

Delrapport 2

Biogasreforming

Ellen Grantinger, Martin Jangö Fornander

Innehållsförteckning

1. Vätgas	1
2. Process vid ångreforming	2
3. Beräkning av potentiell vätgasproduktion.....	2
3.1 Faktorer som påverkar potentiellt utbyte av vätgas	3
Referenser	5

1. Vätgas

Vätgas kan framställas genom flera tekniker, där de vanligaste är elektrolys, reformering och förgasning (Vätgas Sverige u.å.c). Produktion av vätgas från biogas är en metod för att omvandla biologiskt avfall till en ren energibärare. Beroende på råvaran kan vätgas produceras både fossilt och fossilfritt, exempelvis från naturgas, vatten och biogas (Naturskyddsföreningen u.å.a).

Som energibärare kan vätgas lagras, distribueras och omvandlas till energi vid behov. Det här gör den till en flexibel komponent i energisystemet eftersom den kan produceras vid ett tillfälle och användas vid ett annat, transporteras till olika användningsområden samt nyttjas i flera sektorer. I takt med att andelen förnybara energikällor ökar förväntas vätgas därför spela en viktig roll för att balansera energiförsörjningen och bidra till systemets stabilitet.

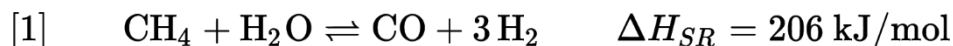
Att reformera biogas till vätgas medför flera fördelar jämfört med att använda biogasen direkt som bränsle. Vätgas har en högre verkningsgrad än fordonsgas (metan, CH₄) i bränsleceller och förbränningsmotorer, vilket gör den särskilt attraktiv för transportsektorn och industriella tillämpningar. Vidare är de eventuella restprodukterna vid förbränning av vätgas enbart vattenånga, medan biogasförbränning resulterar i koldioxidutsläpp samt andra emissioner. Det är dock viktigt att beakta att koldioxid frigörs under reformeringsprocessen. Denna koldioxid kan, till skillnad från förbränning av biogas, fångas in och användas

eller lagras. Det här kan bidra till att minska den totala klimatpåverkan från processen. Dessutom kan vätgas lagras genom trycksättning, vilket möjliggör en mer effektiv energiförsörjning (Vätgas Sverige u.å.d).

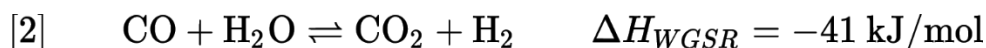
Genom att reformera biogas till vätgas skapas en mer flexibel och utsläppssnål energikälla, samtidigt som restvärmen från processen kan återvinnas för uppvärmning eller rötningsprocesser. Det här gör vätgas till ett attraktivt alternativ för att maximera biogasens energipotential och minska beroendet av fossila bränslen. Reformering av biogas till vätgas ger även ett ökat produktvärde då marknaden för vätgas är större som följd av fler användningsområden (Vätgas Sverige u.å.a).

2. Process vid ångreforming

Reformeringen (även kallad ångreforming) sker oftast i så kallade membranreaktorer. I dessa upphettas metan tillsammans mycket het ånga (mellan 700 och 1100 °C) i omedelbar närhet till tunna, katalytiska membran, på vilka metan och vattenånga separerar till vätgas och koldioxid i en mycket endoterm reaktion (Wang & Economides 2009) (Wikipedia, 2025-04-03).



Kolmonoxiden kan sedan reagera med ytterligare vattenånga i reaktorn och bilda vätgas och koldioxid i en något exoterm reaktion.



Vätgasen klassificeras som grå (råmaterialet är naturgas och koldioxiden släpps ut i atmosfären), blå (koldioxiden är mestadels infångad och lagrad) eller grön (vätgas elektrolyseras direkt från rent vatten via låg- eller utsläppsfri elektricitet eller spillvärme). Ångreforming av naturgas är den absolut vanligast förekommande produktionen av vätgas världen över (Naturskyddsföreningen u.å.b).

Metacon producerar i dagsläget grå och blå vätgas med ångreforming i membranreaktorer; ett CCS-system kan kopplas på som slutsteg vilket minskar koldioxidutsläppen avsevärt (Metacon 2025-04-01). Infångandet och lagring av koldioxid är dock fortfarande mycket dyrt och ökar priset på vätgasen avsevärt.

3. Beräkning av potentiell vätgasproduktion

För att kunna uppskatta den producerade mängd vätgas av en given mängd biogas krävs en systematisk beräkningsmetod. I den här rapporten används specifikationer för reformeringsutrustning med varierande vätgas-kapacitet,

uttryckt i (Nm³/h). Även om den producerade volymen skiljer sig åt, är det övergripande tillvägagångssättet detsamma. Beräkningen utgår från biogasens sammansättning, framför allt dess metanhalt, och tar därefter hänsyn till processens kemiska effektivitet samt förluster i reningssteg.

Givet att biogasens metanhalt är känd, kan mängden metan i biogasen beräknas enligt:

$$m(CH_4) = m(biogas) \cdot metanhalt$$

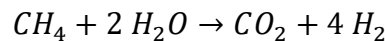
Där:

$m(CH_4)$ = mängd metan (kg)

$m(biogas)$ = total mängd biogas (kg)

$m(biogas)$ = andel metan i biogasen (%)

Vid ångreforming (se ekvation [1] respektive [2]) omvandlas metan (CH₄) enligt reaktionsmekanismen:



Det innebär att varje mol metan teoretiskt kan generera fyra mol vätgas. I praktiken motsvarar detta att 1 kg metan ger ungefär 0,5 kg vätgas. Den teoretiska vätgasproduktionen kan därmed uttryckas som:

$$m(H_{2,teoretisk}) = m(CH_4) \cdot 0,5$$

3.1 Faktorer som påverkar potentiellt utbyte av vätgas

Vid reformering av biogas till vätgas sker förluster som påverkar mängden vätgas som kan erhållas. De komponenter som används av Metacon för att producera vätgas genom ångreforming innefattar flera delsteg. Bland annat ett renings- eller separationssteg (som är ett mellansteg i den övergripande processen) som är avgörande för att uppnå önskad vätgasrenhet (*HHG Series* u.å.). I Metacons vätgasgenerator nyttjas 67 procent av den tillförda biogasen för att producera vätgas, resterande 33 procent återanvänds som energi i reformeringsprocessen (Forslund 2025).

Efter att vätgas har framställts av metan innehåller gasblandningen även andra restprodukter såsom koldioxid, kolmonoxid, metan och vattenånga. För att uppnå den höga renhet som krävs används vanligtvis *Pressure Swing Adsorption* (PSA) som är en avancerad separationsmetod baserad på skillnader i adsorptionsförmåga hos de olika gaserna. Renheten hos den erhållna vätgasen beror på systemets tekniska utformning samt processparametrar som trycknivåer och cykeltid. Vanligtvis uppnås en återvinningsgrad (andelen vätgas som effektivt kan

extraheras ur den ursprungliga biogasen) mellan 70-85 procent (Sircar et al. 1999).

För att ta hänsyn till dessa faktorer har en empiriskt baserad specifik förbrukning använts i denna studie. Den anger den mängd biogas som i praktiken krävs för att producera en viss volym vätgas, och inkluderar därmed effekterna av både reformeringsverkningsgrad och PSA-recovery. Enligt uppgifter från Metacons processdata ligger denna specifika förbrukning för biogas med metanhalt runt 60-62 vol.% mellan 0,75 och 0,8 m³ biogas per m³ producerad vätgas (verkningsgrad η) (Chalkidis 2025).

Den sammanfattande formeln för erhållen vätgas är:

$$m(H_{2,verkl\ddot{a}}) = m(H_{2,teoretisk}) \cdot 0,67 \cdot \eta$$

$$m(H_{2,verkl\ddot{a}}) = m(CH_4) \cdot 0,67 \cdot 0,5 \cdot \eta$$

För att förenkla analysen kan man uttrycka vätgasutbytet direkt som funktion av biogasens mängd och sammansättning, kan följande formel användas:

$$m(H_2) = m(biogas) \cdot (metanhalt) \cdot 0,67 \cdot 0,5 \cdot \eta$$

Formeln ger en uppskattning av hur mycket ren vätgas som kan produceras från en viss mängd biogas.

Det är viktigt att beakta att metanhalt i biogas vanligen anges i volymprocent, medan beräkningarna ovan baserades på massprocent. Eftersom metan och koldioxid har olika densiteter vid normala förhållanden måste volymprocenten omvandlas till massprocent enligt:

$$x_m = \frac{x_v \cdot \rho_{CH_4}}{x_v \cdot \rho_{CH_4} + (100 - x_v) \cdot \rho_{CO_2}} \cdot 100$$

Där:

x_m = massprocent metan i biogas (%)

x_v = volymprocent metan i biogas (%)

ρ_{CH_4} = densitet för metan vid 0 °C, 1 atm (0,72 kg / m³)

ρ_{CO_2} = densitet för koldioxid vid 0 °C, 1 atm (1,98 kg / m³) (Österman & Nordling 1996)

Den slutliga beräkningen för verklig vätgasproduktion från biogas blir därmed:

$$m(H_2) = m(biogas) \cdot x_m \cdot 0,67 \cdot 0,5 \cdot \eta$$

Denna formel ger ett uppskattat värde för den faktiska mängden vätgas som kan utvinnas från en given mängd biogas, med hänsyn till både metaninnehåll och reningsverkningsgrad.

Den producerade mängden vätgas kan omvandlas till motsvarande dielekvivalenter (liter) enligt följande:

$$Diselekv = m_{H_2} \frac{E_{H_2} \cdot \eta_{H_2}}{E_{diesel} \cdot \eta_{diesel}}$$

Energiinnehållet i ett kilo vätgas (E_{H_2}) är 33 kWh (Vätgas Sverige u.å.b), och den genomsnittliga verkningsgraden för en bränslecell (η_{H_2}) som används i fordon är 55 procent (U.S. Department of Energy Hydrogen Program 2006).

Energiinnehållet i en liter diesel (E_{diesel}) är 9,96 kWh (Karlsson & Johansson 2009), och den genomsnittliga verkningsgraden (η_{diesel}) är 37 procent (Wikipedia 2025). Vid insättning av dessa värden i ekvationen ovan, blir resultatet att ett kilo vätgas motsvarar cirka 4,9 liter diesel.

Flera faktorer påverkar den erhållna mängden vätgas vid reformering av vätgas. Generellt sett har metanhalt i biogasen en direkt påverkan på den producerade mängden vätgas. Det här då 1 mol metan, CH_4 , vid ideal reformering uppskattas ge upp till 4 mol vätgas (H_2). En ökad metanhalt resulterar följaktligen i mer producerad vätgas. Reformeringstemperatur och tryck, ång-/kolförhållandet, katalysatorns effektivitet samt förluster i reningssteget, vanligtvis PSA, är ytterligare faktorer som styr den totala mängden vätgas som erhålls av processen (Bruni et al. 2019).

Vid användning av biogas, till skillnad från naturgas, behöver även biogasens varierande sammansättning tas i beaktning. Biogas innehåller utöver metan även koldioxid samt ett mindre antal andra föroreningar. Föroreningar som, till exempel svavelväten, avskiljs före reformering för att undvika skador på eller förgiftning av katalysatorn (Gao et al. 2022). Beroende på variationer i substrattyp samt processparametrar kan biogasens metanhalt variera över tiden vilket ger motsvarande variationer i vätgasutbytet. Även vatteninnehållet i rågasen kan påverka processens värmebalans.

Referenser

- Bruni, G., Rizzello, C., Santucci, A., Alique, D., Incelli, M. & Tosti, S. (2019). On the energy efficiency of hydrogen production processes via steam reforming using membrane reactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (2), 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.095>
- Chalkidis, T. (2025). Efficiency Metacon
- Gao, Y., Jiang, J., Meng, Y., Ju, T. & Han, S. (2022). Influence of H_2S and NH_3 on biogas dry reforming using Ni catalyst: a study on single and synergetic

- effect. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17 (3), 32.
<https://doi.org/10.1007/s11783-023-1632-1>
- HHG Series (u.å.). Helbio Hydrogen & Energy Systems.
- Karlsson, I. & Johansson, A. (2009). *Beräkningsmodell för bensin respektive diesel förbrukning per kommun*. Statistiska centralbyrån.
https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/trafik/Berakningsmodell_SCB.pdf [2025-05-12]
- Naturskyddsföreningen (u.å.a). *Hur fungerar vätgas? Naturskyddsföreningen*.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vatgas/> [2025-04-04]
- Naturskyddsföreningen (u.å.b). *Hur fungerar vätgas? Naturskyddsföreningen*.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vatgas/> [2025-04-20]
- Sircar, S., Waldron, W.E., Rao, M.B. & Anand, M. (1999). Hydrogen production by hybrid SMR–PSA–SSF membrane system. *Separation and Purification Technology*, 17 (1), 11–20. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(99\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(99)00021-0)
- U.S. Department of Energy Hydrogen Program (2006). Hydrogen Fuel Cells. U.S. Department of Energy Hydrogen Program.
https://www.californiahydrogen.org/wp-content/uploads/files/doe_fuelcell_factsheet.pdf?utm_source=chatgpt.com [2025-05-12]
- Vätgas Sverige (u.å.a). *Energilagring. Vätgas Sverige*.
<https://vatgas.se/fakta/energi-lagring/> [2025-04-07]
- Vätgas Sverige (u.å.b). *FAQ*. <https://vatgas.se/fakta/faq/> [2025-05-12]
- Vätgas Sverige (u.å.c). *Hur tillverkas vätgas?* <https://vatgas.se/fakta/hur-tillverkas-vatgas/> [2025-05-19]
- Vätgas Sverige (u.å.d). *Vätgas och miljövinster*. <https://vatgas.se/fakta/vatgas-och-miljovinster/> [2025-04-07]
- Wang, X. & Economides, M. (2009). CHAPTER 7 - Gas-To-Liquids (GTL). I: Wang, X. & Economides, M. (red.) *Advanced Natural Gas Engineering*. Gulf Publishing Company. 243–287. <https://doi.org/10.1016/B978-1-933762-38-8.50014-9>
- Wikipedia (2025). *Diesel engine*.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diesel_engine&oldid=1288945396 [2025-05-12]
- Österman, J. & Nordling, C. (1996). *Physics Handbook*. 5e. uppl.