

Slutrapport

Energimyndighetens titel på projektet – svenska

**Koldioxidneutral industri ur ett tvärvetenskapligt
systemperspektiv**

Energimyndighetens titel på projektet – engelska

An integrative systems approach to a carbon neutral industry

Organisation

Linköpings universitet – Tema Miljöförändring

581 83, Linköping

Namn på projektledare

Anders Hansson

Namn på eventuella övriga projektdeltagare

Simon Haikola (LiU – Tema Teknik och social förändring, Stefan

Grönkvist (KTH – Energiprocesser), Mathias Fridahl (LiU – Tema

Miljöförändring

Nyckelord

Bio-CCS, koldioxidavskiljning, svensk industri, koldioxidinfångning,
tvärvetenskap, CCS

Förord

Vi vill tacka energimyndigheten för det generösa bidraget och möjligheten att delta i Forskarskola Energisystem. Flera av de seniora deltagarna har själva varit doktorander i forskarskolan och det är glädjande att uppleva att de idébärande principerna för programmet förvaltats så väl. Utan det tvärvetenskapliga utbytet hade de båda avhandlingarna blivit betydligt mer snäva, men framförallt hade arbetet inte blivit lika givande och roligt.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	4
Inledning/bakgrund	5
Genomförande	5
Resultat	6
Diskussion	7
Publikationslista	8
Bilagor	10



Sammanfattning

Möjligheten att nå Sveriges ambitiösa klimatmål beror troligen på en teknologi som kallas BECCS, vilken innebär att koldioxid från förbränning av biomassa avskiljs och lagras. Eftersom den här tekniken ännu inte är kommersiellt beprövad och är sociotekniskt osäker så är det ännu oklart om och hur den kan bli en del av ett svenskt energisystem. Det föreslagna projektet undersöker därför sociotekniska förutsättningar för skapandet av en gemensam svensk-finsk infrastruktur för BECCS. Genom analys och revidering av tekniska data gällande stora punktkällor, transportkostnader och geologisk lagringskapacitet, samt lärdomar från historiska fallstudier, kommer projektets doktorander att undersöka policy- och regleringsramverk och viktiga intressegruppers prioriteringar och förutsättningar i Sverige. Projektet innebär både en fördjupning och breddning av projektgruppens forskning och kommer att visa huruvida BECCS kan spela en betydande roll i Sveriges strävan efter nettonollutsläpp 2045.

Summary

Sweden's ambitious climate targets are probably dependent on a technology called BECCS, whereby CO₂ from combusted biomass is captured and permanently stored. Since this technology is commercially unproven and sociotechnically uncertain, its future as part of Sweden's energy system remain in doubt. This interdisciplinary project will analyse sociotechnical preconditions for the possibility of establishing a joint BECCS infrastructure between Sweden and Finland. With data and analyses of large point sources, transport costs and geological storage capacity, along with historical case studies, the project's PhDs will investigate the regulatory and policy frameworks and key stakeholder priorities and pre-conditions in Sweden. This project both connects to and expands the project team's research about societal and technical aspects of BECCS, and will reveal whether and how BECCS can play a substantial role in Swedish efforts to reach net zero emissions by 2045.



Inledning/bakgrund

Utgångspunkten för projektet är en tvärvetenskaplig forskningsansats. Den första delen består av en uppdatering av relevanta data och en analys av svenska och finska punktutsläppskällor, som tidigare har identifierats som lämpliga kandidater för inkludering i en potentiell svensk/nordisk BECCS/CCS-infrastruktur. Denna kartläggning inkluderade en uppdatering av data rörande transportkostnader och geologisk lagringskapacitet i Östersjöregionen, men framför allt en analys av de teknisk-ekonomiska och politiska sammanhangen. Parallellt kom studien att omfatta en djupgående undersökning av samhällseliga och historiska aspekter som är relevanta för en bedömning av BECCS genomförbarhet i Sverige, genom analyser av historiska och analoga fall. De två inledande och gemensamma delprojekten kom sedan att utgöra grunden för de efterföljande integrerade och utforskande undersökningarna av regelverk, plats- och företagsspecifika egenskaper och erfarenheter, samt nyckelintressenters uppfattningar om CCS och BECCS i Sverige och Finland.

Denna studie är av stor betydelse, eftersom den belyser de centrala frågorna för de nyckelintressenter som måste vara involverade i en storskalig implementering av BECCS/CCS i regionen och även initierar en diskussion om metodernas genomförbarhet och önskvärdhet, som för närvarande saknas.

Genomförande

Projektet började med att två doktorander antogs runt årsskiftet 2018/19 och deltagande på forskarskolans doktorandkurser. Den första tiden är intensiv med många kurser vilket gör att själva forskningsdelen påbörjas gradvis.

De mest centrala gemensamma studierna har varit kartläggning av de aktörer som släpper ut mest koldioxid med biogent ursprung i Sverige och Finland. Därefter har dessa nyckelaktörer intervjuats genom konventionella intervjuer och/eller fokusgruppintervjuer. De frågor som sälls har i första hand handlat om de utmaningar och möjligheter företagen själva ser eller upplever med att utveckla eller använda bio-CCS. Dessa studier har resulterat i tre gemensamma artiklar.

Därutöver har doktoranderna gjort enskild forskning som handlat om a) litteraturoversikt över utökad olje-/gasutvinnig i Nordsjöområdet i relation till Bio-CCS, b) policy-analys av bio-CCS i olika regulatoriska



sammanhang, c) modellering av två tekniker: ”oxyfuel combustion” och ”electric arc plasma calcination”, d) fallstudie av Stockholms stads arbete med återtag av koldioxid genom analys av politiska dokument och intervjuer, och e) analyser av vilket bidrag sågade trävaruprodukter kan ge till återtag av koldioxid och vilka förutsättningar som krävs för att nå den potentialen.

Resultat

Projektets främsta resultat är två doktorer i Forskarskola Energisystem. Emily Rodriguez disputerade vid Tema Miljöförändring vid Linköpings universitet i mars 2024 och Adrian Lefvert har fastställt disputationsdatum vid Energiprocesser på Kungliga Tekniska Högskolan till 8 januari 2025. De båda doktoranderna har spridit resultat via flera internationella vetenskapliga konferenser och deltagit på projektets kompetensnätverksmöten med externa intressenter och industriaktörer. Resultaten har lite olika karaktär så istället för att göra en syntes lyfts artiklarnas enskilda resultat fram i det följande, med undantag för artiklarna 1,4 och 6 som delar metod och perspektiv.

Genom de två omfattande intervjustudierna och den fokusgruppstudie som genomförts har industriaktörer och intressenter från olika myndigheter förts samman för att diskutera utvecklingen av bio-CCS i Sverige. Bland de övriga resultaten hör kartläggning av relevanta aktörer och analys av deras drivkrafter och benägenhet att satsa på bio-CCS (Se artikel 1,4,6 nedan). Vi har även dragit lärdomar av historiska erfarenheter från tidigare utveckling av CCS. Under 00-talet fanns stora förhoppningar och satsningar på CCS som av flera skäl aldrig infriades. Resultat från denna analys presenteras i artikel 4.

Projektet bidrar med en viktig fallstudie av en stad, Stockholm, som ligger i framkant både vad gäller klimatarbete generellt och bio-CCS specifikt. Viktiga resultat i denna studie är att belysa de risker som finns att satsningar på bio-CCS påverkar pågående mer konventionellt klimatarbete och den lokala klimatpolitiken negativt (artikel 7). På liknande analytiskt tema, men med annat material, undersöks den vetenskapliga litteraturen för att kartlägga resonemang kring kopplingarna mellan utökad oljeutvinning (EOR) och CCS/bioCCS (artikel 8). Artikelns resultat visar att klimatnyttan många gånger dessvärre motverkas genom EOR, men att det är svårt att dra några mer specifika slutsatser.

Genom en energisystem-analys och modellering visas resultaten från modelleringen av sex olika konfigurationer av teknikval att koldioxidavskiljning från kalcineringsprocessen kan genomföras med relativt låg ytterligare energiförbrukning. Produktionen av sulfatmassa



från kraft-massabruk, som använder kalkugnar, ökar både i Europa och globalt. Därför finns det en stor potential för att fånga in koldioxid från de alternativa kalcineringsmetoder studien lyfter fram, både som ett första steg mot och som en del av en storskalig implementering av CCS och bioenergi med CCS (BECCS) (artikel 3).

I en policy-analys argumenteras för att certifieringsramverket för BECCS strider mot riktlinjerna från FNs klimatpanel (IPCC) och riskerar att i onödan hindra implementeringen av ett potentiellt kostnadseffektivt verktyg (BECCS) för att motverka klimatförändringar. Bland de viktiga resultaten här hör att peka ut riktningen mot ett mer stödjande ramverk. (artikel 2)

Produktionsdata och IPCCs redovisningsmetoder har använts i en studie för att konstruera en referenspunkt för biogen kol som lagras i träbaserade skivmaterial. Vi visar att det är möjligt att uppnå en ökad kolsänka i träprodukter i Sverige och argumenterar för att alla alternativ som producerar verkliga och kvantifierbara kolsänkor bör ges möjligheter inom de regelverk som syftar till att motverka klimatförändringar. Vi drar slutsatsen att den ökade betydelsen av kolsänkor för att motverka klimatförändringar rättfärdigar en kritisk diskussion om bioenergipolitiken i Sverige och resten av Europa. Dessutom föreslår vi en politisk inriktning som främjar kaskadanvändning av biprodukter för träbaserade skivmaterial *utan* att införa en obligatorisk hierarki för biomassanvändning.

Diskussion

Sammantaget visar alla publikationer och projektet som helhet på betydelsen av bio-CCS i ett Svenskt och Europeiskt sammanhang. Till skillnad från större delen av den tidigare forskningen som vilar på modelleringar eller mer svepande policy-analys och top-downperspektiv har projektet bland annat lyft fram enskilda aktörers upplevelser och perspektiv. Genom lokala fallstudier har vi kunnat undersöka hur faktiska bio-CCSprojekt påverkar politiken och genom mer ingående analyser av policy-dokument och regelverk har vi kunnat visa på samspelet mellan teknikutveckling och politik i vid mening. Studien har även breddats till att inte enbart studera den mer dominerande tekniken bio-CCS som metod för återtag av koldioxid utan har även lyft fram och belyst hinder och möjligheter att binda mer koldioxid genom olika trävaruprodukter. De synteser som de båda avhandlingarna gör ger en god inblick i förutsättningarna för återtag av koldioxid i Sverige och hur denna



utveckling kan stödjas i relation till en rad komplicerande omständigheter av ekonomisk, teknisk och politisk karaktär.

Publikationslista

Åtta vetenskapliga artiklar har publicerats, en doktorsavhandling och en doktorsavhandling som lämnas till tryckeriet i december 2024 (disputationsdatum beslutat vara 8 jan 2025, KTH Energiprocesser).

1. Incentivising bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) responsibly: Comparing stakeholder policy preferences in the United Kingdom and Sweden2021Ingår i: Environmental Science and Policy, ISSN 1462-9011, E-ISSN 1873-6416, Vol. 116, s. 47-55
2. Lost in the scenarios of negative emissions: The role of bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)2024Ingår i: Energy Policy, ISSN 0301-4215, E-ISSN 1873-6777, Vol. 184, artikel-id 113882
3. Smarter ways to capture carbon dioxide-exploring alternatives for small to medium-scale carbon capture in Kraft pulp mills2023Ingår i: International Journal of Greenhouse Gas Control, ISSN 1750-5836, E-ISSN 1878-0148, Vol. 127, artikel-id 103934
4. What are the potential paths for carbon capture and storage in Sweden? A multi-level assessment of historical and current developments2022Ingår i: Energy Research & Social Science, ISSN 2214-6296, E-ISSN 2214-6326, Vol. 87, artikel-id 102452Artikel i tidskrift (
5. An alternative pathway to negative emissions - revitalising the wood-based panel production in Sweden2024Ingår i: Environmental Development, ISSN 2211-4645, E-ISSN 2211-4653, Vol. 50, artikel-id 100973
6. Tensions in the energy transition: Swedish and Finnish company perspectives on bioenergy with carbon capture and storage2021Ingår i: Journal of Cleaner Production, ISSN 0959-6526, E-ISSN 1879-1786, Vol. 280
7. Forerunner city or net-zero opportunist?: Carbon dioxide removal in Stockholm, residual emissions and risks of mitigation deterrence2024Ingår i: Energy Research & Social Science, ISSN 2214-6296, E-ISSN 2214-6326, Vol. 113, artikel-id 103567



8. Storing carbon dioxide for climate's sake: contradictions and parallels with enhanced oil recovery 2023 Ingår i: *Frontiers in Climate*, E-ISSN 2624-9553, Vol. 5, artikel-id 1166011

Doktorsavhandling: Promises and Pitfalls of Bioenergy with Carbon Capture and Storage: Actors' Perspectives, Challenges, and Mitigation Deterrence in Sweden, 2024.



Bilagor

[Klicka och skriv]