

Energimyndighetens titel på projektet – svenska FerroSilva - produktion av järnsvamp med biogen reduktionsgas	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska FerroSilva - reduction of iron ore using biogenic carbon and hydrogen	
Universitet/högskola/företag MMM Management Advice AB	Avdelning/institution -
Adress Box 596, 721 10 VÄSTERÅS	
Namn på projektledare Peter Samuelsson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Kobolde & Partners, KTH, Chalmers, Ovako, Sandvik Materials Technology (numera Alleima), Uddeholm, Lantmännen, Sveaskog.	
Nyckelord: 5-7 st Reduktion, Järnsvamp, DRI, Malm, Biogas, Syngas	

Förord

FerroSilva är finansierat av Energimyndigheten med naturabidrag från ett industri- och forskningskonsortium bestående av stålföretagen Ovako, Aleima, och Uddeholm, skogsföretagen Sveaskog och Lantmännen utvecklingsbolagen MMM Management Advice (M3Advice) och Kobolde & Partners (Kobolde) samt forskningsutförarna KTH och Chalmers.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
Summary.....	3
Inledning/Bakgrund.....	4
Genomförande	4
Resultat.....	5
Diskussion	6
Publikationslista	6
Referenser, källor	7
Bilagor	7

Sammanfattning

Kraven på europeisk stålindustri att minska sina utsläpp av växthusgaser gör att masugnsvärk kommer att behöva ersättas med en skrotbaserad stålproduktion. Detta kommer att leda till brist på skrot av hög kvalitet vilket måste ersättas med fossilfritt tillverkad järnsvamp.

Sverige har utmärkta förutsättningar att framställa fossilfritt stål genom att kombinera etablerad teknik för tillverkning av järnsvamp med nya teknologier för förgasning av biomassa. Kombinerat med CCS skapas en kolsänka. FerroSilva projektet, finansierat av Energimyndigheten och ett industri- och forskningskonsortium, har undersökt tekniska och ekonomiska förutsättningar för industriell produktion av järnsvamp, med slutmålet att inom detta decennium bygga en produktionsanläggning för den svenska specialstålindustrins behov.

Projektet har besvarat följande frågor:

- a) Teoretisk och teknisk processintegration av biobränsle, syntesgas- och järnsvampsproduktion.
- b) Miljö-, energi- och resurspåverkan, med särskilt fokus på växthusgaser från den föreslagna processen samt dess olika alternativ.
- c) Ekonomisk hållbarhet
- d) Genomförbarhet med avseende på behov av järnsvamp och tillgång på resurser

Projektet har kommit till följande slutsatser:

- Den modellering som utförts visar att det finns ett flertal möjliga alternativ för att integrera produktion av biogen syngas med en reduktionsprocess med högt utnyttjande av reduktionsprocessens toppgas i förgasningsprocessen. Arbetet visar dessutom att den genererade biogena koldioxiden utgör en punktkälla med hög renhet som förvätskad vid 15 bar är redo för bio-CCSU.
- LCA-studien har visat att framställning av DRI med biogen syngas har lägre klimatpåverkan än någon annan stålprocess från malm. Kombinerat med CCS skapas dessutom en koldioxidsänka.
- De kostnadsanalyser som gjorts visar tydligt att reduktion med syngas från biomassa är konkurrenskraftig mot alla andra aktuella alternativ under svenska förhållanden.
- Svensk stålindustri har behov av den DRI som skulle kunna tillföras av ett DR-verk med syngas från biomassa och de resurser som behövs vad gäller biomassa och malm är inte begränsande.

Nästa steg är att uppföra en demonstrationsanläggning om 50 kton DRI.

Summary

The demands on the European steel industry to reduce its emissions of greenhouse gases mean that blast furnaces will have to be replaced with scrap-based steel production. This will lead to a shortage of high-quality scrap, which must be replaced with fossil-free sponge iron.

Sweden has excellent conditions for producing fossil-free steel by combining established technology for the production of sponge iron with new technologies for the gasification of biomass. Combined with CCS, a carbon sink is created. The FerroSilva project, funded by the Swedish Energy Agency and an industrial and research consortium, has investigated the technical and economic conditions for the industrial production of sponge iron, with the ultimate goal of building a production plant for the needs of the Swedish special steel industry within this decade. The project has answered the following questions:

The project has answered the following questions:

- a) Theoretical and technical process integration of biofuel, syngas and sponge iron production.
- b) Environmental, energy and resource impacts, with particular focus on greenhouse gases from the proposed process and its various alternatives.
- c) Economic sustainability
- d) Feasibility with regard to the need for sponge iron and availability of resources

The project has reached the following conclusions:

- The modelling that has been carried out shows that there are several possible options for integrating the production of biogenic syngas with a reduction process with high utilization of the top gas of the reduction process in the gasification process. The work also shows that the generated biogenic carbon dioxide constitutes a point source with high purity that, liquefied at 15 bar, is ready for CCS.
- The LCA study has shown that the production of DRI with biogenic syngas has a lower climate impact than any other steel process from ore. Combined with CCS, a carbon dioxide sink is also created.
- The cost analyses that have been carried out clearly show that reduction with syngas from biomass is competitive against all other current alternatives under Swedish conditions.

At the same time, the calculations show the need to produce steel with high added value in Sweden, as production in countries with cheap natural gas and the possibility of CCS will be very competitive.

- Swedish steel industry needs the DRI that could be supplied by a DR plant with syngas from biomass and the resources needed in terms of biomass and ore are not limiting.

The next step is to build a demonstration plant of 50 kton DRI.

Inledning/Bakgrund

Kraven på europeisk stålindustri att minska sina utsläpp av växthusgaser gör att masugnsverk kommer att behöva ersättas med en skrotbaserad stålproduktion. Detta kommer att leda till brist på skrot av hög kvalitet vilket måste ersättas med fossilfritt tillverkad järnsvamp. Syftet med projektet är att skapa en balanserad tillgång på järnråvara för de svenska specialstålverken vilka kan lida stor skada när ny ljusbågsugnskapacitet tillförs.

Sverige har utmärkta förutsättningar att framställa fossilfritt stål genom att kombinera etablerad teknik för tillverkning av järnsvamp med nya teknologier för förgasning av biomassa. Kombinerat med CCS skapas en kolsänka. FerroSilva projektet etablerar tekniska och ekonomiska förutsättningar för industriell produktion av järnsvamp, med slutmålet att inom detta decennium bygga en produktionsanläggning för den svenska specialstålindustrins behov.

Förgasning av biomassa är en känd teknik liksom reduktion av malm i schaktugn med en blandning av CO och H₂. Jämviktsförhållanden gör att toppgasen från ett reduktionsschakt innehåller en blandning av CO/CO₂ och H₂/H₂O. Nyckeln till en energieffektiv processintegration är ett system där toppgasen nyttjas optimalt för att kunna recirkuleras och/eller användas i förgasningsprocessen och för gasförvärmning.

De huvudsakliga metoderna som används i projektet är sammanställning av grundläggande fakta och modellering som belyser de system som skall byggas upp.

Projektet har pågått i 18 månader och finansierats av Energimyndigheten med naturabidrag från deltagande parter. Initiativtagare till projektet är M3Advice och Kobilde som arbetat med frågan de senaste fem åren.

Genomförande

Arbetet har genomförts med tät kontakt mellan de olika forskningsutförarna och industrikonsortiet. Nedan anges vilka som haft huvudansvaret för respektive del.

Initialt gjordes en bedömning av förutsättningarna för projektet för att uppskatta de begränsningar som finns i resurstillgång och tillräckligt mogen teknologi. En tillgångs och kostnadsbild fastställdes som grund för det fortsatta arbetet. Det stod tidigt klart att reduktion av malm bör göras i schaktugn tills alternativa metoder nått tillräckligt hög TRL. (Kobilde/M3Advice)

Baserat på erfarenheter från tidigare förgasningsprojekt valdes ett antal möjliga processkonfigurationer för förgasning ut och programmerades i simuleringsverktyget AspenTech. Designuppgiften handlade om att på effektivast möjliga sätt utnyttja den toppgas som kommer från schaktugnen samt att producera en flytande

koldioxid vid 15 bar lämplig för CCS. Succesivt sållades alternativen bort tills tre alternativ kvarstod med högst energieffektivitet. Två var dubbla fluidbäddar, DFB, och en cirkulerande fluidbädd, CFB. (KTH med stöd av Chalmers)

En processmodell för en DR-ugn baserad på en termodynamisk modell för gasjämvikter utvecklades för att kunna göra parameterstudier på gassammansättning från förgasningsdelen. (Kobolde)

Parallellt med integrationen gjordes en LCA för att jämföra Global Warming Potential, GWP, för valda alternativ med och utan CCS med reduktion med vätgas. I en särskild studie för ett flertal påverkansfaktorer jämfördes ett alternativ med traditionell ståltillverkning via masugn och naturgasbaserad direktreduktion. Studien genomfördes med Ecoinvent verktyg och databas. (KTH)

En jämförelse av produktionskostnad och GWP mellan naturgasbaserad järnsvampsproduktion med och utan CCS och fossilfria alternativ med vätgas (2 st) och syngas (3 st) med och utan CCS gjordes i en studie. (Kobolde/M3Advice)

Behovet av ytterligare tillförsel av järnråvara till svensk stålindustri undersöktes liksom lämpligheten av DRI i produktionen för deltagande verk. Tillgång på biomassa undersöktes och värderades. (Kobolde/M3Advice)

Under hela projektiden har styrgruppsmöten och interna seminarier hållits för att sprida information inom gruppen. (M3Advice)

Projektet har deltagit i internationella konferenser och i utbildning vid KTH. (M3Advice/ Kobolde)

Resultat

Projektet har kommit till följande slutsatser:

- Den modellering som utförts visar att det finns ett flertal möjliga alternativ för att integrera produktion av biogen syngas med en reduktionsprocess med högt utnyttjande av reduktionsprocessens toppgas i förgasningsprocessen. Arbetet visar dessutom att den genererade biogena koldioxiden utgör en punktkälla med hög renhet som förvätskad vid 15 bar är redo för CCS.
- LCA-studien har visat att framställning av DRI med biogen syngas har lägre klimatpåverkan än någon annan stålprocess från malm. Kombinerat med CCS skapas dessutom en koldioxidsänka.
- De kostnadsanalyser som gjorts visar tydligt att reduktion med syngas från biomassa är konkurrenskraftig mot alla andra aktuella alternativ under svenska förhållanden. Samtidigt visar beräkningarna på behovet att i Sverige producera stål med högt förädlingsvärde då produktion i länder med billig naturgas och möjlighet till CCS kommer vara mycket konkurrenskraftig.
- Svensk stålindustri har behov av den DRI som skulle kunna tillföras av ett DR-verk med syngas från biomassa och de resurser som behövs vad gäller biomassa och malm är inte begränsande.

Diskussion

Det faktum att beräkningarna visar att reduktion med biogen syngas är konkurrenskraftig jämfört med alternativa fossilfria metoder och att svensk specialstålindustri kommer behöva en säker försörjning av järnråvara gör att förutsättningarna för att etablera produktion i Mellansverige i en lokalisering med goda järnvägsförbindelser till skogsområden med brukad skog.

Nästa steg är att projektera en demonstrationsanläggning där dynamiken i det integrerade produktionssystemet modelleras med ytterligare djup.

En lyckad implementation kommer öka lönsamheten när det gäller att samla in och utnyttja skogsbioprodukter då värdet i biomassan för förgasning ligger i kemin och inte bara i värmevärdet.

Publikationslista

Följande vetenskapliga artiklar har publicerats, eller föreligger som manuskript för granskning. Vilka inte har hunnit publiceras före rapportens datum, men som kommer att publiceras.

Pissot S, Thunman H, Samuelsson P, Seemann M. Production of Negative-Emissions Steel Using a Reducing Gas Derived from DFB Gasification. *Energy* 2021;14:4835. <https://doi.org/10.3390/en14164835>.

Caballero J. J. B., Zaini I. N., Yang W., Reforming processes for syngas production: A mini-review on the current status, challenges, and prospects for biomass conversion to fuels, *Applications in Energy and Combustion Science* Volume 10, June 2022, 100064, <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2022.100064>

Nuran Zaini I., Nurdiawati A., Gustavsson J., Wei W., Thunman H., Gyllenram R., Samuelsson P., Yang W., Decarbonising the iron and steel industries: Production of carbon-negative Direct Reduced Iron (DRI) by using biosyngas, manuscript submitted to *Energy Conversion and Management*

Nurdiawati A., Nuran Zaini I., Wei W., Gyllenram R., Yang W., Samuelsson P., Moving towards fossil-free steel: Life cycle assessment of biosyngas-based direct reduced iron (DRI) production process, manuscript submitted to *Journal of Cleaner Production*

Gyllenram R., Gustavsson J., Wei W., Samuelsson P., Nuran Zaini I., Nurdiawati A., Thunman H., Yang W., Raw material considerations for direct reduction with biogenic syngas based on thermodynamic modelling, manuscript to be submitted

Referenser, källor

Referenser som används i projektet redovisas i FerroSilva genomförbarhetsstudie Slutrapport 2022-09-30

Centrala referenser är:

- Lockwood Greene, 2000. Ironmaking Process Alternatives Screening Study Volume I : Summary Report.
<https://doi.org/10.2172/885549>
- Thunman et al, Advanced biofuel production via gasification – lessons learned from 200 man-years of research activity with Chalmers research gasifier and the GoBiGas demonstration plant, Energy Science and Engineering 2018; 6(1): 6–34,
<https://doi.org/10.1002/ese3.188>
- Thunman et al, Economic assessment of advanced biofuel production via gasification using cost data from the GoBiGas plant, Energy Sci Eng. 2019;7:217–229,
<https://doi.org/10.1002/ese3.271>
- Högberg, P., Ceder, L.A., Astrup, R., Binkley, D., Bright, R., Dalsgaard, L.; Egnel, G. et al., 2021. Sustainable boreal forest management – challenges and opportunities for climate change mitigation. Report 2021/11 Swedish Forestry Agency. ISBN 978-91-986297-3-6. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2021202020192018/rapport-2021-11-sustainable-boreal-forest-management-challenges-and-opportunities-for-climate-change-mitigation-002.pdf>
- Börjesson, P., 2021. Länsvis tillgång på skogsbiomassa för svensk biodrivmedels- och bioflygbränsleproduktion Pål Börjesson.
<https://lup.lub.lu.se/search/publication/4d5c76f7-a94d-4f43-9d7b-4d38766b49d8>

Bilagor

- Administrativ bilaga
- FerroSilva genomförbarhetsstudie Slutrapport 2022-09-30 (Öppen)
- WP-1 Report - Process simulation of biosyngas DRI production routes (Ej för spridning)
- WP-3 Report - Life cycle assessment of biosyngas DRI production routes (Ej för spridning)
- WP-1 Report - Modelling of equilibria in direct reduction and gasification for the FerroSilva project. (Ej för spridning)

- Pissot S, Thunman H, Samuelsson P, Seemann M. Production of Negative-Emissions Steel Using a Reducing Gas Derived from DFB Gasification. *Energies* 2021;14:4835. <https://doi.org/10.3390/en14164835>. (Öppen)
- Caballero J. J. B., Zaini I. N., Yang W., Reforming processes for syngas production: A mini-review on the current status, challenges, and prospects for biomass conversion to fuels, *Applications in Energy and Combustion Science* Volume 10, June 2022, 100064, <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2022.100064> (Öppen)