

# THE ROLE OF ELECTROFUELS: A COST-EFFECTIVE SOLUTION FOR FUTURE TRANSPORT?

Extended summary report from a project within the collaborative research program  
Renewable transportation fuels and systems (Förnybara drivmedel och system)

September 2016

**Authors:**

Maria Grahn, Chalmers University of Technology

Julia Hansson, IVL Swedish Environmental Research Institute

Selma Brynolf, Chalmers University of Technology

Roman Hackl, IVL Swedish Environmental Research Institute

Maria Taljegård, Chalmers University of Technology

## PREFACE

The project is financed and carried out within the f3 - Energimyndigheten (Swedish Energy Agency) collaborative research program “Förnybara drivmedel och system” (Renewable transportation fuels and systems).

f3 is a networking organization, which focuses on development of environmentally, economically and socially sustainable renewable fuels, and

- Provides a broad, scientifically based and trustworthy source of knowledge for industry, governments and public authorities,
- Carries through system oriented research related to the entire renewable fuels value chain,
- Acts as national platform stimulating interaction nationally and internationally.

f3 partners include Sweden’s most active universities and research institutes within the field, as well as a broad range of industry companies with high relevance. f3 has no political agenda and does not conduct lobbying activities for specific fuels or systems, nor for the f3 partners’ respective areas of interest.

The f3 centre is financed jointly by the centre partners, the Swedish Energy Agency and the region of Västra Götaland. f3 also receives funding from Vinnova (Sweden’s innovation agency) as a Swedish advocacy platform towards Horizon 2020. Chalmers Industriteknik (CIT) functions as the host of the f3 organization (see [www.f3centre.se](http://www.f3centre.se)).

The project has been performed by Maria Grahn, Selma Brynolf and Maria Taljegård at Chalmers University of Technology and Julia Hansson and Roman Hackl at IVL Swedish Environmental Research Institute.

### **This report should be cited as:**

Grahn, M., *et. al.*, (2016) *The role of electrofuels: a cost-effective solution for future transport?* Report No 2016:13, f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels, Sweden. Available at [www.f3centre.se](http://www.f3centre.se).

## INTRODUCTION

Electrofuels (also known as e.g., power-to-gas/liquids/fuels, e-fuels, or synthetic fuels) are synthetic hydrocarbons, e.g. methane or methanol, produced from carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and water with electricity as primary energy source. The CO<sub>2</sub> can be captured from various industrial processes giving rise to excess CO<sub>2</sub> e.g. biofuel production plants, and fossil and biomass combustion plants, see Figure 1.

Electrofuels are interesting at least for the following reasons: (i) electrofuels may play an important role as transport fuels in the future due to limitations with other options and are potentially of interest for all transport modes, (ii) electrofuels could be used to store intermittent electricity production, and (iii) electrofuels potentially provide an opportunity for biofuel producers to increase the yield from the same amount of biomass. However, there is a lack of energy system studies of electrofuels.

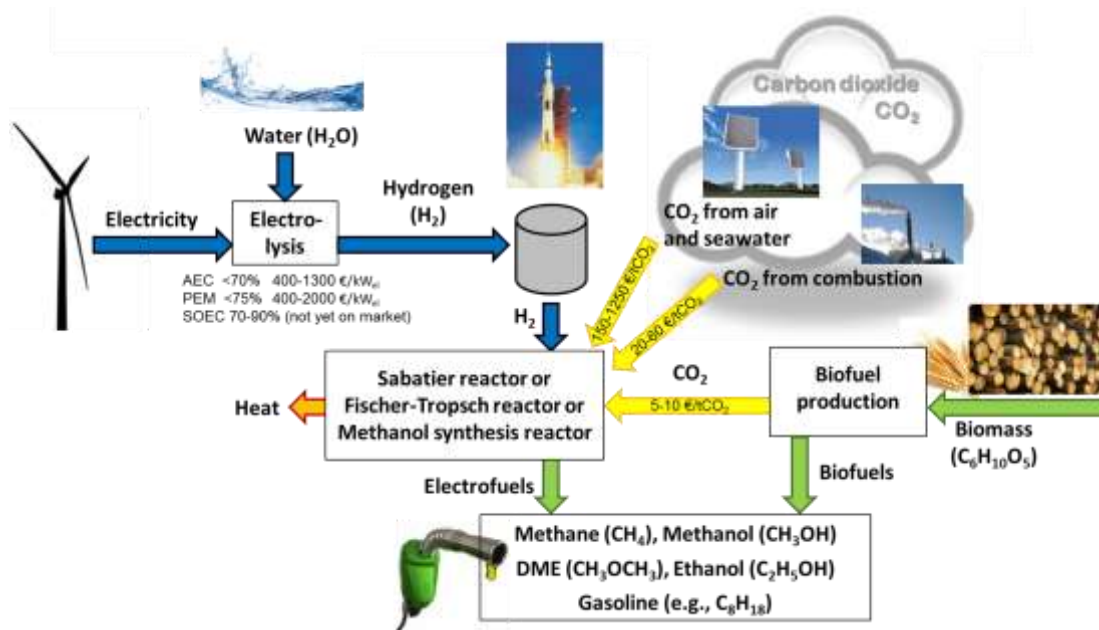


Figure 1. Illustration of production of electrofuels.

## AIM

The overall purpose of this project is to deepen the knowledge of electrofuels by mapping and analyzing the technical and economic potential and by analyzing the potential role of electrofuels in the future energy system aiming to reach stringent climate targets. The specific project targets include:

- (i) Mapping of the technical potential for CO<sub>2</sub>-recovering from Swedish production plants for biofuels for transport and combustion plants.
- (ii) A review and analysis of different electrofuel production pathways and associated costs and an overall comparison with the production cost of other renewable transport fuels.
- (iii) An analysis of the potential conditions under which electrofuels are cost-effective compared to other alternative fuels for transport in order to reach stringent climate targets.

## INCLUDED ASSESSMENTS AND PUBLICATIONS

The technical potential for CO<sub>2</sub> recovering in Sweden from biofuels and combustion plants as well as other major point sources of CO<sub>2</sub> emissions is mapped and quantified in Hansson et al (2016). The paper also estimates the Swedish technical potential for carbon capture and utilization in the form of electrofuels. The mapping is based on a bottom-up approach, utilizing information in European databases.

Different electrofuel production pathways and associated costs have been reviewed and analyzed and is presented in Brynolf et al. (2016), Taljegård et al. (2015) and Grahn et al. (2016a). The assessment includes a literature review of electrofuel production costs as well as the costs and efficiencies for the separate production steps, and a sensitivity analysis of parameters with significant impact on the total electrofuel production cost.

An initial assessment of the potential conditions under which electrofuels may be cost-effective compared to other fuels for transport in order to reach stringent climate targets has been performed and is presented in Grahn et al. (2016b). The energy systems analysis are conducted using the well-established global energy systems model GET that has been developed to include also electrofuels as transportation fuels.

## KEY FINDINGS AND CONCLUSIONS

According to the assessment in Hansson et al. (2016), Sweden emits roughly 50 Mtons of recoverable CO<sub>2</sub> per year, from stationary point sources of different kinds. The dominating share of the included CO<sub>2</sub> sources has low CO<sub>2</sub> concentration (<15%). The amount of CO<sub>2</sub> from all the included point sources in Sweden that is assumed possible to recover is estimated to correspond to an electrofuel production potential corresponding to 2-3 times the current Swedish energy demand for transportation fuels. In case only sources with relatively high concentration of CO<sub>2</sub> (i.e., <90%) is included in the assessment, about 2% of the current demand for transportation fuels in Sweden is estimated to be possible to meet by electrofuels (corresponding to 1.5-2 TWh/year). If assuming a large-scale introduction of biofuel plants by 2030, the electrofuels production potential from sources with relatively high concentration of CO<sub>2</sub> increases by roughly a factor 5. This would require electricity corresponding to about 10-14% of the current Swedish electricity supply.

The review of different electrofuel production pathways and associated costs include methane, methanol, dimethyl ether, diesel, and gasoline. There are large differences among the studies included in the literature review regarding cost estimates, and a broad range of production cost estimates covering the interval 10-3500 €<sub>2015</sub>/MWh<sub>fuel</sub> are identified, depending on different time scale, size of reactors and if indirect costs are included or excluded. For example, the capital cost of the electrolyser and the electricity price are identified as two key factors affecting the production cost of electrofuels. The capacity factor and the electrolyser life span are also important. Our own assessment, assuming an alkaline electrolyser and a capacity factor of 80%, results in electrofuel production costs at 120-1050 €/MWh<sub>fuel</sub> in 2015 and 100-430 €/MWh<sub>fuel</sub> in 2030.

A summary of our key conclusions follow:

- Electrofuels used in combustion engines demand significantly more energy compared to battery electric vehicles and hydrogen used in fuel cells.
- Compared to biofuels, our estimates of the production costs of electrofuels are in the same size of order but in the upper range or above.
- The results of the energy system modelling indicate that electrofuels is not the most cost-efficient option for road transport. Thus, it is not likely that electrofuels can compete with current conventional fuels in road transportation (unless there are higher taxes on fossil CO<sub>2</sub>-emissions).
- Under some circumstances (e.g., when assuming relatively high costs for other options), electrofuels may be able to complement battery electric vehicles and hydrogen used in fuel cells in a scenario reaching almost zero CO<sub>2</sub> emissions in the global road transport sector.
- The cost-competitiveness of electrofuels depends on e.g. the availability of advanced CO<sub>2</sub> reduction technologies such as CCS, and costs for the competing technologies, but also on the costs and efficiencies of synthesis reactors and electrolyzers for the electrofuel production as well as the electricity price.
- In the short term, renewable CO<sub>2</sub> does not seem to be a limiting factor for electrofuels. However, the demand for renewable electricity represents a possible limiting factor especially in the case of large-scale production of electrofuels. The production cost may also represent a challenge.

## DISCUSSION

To be considered a sustainable solution, large-scale use of electrofuels can only exist in an energy system with abundant renewable electricity produced in a sustainable way. However, the climate impact of electrofuels compared to other options need to be further assessed.

In order to determine if electrofuels is a cost-effective future transport fuel relative to other alternative options, the costs for distribution, propulsion, and storage systems also need to be considered. In future studies it would for example be interesting to analyze the impact from assuming that carbon capture and storage technologies will be large scale available, the effect of fluctuating electricity prices, and the role of electrofuels in the aviation and shipping sectors.

The results from this project may deliver important background facts that can be used to assist industry and policy makers in the difficult task of choosing renewable fuels. Due to this the results have been presented at a numerous (more than 25) conferences and seminars. There seems to be a large interest in electrofuels.

## KORT SAMMANFATTNING PÅ SVENSKA

Elektrobränslen (eller power to gas/power to fuel) är ett samlingsnamn för syntetiska kolväten, t.ex. metan eller metanol, producerade från koldioxid och vätgas med elektricitet som huvudkälla. Elektrobränslen är intressant av minst följande tre anledningar: (i) elektrobränslen skulle kunna fylla en viktig roll som framtida transportbränsle och kan utnyttjas av flera olika transportslag, (ii) elektrobränslen skulle kunna användas för att lagra intermitterent elproduktion och (iii) elektrobränslen ger biodrivmedelsproducenterna en möjlighet att öka utbytet av kolväten/drivmedel från samma mängd biomassa. Systemstudier av elektrobränslen saknas dock.

Syftet med detta projekt är att fördjupa kunskapen om elektrobränslen genom att kartlägga den tekniska och ekonomiska potentialen samt analysera elektrobränslenas roll i ett framtida energisystem med hårda krav på att minska utsläppen av koldioxid (CO<sub>2</sub>). Studien analyserar elektrobränslen i ett globalt energisystemsperspektiv med konkurrens från andra bränslealternativ och där andra energisektorer konkurrerar om samma begränsade råvaror. Projektets specifika mål består av:

- (i) En kartläggning av den tekniska potentialen för CO<sub>2</sub>-återvinning från svenska biodrivmedelsanläggningar och svenska förbränningsanläggningar.
- (ii) En kartläggning och kostnadsanalys av olika sätt att producera elektrobränslen och en översiktlig jämförelse med andra förnyelsebara drivmedel.
- (iii) En övergripande analys av under vilka förutsättningar som elektrobränslen kan vara ett kostnadseffektivt val av drivmedel gentemot andra förnyelsebara drivmedel i ett framtida globalt energisystem med hårda koldioxidminskningskrav.

Den tekniska potentialen för CO<sub>2</sub>-återvinning i Sverige från biodrivmedelsanläggningar och förbränningsanläggningar samt övriga större punktkällor har kartlagts och redovisas i ett manuskript för publikation i vetenskaplig tidskrift (Hansson et al., 2016). Resultatet visar att Sverige släpper ut totalt ungefär 50 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år från olika punktkällor som är infångningsbara. Majoriteten av CO<sub>2</sub>-källorna har relativt låg koncentration (<15%). Den återvinningsbara mängden CO<sub>2</sub> från samtliga inkluderade punktkällor i Sverige kan potentiellt sett producera elektrobränslen motsvarande 2-3 gånger den nuvarande svenska drivmedelsanvändningen. Om istället bara källor med hög koncentration (<90%) beaktas kan ungefär 2% (motsvarande 1,5-2 TWh/år) av dagens svenska drivmedelsanvändning mötas med elektrobränslen. I ett scenario för 2030, med en storskalig introduktion av biodrivmedelsproduktionsanläggningar baserade på skogsbiomassa ökar elektrobränslepotentialen från källor med hög CO<sub>2</sub>-koncentration till 8-11 TWh/år.

Olika sätt att producera elektrobränslen och tillhörande kostnader har kartlagts och analyserats och redovisas i Brynolf et al. (2016), Taljegård et al. (2015) och Grahn et al. (2016a). Både olika kostnadsuppskattningar för elektrobränslen och för de olika produktionsstegen har granskats och en känslighetsanalys av parametrarna med störst påverkan på den totala produktionskostnaden har utförts. Följande drivmedel ingår i studien: metan, metanol, dimetyleter, diesel och bensin. Litteraturgenomgången visar på stora skillnader mellan olika studier och ett brett intervall för uppskattningar av produktionskostnaden, 10-3500 €<sub>2015</sub>/MWh<sub>fuel</sub>, beroende på bl.a tidsperspektiv, reaktorstorlek och om indirekta installationskostnader inkluderats eller ej. Två faktorer som påverkar produktionskostnaden för elektrobränslen är elektrolysörens kapitalkostnad och elpriset. Vår analys föreslår kostnader för ett referensscenario (med alkaline-elektrolysör och en kapacitetsfaktor på 80%, en syntetiseringsreaktor på 5 MW för 2015 respektive 50 MW för 2030), på 120-1050

€/MWh<sub>fuel</sub> 2015 och 100-430 €/MWh<sub>fuel</sub> 2030. Jämfört med produktionskostnader för olika slags biodrivmedel är dessa kostnadsuppskattningar i samma storleksordning men i det övre intervallet eller högre.

En inledande analys av under vilka förutsättningar som elektrobränslen kan vara ett kostnadseffektivt val av drivmedel i ett framtida globalt energisystem har utförts och redovisas i Grahn et al. (2016b). Den väletablerade energisystemmodellen GET har utvecklats för att inkludera elektrobränsle som ytterligare ett drivmedelsalternativ.

Några utvalda slutsatser följer.

- Elektrobränslen i förbränningsmotorer kräver betydligt mer energi än batteridrivna elfordon och vätgas som används i bränsleceller.
- Jämfört med biodrivmedel visar våra uppskattningar att produktionskostnaden för elektrobränslen ligger i samma storleksordning men i det övre intervallet eller högre.
- Energisystemmodelleringen indikerar som väntat att elektrobränslen inte är det mest kostnadseffektiva valet för vägtransport. Men under vissa omständigheter (t ex när man antar relativt höga kostnader för andra alternativ) kan elektrobränslen utgöra ett komplement till batteridrivna elfordon och vätgas i bränsleceller i ett scenario där den globala vägtransportsektorn ska nå nära noll CO<sub>2</sub>-utsläpp.
- Kostnadseffektiviteten för elektrobränslen beror på tillgången på avancerade CO<sub>2</sub>-minskningstekniker, t.ex. CO<sub>2</sub>-infångning och lagring (CCS) och kostnaden för konkurrerande tekniker. Den beror även på kostnaden för syntesreaktorn och elektrolysören som behövs vid elektrobränsleproduktionen, samt på elpriset.
- På kort sikt verkar inte CO<sub>2</sub>-tillgången utgöra en begränsande faktor, men behovet av förnybar el utgör en begränsande faktor, speciellt vid introduktion i stor skala. Elpriset i sig är också en utmaning för elektrobränslen.

Studiens resultat och slutsatser utgör underlag för industrin och politiker i den komplexa uppgiften att välja förnyelsebara bränslen. Projektets resultat har därför presenterats vid ett stort antal konferenser och seminarier (fler än 25). Det verkar finnas ett stort intresse för elektrobränslets möjligheter och utmaningar.



## REFERENCES

Brynnolf, S., Taljegård, M., Grahn, M., Hansson, J., 2016. Electrofuels for the transport sector: a review of production costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2017),

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.288>

Grahn, M., Brynnolf, S., Taljegård, M., Hansson, J., 2016a. Electrofuels: a review of pathways and production costs. Tailor-Made Fuels – From Production to Propulsion, 4th International Conference of the Cluster of Excellence “Tailor-Made Fuels from Biomass”, Aachen, Germany, 21-23 June 2016.

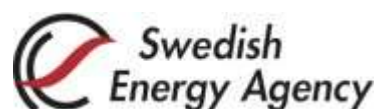
Grahn, M., Brynnolf, S., Hansson, J., Taljegård, M., 2016b. The cost-effectiveness of electrofuels in comparison to other alternative fuels for transport in a low carbon future. Proceedings of the 24th European Biomass Conference & Exhibition, Amsterdam, the Netherlands, 6-9 June 2016.

Hansson, J., Hackl, R., Taljegård, M., Brynnolf, S. and Grahn, M. (2017). The Potential for Electrofuels Production in Sweden Utilizing Fossil and Biogenic CO<sub>2</sub> Point Sources. *Front. Energy Res.* 5:4. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00004>

Taljegård, M., Brynnolf, S., Hansson, J., Hackl, R., Grahn, M., Andersson, K., 2015. Electrofuels – a possibility for shipping in a low carbon future? Proceedings of the International Conference on Shipping in Changing Climates (SCC) 2015, Glasgow, UK, 24-26 November.



[www.f3centre.se](http://www.f3centre.se)



[www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)