hamburg, Germany Deltagare: Jutta Speda, Bengt-Harald Jonsson and Martin Karlsson År/Datum: 2014 Progr/Centr: Centrum	Poster, DP7
30	Titel: Biogas production in Sweden - role of nutrient composition and effects on microbial composition, degradation capacity and rheology Konferens: IEA Bioenergy Task 36 Workshop; Sverige. Deltagare: Bo H. Svensson (inbjuden) År/Datum: 2014 Progr/Centr: Centrum	Muntlig EP1, DP6

Nr		Typ & projekt
31	<p>Titel: The trace element revolution in biogas production</p> <p>Konferens: 3rd International Conference on Research Frontiers in Chalcogen Cycle Science and Technology; Nederländerna.</p> <p>Deltagare: Bo H. Svensson (inbjuden keynote)</p> <p>År/Datum: 2013</p> <p>Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig EP1, DP6
32	<p>Titel: Microbiologist and the biogas process – do they difference?</p> <p>Konferens: 2nd International Conference on Biogas Microbiology (ICBM), Uppsala, Sverige.</p> <p>Deltagare: Bo. H. Svensson (inbjuden keynote)</p> <p>År/Datum: 10-12 Juni, 2014</p> <p>Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig, EP1, DP6
33	<p>Titel: Micronutrients and microorganisms in biogas processes: fundamentals and experiences.</p> <p>Konferens: Workshop - COST Action on European network on ecological functions and trace elements in anaerobic biotechnologies, Porto, Portugal</p> <p>Deltagare: Bo H. Svensson, Anna Karlsson, Carina Sundberg, Ryan Ziels, Jenny Gustavsson, Madeleine Larsson, Sepehr Shakeri Yekta, Waleed Abu Al-Soud, Sören Sörensen Annika Björn, and Ulf Skyllberg</p> <p>År/Datum: 5-7 Mars, 2014</p> <p>Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig, EP1, DP6
34	<p>Titel: Micronutrients and the biogas process - effects on the microbial community composition</p> <p>Konferens: International Bioenergy Conference 2014, Manchester, Storbritannien</p> <p>Deltagare: Bo H. Svensson, Anna Karlsson, Carina Sundberg, Ryan Ziels, Jenny Gustavsson, Madeleine Larsson, Sepehr Shakeri Yekta, Waleed Abu Al-Soud, and Sören Sörensen</p> <p>År/Datum: 11-13 Mars, 2014</p> <p>Progr/Centr: Centrum</p>	Muntlig, EP1, DP6
35	<p>Titel: Micronutrients and microbial community composition in biogas processes.</p> <p>Konferens: Annual Assembly of the Danish Microbial Society, Copenhagen, Denmark Nov. 10, 2014</p> <p>Deltagare: Bo Svensson (inbjuden)</p> <p>År/Datum: 2014</p> <p>Progr/Centr: Program</p>	Muntlig
36	<p>Titel: Environmental and economic risk in Biogas systems- the role of uncertainties</p> <p>Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige.</p> <p>Deltagare: Niclas Svensson, Roozbeh Feiz</p> <p>År/Datum: 2014</p> <p>Progr/Centr: Program</p>	Muntlig, EP4
37	<p>Titel: Impacts of co-digesting waste vegetable oil with primary and waste activated sludge on microbial community and process performance</p> <p>Konferens: Green Gas Research Outlook (GGROS) 2014, Gävle, Sverige.</p> <p>Deltagare: Ryan Ziels, Pascal Ojong, Karl Gustavsson, Annika Björn, Anna Karlsson, Sepehr Shakeri Yekta, Bo H. Svensson, and Jörgen Ejlertsson</p> <p>År/Datum: 2014</p> <p>Progr/Centr: Program</p>	Muntlig, DP6
38	<p>Titel: Quantative importance of syntrophic beta-oxidation communities in biogas reactors degrading oeic acid</p> <p>Konferens: 2nd International Conference on Biogas Microbiology (ICBM), Uppsala, Sverige</p> <p>Deltagare: Ryan Ziels, HL Gough, Anna Karlsson, Patrik Johansson, DH Stensel, Bo H. Svensson</p>	Muntlig, EP1, DP6

Nr		Typ & projekt
	År/Datum: 10-12 Juni, 2014 Progr/Centr: Centrum	
39	Titel: Effects of trace element addition on process stability during anaerobic co-digestion of OFMSW and slaughterhouse waste Konferens: Konferens: Fifth International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice 2014. Italien Deltagare: Moestedt, J., Nordell, E., Shakeri Yekta, S., Lundgren, J., Genero Marti, M., Sundberg, C., Ejlertsson, J., Svensson, B.H., Björn, A. År/Datum: 2014 Progr/Centr: Program	DP6

6.6.7 Forskarutbyten

Antal forskarutbyten under etappen: 2 st

1. Magdalena Fallde

Från: Tema teknik och social förändring

TEMA

Linköpings universitet

Besökt: Industriell miljöteknik, IEI, Linköpings universitet

Projekt EP5

Tidsperiod (datum): november 2013 - januari 2014

2. Ryan Ziels, doktorand

Från: Department of Civil and Environmental Engineering

University of Washington, Seattle, USA

Besökt: Tema vatten i natur och samhälle, TEMA, Linköpings universitet

Projekt DP6

Tidsperiod (datum): juni 2013 - januari 2014

6.6.8 Examensarbeten

I tabellen nedan redovisas de examensarbeten som genomförts i relation till respektive projekt, i den ordning de rapporterats till föreståndaren. Många studenter väljer att göra rapporterna tillgängliga elektroniskt via systemet Diva: (<http://liu.diva-portal.org/smash/search.jsf?dswid=-4816>)

Nr		Projekt
1	Titel: Bioavailability and effects of cobalt sulfide in anaerobic co-digestion Studenter: Jesper Lundgren	DP6
2	Titel: The effects on trace element speciation by the addition of Na ₂ S to iron rich sewage sludge in laboratory-scale biogas reactors Studenter: Magnus Willén	DP6
3	Titel: Effects of sulfide additions on anaerobic degradation capacity of acetate, propionate, phenyl acetate and oleic acid and on microbial populations in iron-rich sewage sludge Studenter: Matilda Svedlund	DP6
4	Titel: The microbial capacity to convert acetate, propionate, phenyl acetate and oleic acid to methane in batch experiments from reactors co-digesting PS/WAS with organic fraction of household waste and fat, respectively Studenter: Karl Gustavsson	DP6
5	Titel: System analysis of a de-watering technology for treating biogas digestate Studenter: Ambarish Karunanithi	DP8
6	Titel: Effects of Trace Elements on Microbial Community Shifts During Degradation of Long Chain Fatty Acids Studenter: Patrick Johansson	DP6
7	Titel: Systematisk bedömning av våtmarksväxter som substrat för biogasproduktion Studenter: Emelie Haglund	EP2
8	Titel: Titel: Systematic Assessment of Straw as a Potential Biogas Substrate in Co-digestion with Manure Studenter: Sutina Duong	EP2
9	Titel: Systematic Assessment of Ley in Co-Digestion with Solid Cow Manure for Biogas Production: Application of a Multi-Criteria Assessment Framework on a Specific Case Studenter: Madeleine Gabrielson	EP2
10	Titel: Utvärdering av kvalitén på vatten till anaerobt reningssteg vid kartongproducerande industri – Temperatur, mängd suspenderade ämnen samt flöden på Fiskeby Board AB Studenter: Nicklas Jonsson & Jonas Kronqvist	EP3
11	Titel: Life cycle assessment of dry digestion of food waste Studenter: Hampus Holgersson, manuskript	EP4
12	Titel: Designkriterier för produktiva våtmarker – Hur bör framtidens biogasproducerande mark se ut? Arbetet resulterade också i en broschyr utgiven av Calluna på uppdrag av Biototal med titeln "Våtmarker för biomassaproduktion" Studenter: Kristoffer Hellberg	DP8, EP2
13	Titel: Viscosity effects when co-digesting iron-rich sewage sludge with organic fraction of household waste (OFHHW), fat or additions of disodium sulfide Studenter: Veronika Granat	DP6
14	Titel: Energy and nutrient recovery from dairy manure. Process design and economic performance of a farm-based system. Studenter: Filip Celander och Johan Haglund	EP2, EP4

6.6.9 Adjungerade forskare från industrin

Antal adjungerade forskare från industrin under etappen:

1. Namn: Jörgen Ejlertsson, adjungerad professor
Från: Scandinavian Biogas Fuels AB
Besökt: Tema vatten i natur och samhälle, TEMA
Projekt EP1, DP6
2. Namn: Martin Karlsson, Dr (projektledare för DP7)
Från: Rational Enzyme Mining AB
Besökt: Molekylär bioteknik, IFM
Projekt DP7

6.6.10 Patent

Inga patent under etappen, vilket inte heller var förväntat.

6.6.11 Medicexponering

1. Biogascenter blir dubbelt så starkt
Media: Press release LiU
Datum: 2014-12-15
2. Biogascentrum siktar på nya lösningar
Media: Energigas nr 1 2014
Datum: 2014-02-25
3. Här får man bruk av avloppsvattnet: Sju pappersbruk i landet deltar i ett forskningsprojekt där organiskt materiel i avloppsvatten ska förvandlas till biogas.
Media: Norrköpings tidningar
Datum: 2014-02-07
4. Intervju med Lina Wiberg om biogas och BRC
Media: Tekniska verkens tidning - Du + vi tillsammans
Datum: 2013-05-20
5. Intervju med Per Mårtensson om BRC
Media: Energivärlden nr 1
Datum: 2013-04-01
6. Start för biogascentrum vid LiU
Media: Press release LiU
Datum: 2012-11-01
7. Unlocking the potential of biocatalysts
Media: International Innovation, Nordic Focus
Internationell publikation
Datum: September 2012
8. Linköping får biogascentrum
Media: Press release LiU
Datum: 2012-06-14
Kommentar: Inslag om nr1 även i Östnytt SVT 2014-02-04

6.6.12 Presentationer vid annat än vetenskapliga konferenser

1. Titel: Frukostseminarium om biogasforskning
Talare: Mats Eklund
Typ av presentation: seminarium 2014-06-17 i Göteborg
Arrangör: Biogas Väst
2. Titel: Hantering av biogödsel – utmaningar och möjligheter
Talare: Karin Tonderski
Typ: Seminarium Östergötlands Biogasdag, 2014-01-30 i Linköping
Arrangör: Energikontoret Östra Götaland, AgroÖst, BRC och Biogas Öst.
3. Titel: 1) Biofertilizer management and strategies; 2) A systems analysis tool for evaluating and comparing different strategies for biofertiliser management strategies; 3) The use of wetlands and aquatic plants for nutrient management and biomass production.
Talare: Karin Tonderski
Typ av presentation: föreläsningsserie för doktorander och forskare 2013-12-17
Arrangör: Institute of Agrophysics of Polish Academy of Science
Plats Lublin, Polen
4. Titel: Hållbara lösningar i den biobaserade ekonomin
Talare: Mats Eklund
Typ av presentation: seminarium i samband med H.K.H. Kronprinsessans besök i Norrköping 2013-12-04
Arrangör: Länsstyrelsen Östergötland
5. Titel: Presentation of BRC and Tema-V biogas research during visit by QUESTOR for initiation of ATBEST
Talare: Bo Svensson and Jörgen Ejlertsson
Typ av presentation: seminarium
Arrangör: Tema V
6. Titel: Framgångsfaktorer vid skolutveckling – Hur når vi barn och ungdomar i viktiga framtidsfrågor som rör energi, miljö och naturresursanvändning?
Talare: Annika Björn
Typ av presentation: seminarium EnergiTing Sydost 2013-11-07
Arrangör: Energikontor Sydost
Plats: Karskrona
7. Titel: Biogas Research Center and systems for efficient use of biofertilizers.
Talare: Karin Tonderski
Typ av presentation: Arbetsmöte 2013-11-06
Arrangör: Avfall Sverige, Arbetsgrupp Biologisk Återvinning
Plats: Lidköping
8. Titel: Systemstudier vid Biogas Research Center, Linköping
Talare: Mats Eklund

- Typ av presentation: workshop om FoU-behov för biogas inom system 2013-10-30
Arrangör: Energigas Sverige
9. Titel: Biogasforskning för ökad lönsamhet
Talare: Mats Eklund
Typ av presentation: seminarium i samband med Gasdagarna 2013-10-23
Arrangör: Energigas Sverige
10. Titel: Tillförsel av mikronäringsämnen
Talare: Jörgen Ejlertsson
Typ av presentation: workshop om FoU-behov för biogas inom process 2013-10-02
Arrangör: Biogas Syd
Plats: Malmö
11. Titel: BRC
Talare: Per Mårtensson
Typ av presentation: i samband med samrådsmöte Biogas Syd 2013-09-17
Arrangör: Biogas Syd
12. Titel: BRC
Talare: Per Mårtensson
Typ av presentation: i samband med styrelsemöte AgroÖst 2013-08-20
Arrangör: Biogas Syd
13. Titel: BRC
Talare: Per Mårtensson
Typ av presentation: Kungliga Skogs- och Lantbruksakademins forskningskommitté besöker Östergötland 2013-06-19
Arrangör: Vreta Kluster
14. Titel: System och teknik för effektiv användning av biogödsel
Talare: Karin Tonderski
Typ av presentation: Kungliga Skogs- och Lantbruksakademins forskningskommitté besöker Östergötland 2013-06-18
Arrangör: Vreta Kluster
15. Titel: Biogas.
Talare: Karin Tonderski
Typ av presentation: föreläsning inom doktorandkurs 'Clean technologies for waste processing' 2013-06-15
Arrangör: Technical University of Gdansk
Plats Gdansk, Polen
16. Titel: BRC
Talare: Per Mårtensson, Mats Eklund och BO Svensson
Typ av presentation: i samband med besök av SGC Fokusgrupp Rötning 2013-05-02
Arrangör: SGC

17. Titel: BRC
Talare: Mats Eklund
Typ av presentation: i samband med besök av USAs ambassadör 2013-05-30
Arrangör: LiU
18. Titel: Presentation of BRC and Tema-V biogas research during visit by the Stockholm Vietnamese Ambassador
Talare: Bo Svensson and Jörgen Ejlertsson
Typ av presentation: seminarium i samband med ambassadörens besök 2013-04-26
Arrangör: Linköpings kommun/LiU
Plats: LiU
19. Titel: BRC och projekt
Talare: Per Mårtensson, Magdalena Falde, Bo Svensson
Typ av presentation: presentation i samband med besök av Biogas Vädersträck I Linköping 2013-04-24
Arrangör: Biogas Öst
20. Titel: BRC and key projects
Talare: Per Mårtensson, Bo Svensson, Jonas Ammenberg, Martin Karlsson, and Roozbeh Feiz
Typ av presentation: i samband med besök av Polish Academy of Science and Technical University of Gdansk 2013-04-11
Arrangör: BRC
21. Titel: BRC
Talare: Per Mårtensson
Typ av presentation: i samband med konferensutflykt Urban Agricultural Summit 2013-01-29
Arrangör: SP
22. Titel: BRC
Talare: Mats Eklund
Typ av presentation: i samband med besök av Indiens ambassadör 2013-01-18
Arrangör: LiU
23. Titel: BRC
Presentatör: Per Mårtensson
Typ av presentation: utställningsbås i samband med Miljöteknikmingen 2013-01-10
Arrangör: LiU
24. Titel: Swedish experiences from using biogas as fuel
Talare: Karin Tonderski
Typ av presentation: seminarium (en dag) 2013-01-09
Arrangör: BioEcoChem cluster in Tricity, The Polish Biogas Associaton, Gdynia Municipality
25. Titel: BRC
Talare: Bo Svensson

Typ av presentation: i samband med Temadag Resursförädling och Avfallsminimering 2012-11-21

Arrangör: NSR

26. Titel: BRC

Talare: Per Mårtensson

Typ av presentation: i samband med Temadag Biogas från matavfall och framtida substrat 2012-11-20

Arrangör: SP

27. Titel: BRC

Talare: Per Mårtensson

Typ av presentation: i samband med styrelsemöte för Energikontoret Östra Götaland 2012-10-12

Arrangör: Energikontoret Östra Götaland

28. Titel: BRC

Presentatör: Per Mårtensson

Typ av presentation: utställningsbås i samband med Energi Öst 2012-10-05

Arrangör: Energikontoret Östra Götaland

6.6.13 Öppna större seminarier

Antal, större öppna seminarier som BRC arrangerat eller medarrangerat under etappen

1. Östergötlands Biogasdag, 2014-01-30 i Linköping

Organiseras av Energikontoret Östra Götaland, AgroÖst, BRC och Biogas Öst.

2. Green Gas Research Outlook Sweden, 2014-03-24 – 25 i Gävle

Ny årlig mötesplats för forskare som arbetar med grön gas lösningar i Sverige

Organiseras av SGC, BRC, KTH, LU och SLU

Kommentar: Med tanke på det relativt stora existerande utbudet av konferenser och seminarier, har vi beslutat att samarbeta med andra aktörer i stället för att själva anordna nya mötesplatser.

6.6.14 Nya företag bildade ur centrumets forskning

Inga nya företag bildade under etappen.

6.6.15 Doktorsexamina

Målet för etappen var 1 doktorsavhandling, för Sepehr Shakeri Yekta. Planen är när denna slutrapport skrivs att försvara avhandlingen januari 2015.

Avhandling: Chemical Speciation of Sulfur, Iron, Cobalt, and Nickel in Biogas Reactors – Effects on the bioavailability processes. Närmast ligger projekten EP1 och DP6.

6.6.16 Licentiatexamina

Licentiatexamina under etapp 1:

1. Carolina Ersson

Licentiatavhandling: Conditions for resource-efficient production of biofuels for transport in Sweden

Projekt EP2

2. Roozbeh Feiz

Licentiatavhandling: Industrial Ecology and Development of Production Systems: Analysis of the CO2 Footprint of Cement

Projekt EP2

Kommentar: Carolina Ersson och Roozbeh Feiz erhöjll licentiatexamen under våren 2014. Carolinas avhandling är mycket nära kopplad till BRC och bland annat projekten EP2-4, medan Roozbehs till stor del bygger på projekt utförda innan BRC, där dock metodiken som bland annat gäller multikriteriebedömning har vidareutvecklats och anpassats inom EP2 och där avsikten varit att fortsätta utveckla denna inom biobränsle/biogasområdet.

6.6.17 EU-projekt

1. Titel och program: COST action, Domain, Earth System Science and Environmental Management: Action no. and title: ES1302 "European Network on Ecological Functions of Trace Metals in Anaerobic Biotechnologies"

Projekt DP6, EP1

Deltagande organisationer: Medlemmar från Spanien, Finland, Nederländerna, Storbritannien, Sverige, Tyskland, Österrike m.fl.

Koordinator: Fernando G. Feroso, Instituto de la Grasa (C.S.I.C.), Sevilla, Spain

2. Titel och program: Framework 7, Marie Curie ITN: ATBEST (Advanced Technologies for Biogas Efficiency Sustainability and Transport)

Projekt DP6, EP1

Deltagande organisationer: Medlemmar från Storbritannien, Irland, Sverige och Tyskland

Koordinator: Simon Murry, The QUESTOR Centre, Belfast, Northern Ireland

3. Titel och program: Intelligent Energy Europe, EPIC 2020

Projekt EP4

Deltagande organisationer: Medlemmar från Sverige, Grekland, Italien, Litauen och Tyskland

Koordinator: Gabriella Eliasson, Malmö kommun

LiU Biologi, Karin Tonderski, deltar i arbetet inom ramen för ett projekt CIRCUMNUT om näringsåtervinning från organiskt avfall, finansierat av Baltic Sea Program Seed Money Facility, där planen är att IFM blir en partner i den ansökan om ett fullstort projekt som arbetas fram under vintern 2014/2015.

6.6.18 Kurser i forskarutbildning med betydande inslag som är mycket relevanta med tanke på BRCs vision och verksamhet

1. Industrial Symbiosis, 6 + 4 hp

En doktorandkurs som ges vid avdelningen för Industriell Miljöteknik och som bland annat handlar om möjligheter och utmaningar när det gäller att åstadkomma synergistiska, resurseffektiva lösningar i industrin och det vidare samhället. Inriktning är därmed högrelevant med tanke på BRC och biogaslösningar berörs i kursen.

2. SGC:s Gasakademi, sommarinternat.

Forskare inom BRC har såväl 2013 som 2014 bidragit som föreläsare/lärare vid SGC:s sommarinternat. Det handlar om kurser som riktar sig till doktorander men även exempelvis ingenjörer inom industrin.

6.6.19 Kurser i grundutbildning med betydande inslag som är mycket relevanta med tanke på BRCs vision och verksamhet

1. Biofuels for transportation, 6 hp

Utbildningsprogram: Maskinteknik; Energi- och miljöteknik; studenter från flera olika program brukar gå kursen

2. Miljösystemanalytiska verktyg, 6 hp

Utbildningsprogram: Civilingenjör i Energi; Miljö och Management

Kommentar: Projektkurs där en livscykelanalys på miljöpåverkan från användande av spårämnen i biogasreaktorn utförs.

3. The biogas process (avancerad nivå), 7,5 hp

Utbildningsprogram: Teknisk biologi; Kemisk biologi; Fristående kurs

4. Material för hållbar energiproduktion, 7,5 hp

Utbildningsprogram: Kemiprogrammet

5. Miljöskydd och Miljökonsekvensbeskrivningar (NBIC 48), 9 hp

Utbildningsprogram: Biologi

Kommentar: Biogas som en del av avfallshantering har lyfts fram mer och i år deltog studenterna på Biogasdagen inom ramen för kursen. Inslaget i avfallsdelen är stort, men det är bara en del av kursen.

6. Cellbiologi och mikrobiella processer (TFBI22), 6hp

Utbildningsprogram: Industriell ekonomi

Kommentar: Halva kursen är fokuserad på mikrobiella processer kring nedbrytning av organiskt material, både kompostering och anaerob rötnings, och studenterna gör ett mindre projekt med nedbrytning av egenvalt avfallsslåg.

7. I "projektkurser" på 12 hp har forskare från både Energisystem och Industriell Miljöteknik tillhandahållit och handledt projekt som har mycket hög relevans för BRC och som i flera fall bidrar till genomförandet av forskningsprojekten.

Kommentar: Avdelningen för Industriell Miljöteknik ger flera kurser som är mycket relevanta avseende BRCs verksamhet och där projekten och aktiviteterna inom BRC bidrar till utveckling och

inslag i kurserna. Exempelvis kan kurserna Miljöteknik, Miljömanagement, Hållbar Stadsutveckling, Miljöanpassning av produkter, Avancerad miljödriven produktutveckling, samt Industrial Ecology nämnas. Avdelningen för Energisystem ansvarar för flera kurser där systemaspekter är i fokus och biogas behandlas som ett av flera energislag, såsom Uthålliga energisystem, Energiresurser och Energiteknik - systembetraktelser.

6.6.20 Ansökningar om finansiering i närliggande område

1. Projekttitel: Valorization of by-products and raw material inputs in the biofuel industry
Finansiär: Energimyndigheten
Belopp: 130 300 SEK
Period: 2013-11-01 – 2013-12-31
Status: sökt
2. Projekttitel: Closing the loop? Nutrient recycling in biofuel production systems
Finansiär: Energimyndigheten
Belopp: 984 000 SEK
Period: 2014-01-01 – 2015-06-30
Status: sökt
3. Projekttitel: Offentlig upphandling som styrmedel för att främja spridning och användning av förnybara drivmedel
Projektledare: Jamil Khan, Miljö- och energisystem, Lunds universitet
Finansiär: f3/Energimyndigheten
Belopp: 1 995 000 SEK
Period: 2014-04-01 – 2016-03-31
Status: sökt
4. Projekttitel: Etablering/effektivisering av biogasproduktion inom pappers- och massaindustrin
Finansiär: Energimyndigheten, industri, LiU
Budget: 14,6 miljoner
Period: 2013-06-15 – 2015-06-30
Status: beviljad
5. Projekttitel: Reglering av kritisk biotillgänglighet hos spårämnen i biogasprocessen - kemisk speciering av Co och Ni medhuvudvikt på organiska svavelföreningar
Finansiär: Energimyndigheten
Belopp: 7,2 miljoner
Period: 2014-07-01 – 2017-06-30
Status: sökt
6. Projekttitel: Enzymatisk Uppgradering av Biogas

Finansiär: Energimyndigheten + Industrin

Belopp: Sökt 2 483 488 kr (total budget 6 191 350)

Period: 2013-11-01 – 2015-12-31

Status: beviljad

7. Projekttitel: Characterization of Novel Biogas Enzymes Identified by Rational Enzyme Mining

Finansiär: VINNOVA + Industrin

Belopp: Sökt 1 641 187 kr (total budget 3 282 374)

Period: 2014-04-01 – 2015-05-31

Status: sökt

8. Projekttitel: Förstudie: Testbädd för biogödsel - flaskhals för utveckling av biogassektorn och ett hållbart samhälle

Huvudsökande: Agroöst

Finansiär: VINNOVA

Belopp: 500 000 kr

Period: 2014

Status: avslag; ansökan omarbetas och skickas in igen 2014

9. Projekttitel: Sluta näringscykler i Sverige

Finansiär: Formas

Belopp: 7 400 000 kr

Period: 2014 – 2017

Status: Projektet har sökts vid två olika utlysningar men avslag på båda under 2014.

10. Projekttitel: Efficient recycling of organic nutrients in Sweden? An analysis at different spatial scales

Finansiär: Formas öppna utlysning

Belopp: 4 100 000 kr

Period: 2014 – 2017

Kommentar: Arbetet inom projekt 3 har haft en stor betydelse för arbetet med sammanställningen inom EP1. Den planerade forskningen i projekt 4 är en fortsättning på ett tidigare projekt som varit grund för delar av försöken inom DP6.

6.6.21 Övriga långsiktiga samarbeten

1. Offentlig upphandling som styrmedel för att främja spridning och användning av förnybara drivmedel
Detaljer: Projektsamarbete mellan Tema T och Miljö- och energisystem, Lunds universitet
2. Spåra källorna till tungmetaller i biogödsel från biogasanläggningar som rötar matavfall
Detaljer: Projektsamarbete med JTI. Ansökan skickades till Avfall Sverige i mars 2014, men beviljades tyvärr inga medel.
3. Långtidsutbyte med Institute of Agrophysics of Polish Academy of Science rörande forskarutbildning och projekt
Internationellt samarbete
Detaljer: Arbetet med en formell Avsiktsförklaring pågår
4. IEA Task 37 - svensk gruppering
Internationellt samarbete
Detaljer: Den svenska grupperingen inom Task 37 består av en person vardera från SGC (som leder det svenska arbetet) BRC och SP. Task 37 är en arbetsgrupp inom IEA Bioenergy som främst jobbar med produktion av biogas och biogödsel av god kvalitet. Gruppen sammanställer information från världens länder, som bland annat handlar om tekniken och förutsättningarna för biogasproduktion. Systemperspektivet innefattar även insamling och sortering av biogassubstrat samt uppgradering och användning av produkterna. Medverkan ger ett internationellt kontaktnät och underlättar den internationella överblicken.