

Delrapport 3

Koldioxidberäkningar

Ellen Grantinger, Martin Jangö Fornander

Innehållsförteckning

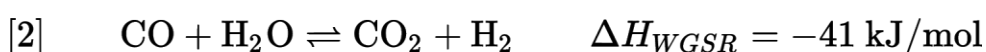
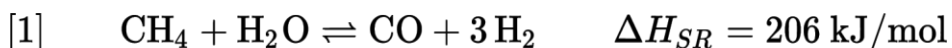
1.	Koldioxid och biogas	1
2.	Beräkningsmodell för frigjord koldioxid vid biogas-reformering	2
2.1	Koldioxidberäkningar med avseende på mängd ingående metan	2
2.2	Koldioxidberäkningar med avseende på mängd utgående vätgas	3
	Referenser	3

1. Koldioxid och biogas

Biogas som produceras lokalt på gårdar med restprodukter från jordbruket utgör ett exempel på en resurseffektiv och klimatmässigt fördelaktig energikälla. Dessa organiska restflöden, såsom gödsel och växtrester, har stor potential som substrat i biogasproduktion och möjliggör en cirkulär användning av näringsämnen och kolflöden inom lantbruket. Biogas består i regel av 50-70 procent metan (CH_4) och 30-50 procent koldioxid (CO_2) samt en mindre (och försumbar) andel av andra föreningar (Tanigawa u.å.). Vid vidare förädling av biogasen till vätgas (H_2) genom ångreformering bryts metanet ner i steg. Metanet reagerar först med vattenånga (H_2O) och bildar kolmonoxid och vätgas [1]. Kolmonoxiden reagerar sedan med ytterligare vattenånga och bildar koldioxid och vätgas [2]. Efter ångreformeringen har i princip allt kol i den ingående biogasen omvandlats till koldioxid.

För att bedöma klimatpåverkan och utvärdera potentialen för negativa utsläpp är det därför relevant att beräkna den totala mängd koldioxid som frigörs vid reformering. Det erhållna värdet baseras på biogasens sammansättning och kända kemiska reaktioner.

Den huvudsakliga omvandlingen av biogas till vätgas sker genom ångreformering och kan sammanfattas med följande kemiska reaktioner:



2. Beräkningsmodell för frigjord koldioxid vid biogas-reformering

2.1 Koldioxidberäkningar med avseende på mängd ingående metan

Den frigjorda mängden koldioxid vid reformering kan beräknas med hjälp av tidigare kemiska reaktioner (se ekvation [1] och [2]). Eftersom 1 mol metan (16 g/mol) genererar 1 mol koldioxid (44 g/mol) vid fullständig reformering, ges förhållandet:

$$\frac{1 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } CH_4} = \frac{44 \text{ g } CO_2}{16 \text{ g } CH_4} = 2,75 \text{ g } CO_2 / \text{g } CH_4$$

Biogasens sammansättning anges i volymprocent (molprocent) och behöver omräknas till volymbaserat värde för att mängden CO_2 per Nm^3 biogas. Detta görs genom att multiplicera med metanets densitet vid normala förhållanden (0 °C, 1 atm), vilket är:

$$\rho_{CH_4} = 0,716 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ (Österman \& Nordling 1996).}$$

Därmed blir mängden koldioxid som bildas per Nm^3 metan:

$$m(CO_2)_{reforming} = 2,75 \cdot \rho_{CH_4} = 2,75 \cdot 0,716 = 1,97 \text{ kg } CO_2 / Nm^3 \text{ } CH_4$$

Den använda tekniken som nyttjas i Metacons produkter kräver att bi gasen som reformeras har en metanhalt på minst 65 procent (Hofmann, pers.komm.). Vid en metanhalt på 65 procent innebär det att varje Nm^3 biogas består av 0,65 Nm^3 CH_4 och 0,35 Nm^3 CO_2 .

För att beräkna den totala koldioxidmängden som släpps ut vid reformering behövs även den ursprungliga mängden koldioxid i den ingående bi gasen adderas. Denna koldioxid frigörs inte i reaktionen men ingår ändå i gasströmmen som hanteras och kan potentiellt avskiljas och lagras. För beräkningar av producerad mängd metan, se delrapport 4. Med antagen densitet för koldioxid vid 0 °C, 1 atm, $\rho_{CO_2} = 1,98 \text{ kg} / \text{m}^3$ (Österman & Nordling 1996) fås:

$$m(CO_2)_{ingående} = (1 - x_{CH_4}) \cdot \rho_{CO_2} = (1 - x_{CH_4}) \cdot 1,98$$

Där x_{CH_4} är metanhalten i volymprocent.

Därmed kan den totala mängden koldioxid per Nm^3 biogas beskrivas med följande ekvation:

$$m(CO_2) = x_{CH_4} \cdot 1,97 + (1 - x_{CH_4}) \cdot \rho_{CO_2} = x_{CH_4} \cdot 1,97 + (1 - x_{CH_4}) \cdot 1,98$$

Med tidigare antagen metanhalt på 65 procent skulle den totala mängden koldioxidutsläpp från reformeringsprocess och ursprunglig koldioxid uppskattas till 1,97 kg CO_2 per Nm^3 biogas.

2.2 Koldioxidberäkningar med avseende på mängd utgående vätgas

Koldioxidberäkningarna kan även göras med avseende på den mängd vätgas som produceras. Den frigjorda mängden koldioxid vid reformering ges återigen av ekvationerna [1] och [2] ovan. Vid fullständig reformering produceras 1 mol koldioxid (44 g/mol) för var fjärde mol vätgas (2 g/mol). Detta ger förhållandet:

$$\frac{1 \text{ mol } CO_2}{4 \text{ mol } H_2} = \frac{44 \text{ g } CO_2}{8 \text{ g } H_2} = 5,5 \text{ g } CO_2 / \text{g } H_2$$

För att beräkna den totala koldioxidmängden per kilo vätgas behöver även den koldioxid som ingår i den råa biogasen adderas. Mängden metan som krävs för att producera 1 kg vätgas kan beräknas utifrån att 1 mol CH_4 genererar 4 mol H_2 . Översatt till vikt fås att det krävs 2 kg metan för att producera 1 kg vätgas.

Vid en metanhalt på x_{CH_4} volymprocent innebär detta att den totala mängden koldioxid per kilo vätgas ges av:

$$m(CO_2) = 5,5 \text{ kg } CO_2 / \text{kg } H_2 + 2 \cdot \left(\frac{1 - x_{CH_4}}{x_{CH_4}} \right) \cdot 1,98$$

Givet en metanhalt på 65 procent skulle den totala mängden koldioxidutsläpp från reformeringsprocess och ursprunglig koldioxid uppskattas till 7,63 kg CO_2 per kg producerad vätgas.

Den producerade koldioxiden från ångreforming lämpar sig, istället för att släppas ut i atmosfären, väl för att fångas in och lagras genom Carbon Capture and Storage (CCS). Genom att integrera CCS-teknik i reformeringsprocessen kan den frigjorda koldioxiden separeras, komprimeras och lagras i geologiska formationer, vilket möjliggör en avskiljning av biogent CO_2 .

Referenser

- Tanigawa, S. (u.å.). *Fact Sheet | Biogas: Converting Waste to Energy | White Papers | EESI. Environmental and Energy Study Institute*. <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy> [2025-04-07]
- Österman, J. & Nordling, C. (1996). *Physics Handbook*. 5e. uppl.
- Personlig kommunikation: Hofmann, Christian, Chief Business Officer Reforming / Managing Director, Metacon. 2025-05-02