

## Ślad Węglowy: Potencjał globalnego ocieplenia biogenicznego metanu

Jan den Boer

Katedra Biogospodarki Stosowanej, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,  
ul. Chełmońskiego 37a, 51-630 Wrocław  
jan.denboer@upwr.edu.pl

Metan ( $\text{CH}_4$ ) jest jednym z gazów cieplarnianych powstających między innymi z rozkładu materii organicznej, w tym z odpadów organicznych powstających w procesach produkcji i przetwarzania mleka. W niekontrolowanych warunkach, metan dostaje się do atmosfery. Średni czas życia metanu w atmosferze wynosi 11,8 lat od momentu emisji. Podczas przebywania w atmosferze metan ulega rozkładowi w wyniku różnych procesów. Najczęstszą formą rozkładu jest utlenianie. Całkowite utlenianie metanu prowadzi ostatecznie do wytworzenia  $\text{CO}_2$  (atmosferyczny  $\text{CO}_2$ ) [1]. Jednak nie cały wyemitowany metan ulegnie przemianom do  $\text{CO}_2$ . Wynika to z faktu, że nie wszystkie reakcje ostatecznie prowadzą do powstania  $\text{CO}_2$ . Niektóre produkty reakcji przemian metanu składają się z nie metanowych lotnych związków organicznych (NMLZO), głównie formaldehydu. Ponadto część węgla zawartego w metanie, na skutek jego przemian, zostanie pochłonięta przez gleby. Według Międzynarodowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC) szacunki powstawania  $\text{CO}_2$  z wyemitowanego metanu wynoszą od 61% [1] do 88% [4]. W związku z czym można przyjąć, że zakres konwersji  $\text{CH}_4$  do  $\text{CO}_2$  w atmosferze waha się od 50 do 100% z wartością centralną 75% (niska pewność) [2]. Uwzględniając masy molowe metanu (16 g/mol),  $\text{CO}_2$  (44 g/mol) i średni uzysk  $\text{CO}_2$  z rozkładu metanu, można oszacować, że 1 jednostka masy metanu generuje  $2,1 \pm 0,7$  jednostki masy  $\text{CO}_2$ .

W przypadku emisji metanu (i innych węglowodorów) ze źródeł kopalnych, ilość powstałego  $\text{CO}_2$  z metanu należy powiększyć dodatkowo o wielkość emisji kopalnego  $\text{CO}_2$  do atmosfery. Jeżeli metan pochodzi ze źródeł biogenicznych, powstały na skutek jego rozkładu  $\text{CO}_2$  zastępuje  $\text{CO}_2$ , który został w ostatnim czasie usunięty z atmosfery (tzw. krótki cykl węglowy: węgiel został wychwycony przez rośliny niedługo przed emisją powstałego metanu). W przypadku metanu kopalnego, proces wychwytywania węgla miał miejsce kilka tysięcy lat wcześniej: długi cykl węglowy. W związku z czym, w przypadku metanu powstałego ze źródeł kopalnych, powstały  $\text{CO}_2$  jest uważany za  $\text{CO}_2$  kopalny, podczas gdy w przypadku metanu biogenicznego, powstały  $\text{CO}_2$  jest uważany za  $\text{CO}_2$  biogenne. Emisji biogenicznego  $\text{CO}_2$  nie wlicza się do współczynnika ocieplenia globalnego, gdyż uważa się go za węgiel krótko cykliczny (węgiel, który stosunkowo niedawno przed emisją został pobrany z atmosfery podczas procesów wzrostu roślin (fotosyntezy)). Metan biogenne pochodzi z roślin, które pojawiły się stosunkowo niedawno. Wzrost roślin opiera się na pobieraniu węgla atmosferycznego ( $\text{CO}_2$ ) w tzw. długim cyklu węglowym.



Dlatego też wspomniane powyżej pobieranie CO<sub>2</sub> przez glebę (podczas utleniania metanu) i usuwanie częściowo utlenionych produktów degradacji metanu w rzeczywistości stanowi formę sekwestracji (pochłaniania atmosferycznego węgla o długim cyklu życia). IPCC szacuje tę sekwestrację węgla na 0,7 ± 0,7 kg CO<sub>2</sub> na kg wyemitowanego metanu [2].

Całkowity udział efektu utleniania w wartościach potencjału globalnego ocieplenia metanu można zatem oszacować na 2,8 kg ekwiwalentu CO<sub>2</sub> na kg metanu: zatem uważa się, że kg metanu kopalnego generuje o 2,8 kg CO<sub>2</sub>e więcej niż metan biogeniczny. Należy jednak zachować ostrożność podczas liczenia, ponieważ CO<sub>2</sub> z utleniania metanu może być już uwzględniony w sumie właściwych emisji CO<sub>2</sub> [3]. W poniższej tabeli przedstawiono szacunki potencjału globalnego ocieplenia dla głównych substancji przyczyniających się do niego na podstawie najnowszego raportu (AR6) IPCC [2].

Tabela 1. Czas życia związków w atmosferze i potencjał globalnego ocieplenia (GWP) w odniesieniu do CO<sub>2</sub> w różnych horyzontach czasowych dla różnych gazów cieplarnianych [2].

Związek	Żywotność [lata]	Wydajność radiacyjna [W×m <sup>-2</sup> ×ppb <sup>-1</sup> ]	GWP-20	GWP-100	GWP-500
CO <sub>2</sub>	Wiele	1,33 ± 0,16 × 10 <sup>-5</sup>	1,000	1,000	1,000
CH <sub>4</sub> kopalny	11,8 ± 1,8	5,7 ± 1,4 × 10 <sup>-4</sup>	82,5 ± 25,8	29,8 ± 11	10,0 ± 3,8
CH <sub>4</sub> biogeny	11,8 ± 1,8	5,7 ± 1,4 × 10 <sup>-4</sup>	79,7 ± 25,8	27,0 ± 11	7,2 ± 3,8
N <sub>2</sub> O	109 ± 10	2,8 ± 1,1 × 10 <sup>-3</sup>	273 ± 118	273 ± 130	273 ± 130
HFC-32	5,4 ± 1,1	1,1 ± 0,2 × 10 <sup>-1</sup>	2693 ± 842	771 ± 292	220 ± 87
HFC-134a	14,0 ± 2,8	1,67 ± 0,32 × 10 <sup>-1</sup>	4144 ± 1160	1526 ± 577	436 ± 173
CFC-11	52,0 ± 10,4	2,91 ± 0,65 × 10 <sup>-1</sup>	8321 ± 2419	6226 ± 2297	2093 ± 865
PFC-14	50 000	9,89 ± 0,19 × 10 <sup>-2</sup>	5301 ± 1395	7380 ± 2430	10587 ± 3692

## Literatura

1. Boucher, O., P. Friedlingstein, B. Collins, and K.P. Shine, 2009: The indirect global warming potential and global temperature change potential due to methane oxidation. Environmental Research Letters, 4(4), 044007, doi:10.1088/1748-9326/4/4/044007.



2. Forster, P., T. Storelvmo, K. Armour, W. Collins, J.-L. Dufresne, D. Frame, D.J. Lunt, T. Mauritsen, M.D. Palmer, M. Watanabe, M. Wild, and H. Zhang, 2021: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054, doi:10.1017/9781009157896.009.
3. Muñoz, I. and J.H. Schmidt, 2016: Methane oxidation, biogenic carbon, and the IPCC's emission metrics. Proposal for a consistent greenhouse-gas accounting. The International Journal of Life Cycle Assessment, 21(8), 1069–1075, doi:10.1007/s11367-016-1091-z.
4. Shindell, D.T., J.S. Fuglestedt, and W.J. Collins, 2017: The social cost of methane: theory and applications. Faraday Discussions, 200, 429–451, doi:10.1039/c7fd00009j.