

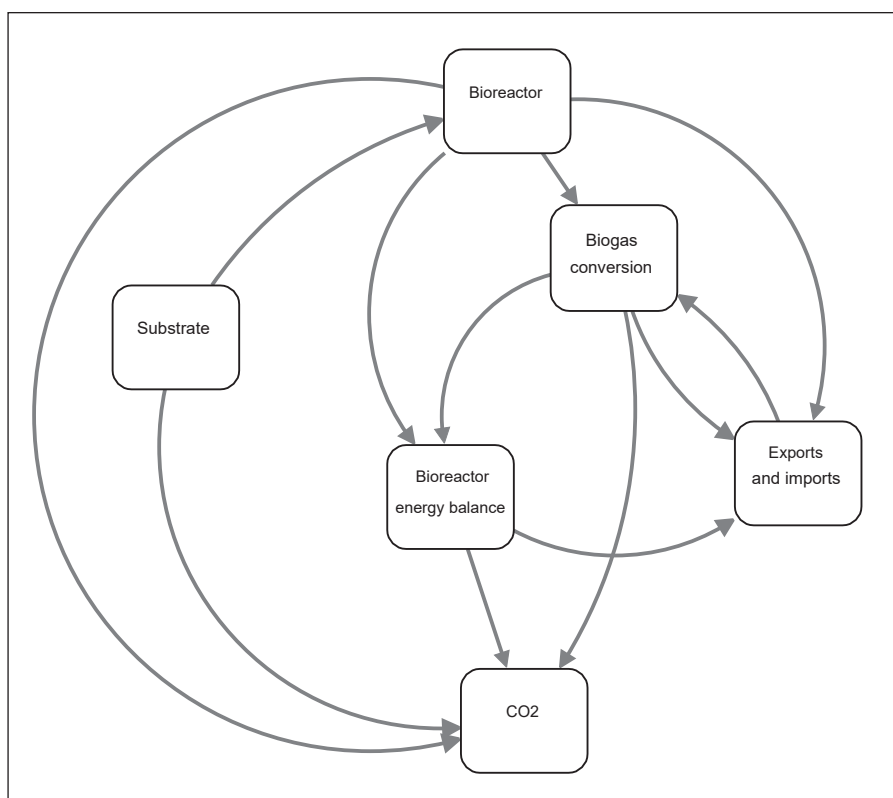
Dynamisk modell av den industriella symbiosen i Sotenäs

ANDREAS NICOLAIDIS, LINDA TUFVESSON, SAMMAR KHALIL, THOMAS PRADE

Bakgrund och syfte

Konceptet *Industriell Symbios* bygger på cirkulär och effektiv användning av resurser där avfall från en verksamhet blir råvara för en annan. Biogaslösningar kan spela en nyckelroll i industriella symbioser då de möjliggör effektiv behandling och förädling av organiska restprodukter, lokalproducerad energi i form av biogas och produktion av biogödsel. I Sotenäs kommun håller en maritim industriell symbios på att växa fram. Centralt i symbiosen finns företaget Rena Hav AB och deras biogasanläggning. Anläggningen skall varje år förädla organiskt avfall och restprodukter från fiskberedningsindustrierna Marenor, Leröy och Orkla till biogas och biogödsel. Biogasen skall sedan användas för att producera varmvatten och el, eller som en ersättning till gasol och naturgas.

Att planera för framtiden innebär alltid osäkerheter. Vi vet inte exakt hur framtiden ser ut, vad vi kommer konsumera, hur vi kommer leva eller vilka förändringar i vår omgivning som vi ska förvänta oss. Det samma gäller även när man planerar för biogasanläggningar och industriella symbioser. Vi vet inte exakt hur efterfrågan på biogas och energi kommer se ut i framtiden, inte heller hur de restströmmar som vi använder för att producera biogasen kan komma att variera. Detta gör det svårt att pla-



Figur 1. Modellen består av sex sammankopplade sektorer. Pilarna i figuren indikerar riktningen av informationsutbyte mellan de olika sektorerna.

nera för en industriell symbios där flera aktörer är direkt, eller indirekt, sammankopplade med biogasanläggningen genom utbyten av material och energi, och det gör det svårt att beräkna hur stora miljövärden en biogasanläggning kan skapa i framtiden.

Syftet med detta projekt var att utveckla en dynamisk modell av Rena Havs biogasanläggning i Sotenäs och genom att experimentera med oli-

ka framtidsscenarioer undersöka hur variationer i substrat och marknadsförutsättningar påverkar systemets miljönytta. Vi ville att projektet skulle utgöra ”proof of concept” – det vill säga visa hur man kan använda modeller och scenarier för att stå bättre rustad inför framtiden.

Metod

En kombination av intervjuer, en workshop och litteraturstudier användes för att bygga upp en matematisk modell av biogasanläggningen i Sotenäs. Medverkande i projektet var SLU, Sotenäs Symbioscentrum, Rena Hav AB, IVL och Stockholms Universitet. En kartläggning av säsongsvariationer i substratflödet (variationer i substratmix, total volym, etc.) och variationer i efterfrågan på biogas, el, varmvatten och biogödsel genomfördes och potentiella effekter på biogasanläggningen och omkringliggande verksamheter diskuterades. Modellen användes därefter för att simulera effekterna av de identifierade säsongsvariationerna på anläggningens klimatpåverkan och ekonomiska resultat i ett antal scenarier om 365 dagar.

Resultat

Modellens struktur

Modellen består av sex sektorer enligt figur 1.¹

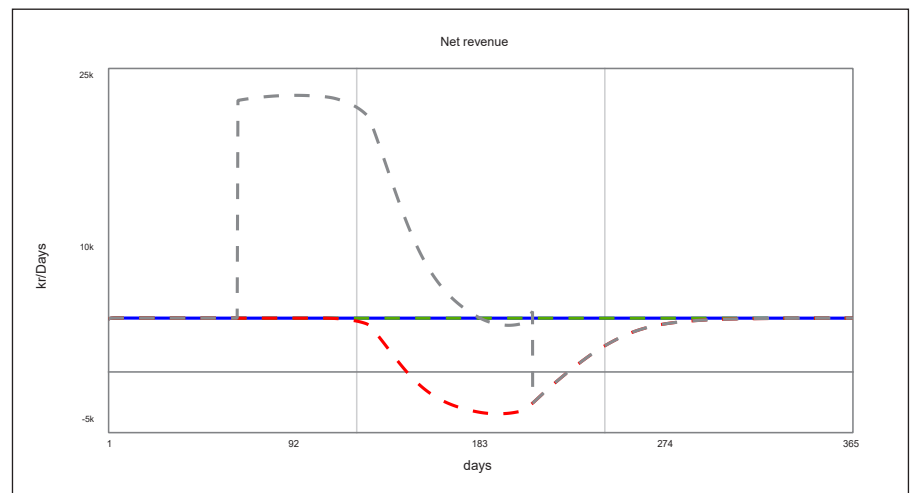
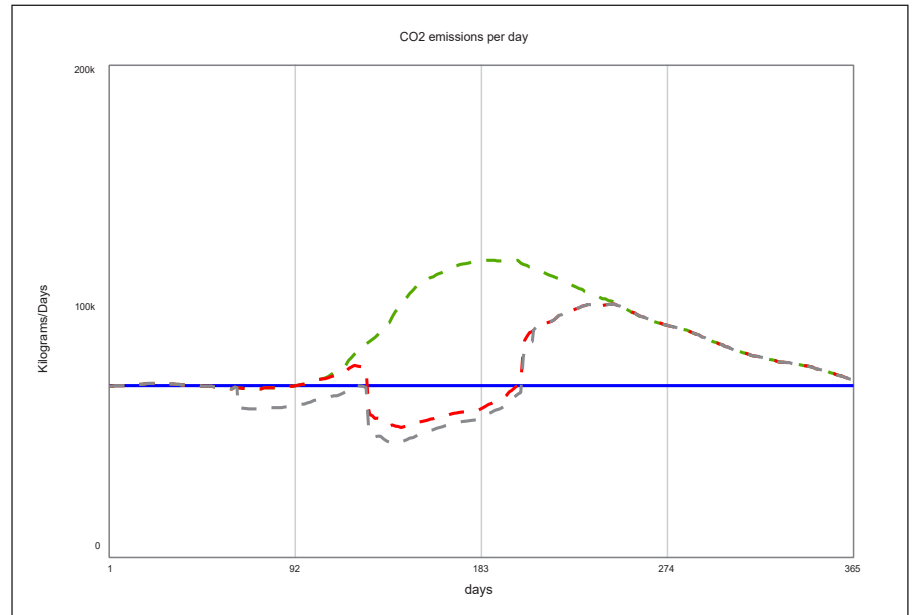
Scenarioanalys

Följande fyra scenarier studerades:

Scenario 1: Allt enligt plan

Beskrivning: Scenariot baseras en anläggning i full produktion med ett jämnt flöde av substrat hela året och utan prisvariationer på energimarknaden.

Resultat: Koldioxidutsläppen från anläggningen ligger stabila över hela perioden. Marknadpriserna på biogas, el och värme gör det mer ekonomisk lönsamt att använda biogasen för att producera el och värme än att sälja gasen till närliggande industrier. Net-



Figur 2. Koldioxidutsläpp och nettoresultat från de fyra simulerade scenarierna.

toresultatet per dag för anläggningen förblir stabilt under hela scenariot.

Scenario 2: Lax till midsommar

Beskrivning: Här tillåts substratmixen varieras över året. Under sommarveckorna sjunker andelen sill i substratet och ersätts av lax. Ju närmare Jul vi kommer så ökar andelen

sill igen. Marknadpriserna förblir oförändrade jämfört med det föregående scenariot.

Resultat: Koldioxidutsläppen korrelerar med andelen lax i substratmixen då odlad lax har högre klimatpåverkan än vildfångad sill². Nettointäkterna från anläggningen förblir stabila då

¹ För en mer detaljerad beskrivning se Tabell1.

² Vid landning/slakt så står sill för 0,366 kg CO₂/kg hel fisk, och lax för 5,26 kg CO₂/kg hel lax (inklusive LUC, markanvändningsutsläpp i Brasilien för sojaproduktion) (Ziegler et al., 2013). Matavfallet har givits en koldioxidbörda på 0,12 kg CO₂/kg matavfall, vilket är i linje med svenskproducerad potatis (Röös, Sundberg, & Hansson, 2010). Viktallokering används för att beräkna substratets koldioxidbörda.

Tabell 1. Beskrivning av modellens sektorer

Sektor	Beskrivning
<i>Substrate</i>	<p>Här modelleras sammansättning, metanpotential och CO₂ utsläpp från inkommande substrat till biogasanläggningen. Grova förenklingar är gjorda gällande substratets sammansättning och variation över året baserat på den kartläggning som genomfördes under workshopen i Sotenäs.</p> <p><i>Substrate</i> sektorn genererar indata om substratets metanpotential till <i>Bioreactor</i> och koldioxidbörda till sektorn <i>CO2</i>.</p>
<i>Bioreactor</i>	<p>Här modelleras biogasprocessen från mottagning av substratet till utflödet av biogas och biogödsel. Detta är en förenklad modell av biogasprocessen med de huvudsakliga stegen mottagning, rötning, efterrötning, lagring och export av biogödsel.</p> <p>Sektorn <i>Bioreactor</i> genererar indata om mängden biogas producerad till sektorn <i>Biogas conversion</i>, <i>Bioreactor energy balance</i>, och indata om mängden biogödsel som produceras till <i>Exports and imports</i> och samt indata om materialflöden till sektorn <i>CO2</i>.</p>
<i>Biogas conversion</i>	<p>I sektorn <i>biogas conversion</i> modelleras biogasens användning. Biogasen kan antingen säljas direkt till närliggande industrier och/eller förbrännas i för att generera el och värme i form av varmvatten. Den el och värme som produceras används i första hand för att täcka biogasprocessens egna behov och överskottet exporteras. Hur stor andel av biogasen som exporteras och hur stor del som går till förbränning styrs av sektorn <i>Exports and imports</i>.</p> <p><i>Biogas conversion</i> genererar indata om hur mycket el och värme som anläggningen producerar till <i>Bioreactor energy balance</i>, biogasens användning till <i>Exports and imports</i>, och mängden exporterad biogas, el och värme till <i>CO2</i> sektorn.</p>
<i>Bioreactor energy balance</i>	<p>Här modelleras biogasprocessens energibalans. Även detta är en förenkling där balansen beräknas genom att jämföra anläggningens energiförbrukning per dag med mängden producerad energi per dag. Om nettovärdet är negativt (anläggningen förbrukar mer energi än den producerar) genererar det en import av energi från externa källor. Om nettovärdet är positivt (anläggningen producerar mer energi än den förbrukar) exporteras överskottet till omkringliggande marknad.</p> <p><i>Bioreactor energy balance</i> genererar indata om export och import till sektorn <i>Exports and imports</i> och till <i>CO2</i> sektorn där dessa används i beräkning av anläggningens klimatpåverkan.</p>
<i>Exports and Imports</i>	<p>Den här sektorn modellerar anläggningens export och import av gas, el, värme och biogödsel. Hur mycket av den producerade biogasen som exporteras direkt eller går till el och värmeproduktion styrs av vilket användningsområde som är mest lönsamt. Lönsamheten beräknas genom att modellen jämför olika användningsområden baserat på slutprodukternas marknadspris. Intäkter från export minus kostnader för import och driftskostnader genererar ett nettoresultat för biogasanläggningen.</p> <p>Marknadspriser baseras på schablonvärden.</p>

biogasproduktionen är den samma för lax som för sill.

Scenario 3: Semestertider

Beskrivning: Substratmixen förblir oförändrad jämfört med "Lax till midsommar" men den totala mängden substrat som behandlas varierar. Under semesterperioden går fiskberedningsindustrin på lågvarv och substratflödet till biogasanläggningen sjunker. Övriga variabler förblir oförändrade.

Resultat: Koldioxidutsläppen följer samma trend som "Lax till midsommar" scenariot fram till semesterperioden börjar. Då sjunker den totala produktionen och så även koldioxidutsläppen och nettointäkterna.

Scenario 4: En osäker marknad

Beskrivning: Flöde och sammansättning av substratet från "Semestertider" förblir oförändrat men gaspriset fluktuerar med ca +/- 10 % över året.

Resultat: Variationen i biogaspriset gör att det under våren och sommaren är mer lönsamt att sälja biogasen direkt istället för att producera el och varmvatten. Biogasen som säljs ersätter naturgas som energikälla i närliggan-

de industrier. Att ersätta naturgas är av större klimatnytta än att förbränna gasen för att producera el och varmvatten, därav de lägre utsläppen av koldioxid jämfört med föregående scenarier. Det höga marknadspriset på biogas gör även att intäkterna ökar kraftigt i förhållande till föregående scenarier.

Diskussion och utvecklingspotential

Modellen som utvecklats i projektet är en grov förenkling av biogasanläggningen i Sotenäs. Trots de förenklingar och antaganden som är gjorda visar resultaten att modellering kombinerat med scenariostudier kan utgöra ett bra komplement till befintliga metoder för hållbarhetsanalys. Med hjälp av scenarier har verksamheter möjligheten att förbereda sig för förändringar och anpassa sin verksamhet så att de står rustade även för omfattande förändringar i deras omvärld.

Modellen som utvecklats skall inte ses som en färdig produkt, snarare som ett "proof of concept". Den grundläggande strukturen i modellen är så pass generisk att den skulle kunna appliceras på andra biogasanläggningar och efter anpassning och finkalibrering bör modellen såle-

des kunna utgöra en startpunkt för scenariostudier även utanför Sotenäs.

För att tillgängliggöra modellen och resultaten har ett enkelt användargränssnitt byggts upp. Här kan användare själva studera modellens struktur, de ovan beskrivna scenarierna och till viss del bygga egna scenarier genom att justera vissa parametrar och antaganden i modellen. Länk till användarsidan: <https://exchange.ise-systems.com/public/andreasnicolaidis/sotenas-biogas-simulator>.

Referenser

- Röös, E., Sundberg, C., & Hansson, P.-A. (2010). Uncertainties in the carbon footprint of food products: a case study on table potatoes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(5), 478-488. doi:10.1007/s11367-010-0171-8
- Ziegler, F., Winther, U., Hognes, E., Emanuelsson, A., Sund, V., & Ellingsen, H. (2013). The Carbon Footprint of Norwegian Seafood Products on the Global Seafood Market. *Journal of Industrial Ecology*, 17. doi:10.1111/j.1530-9290.2012.00485.x

-
- Informationen i detta faktablad bygger på projektet "Utvärdering av den industriella symbiosen i Sotenäs - kombination av tidigare LCA-studie och realtidsmätning av restflöden" som finansierats av Partnerskap Alnarp (PA-projekt 1186) och Sotenäs Symbioscentrum.
 - Faktabladet är utarbetat inom Institutionen för biosystem och teknologi vid LTV-fakulteten, SLU Alnarp, www.slu.se/bt
 - **Projektdeltagare:** Andreas Nicolaidis (andreas.nicolaidis@slu.se), projektledare, Thomas Prade (thomas.prade@slu.se), Sammar Khalil (sammar.khalil@slu.se), Linda Tufvesson (linda.tufvesson@slu.se)
 - **Samarbetspartners:** Michael Martin, Senior Forskare vid IVL Svenska Miljöinstitutet
 - Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp
 - Läs mer om SLU:s biogasforskning under <http://www.slu.se/biogas>
 - Detta faktablad kan hämtas elektroniskt på webbadressen <http://epsilon.slu.se>