



INSTITUTE OF
AGROPHYSICS
PAS

Czynniki zwiększające i hamujące utlenianie metanu (CH_4) w glebach użytkowanych rolniczo

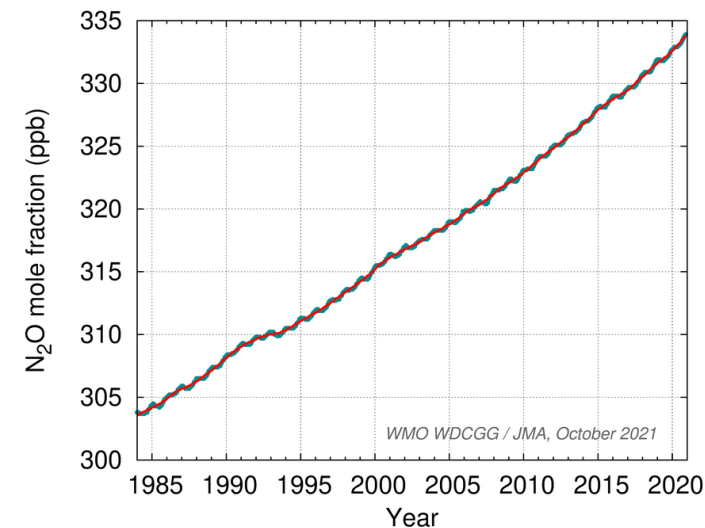
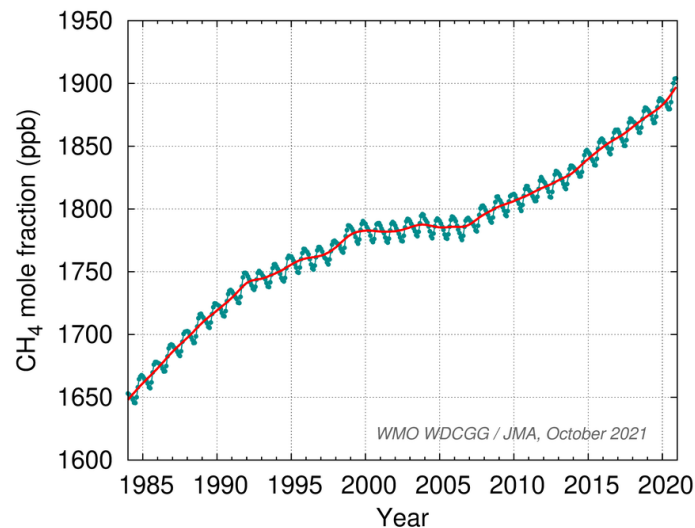
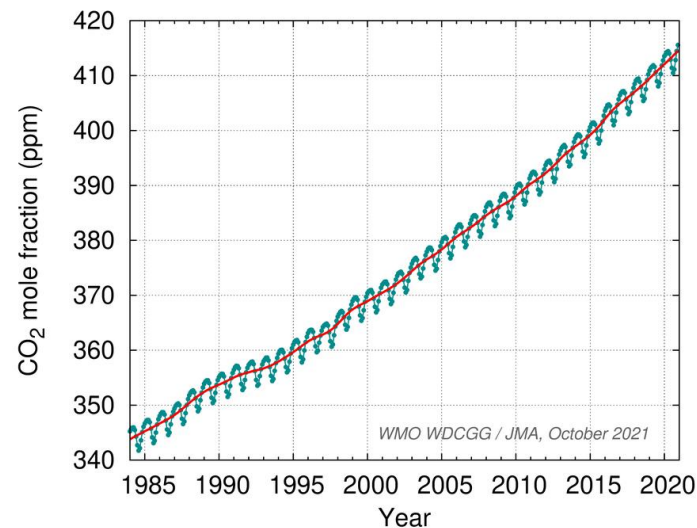
Adrianna Rafalska*, Adam Kubaczyński, Anna Walkiewicz

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

*E-mail: adrianna.rafalska@ipan.lublin.pl

Gazy cieplarniane

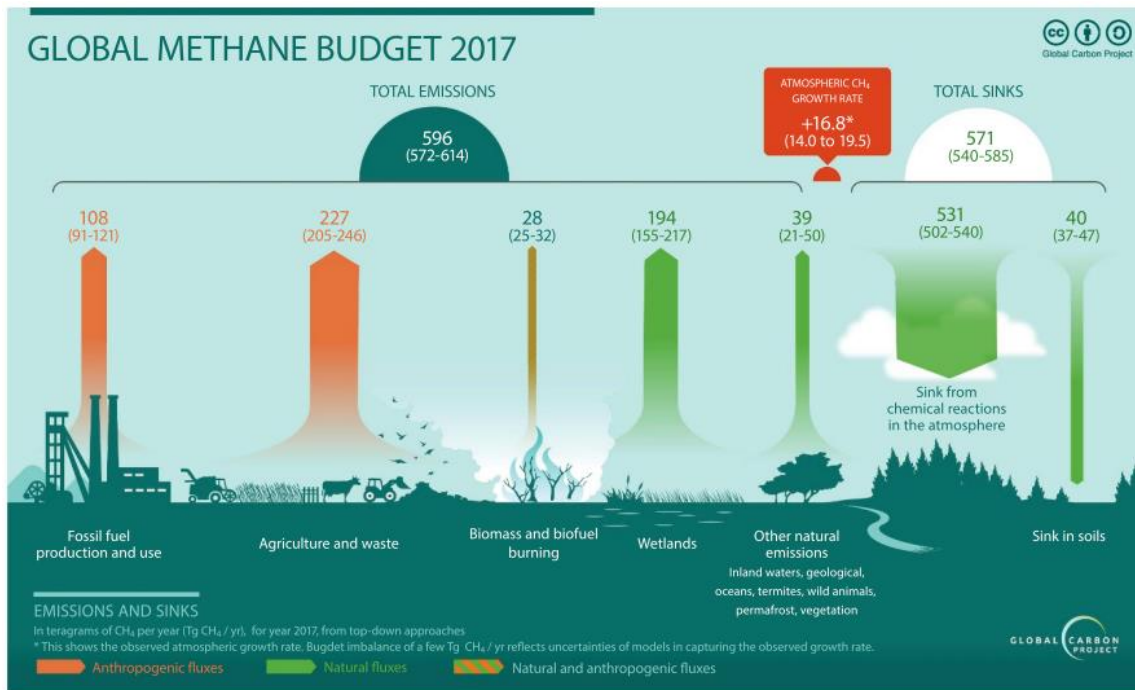
Gaz	Wzór chemiczny	Czas życia w atmosferze (lata)	GWP ₁₀₀	Stężenie w atmosferze w 2020 roku	Wzrost stężenia od 1750 roku
Dwutlenek węgla	CO ₂	n/a	1	413,2 ± 0.2 ppm	149%
Metan	CH ₄	12	23	1889 ± 2 ppb	262%
Podtlenek azotu	N ₂ O	144	296	333,2 ± 0,1 ppb	123%



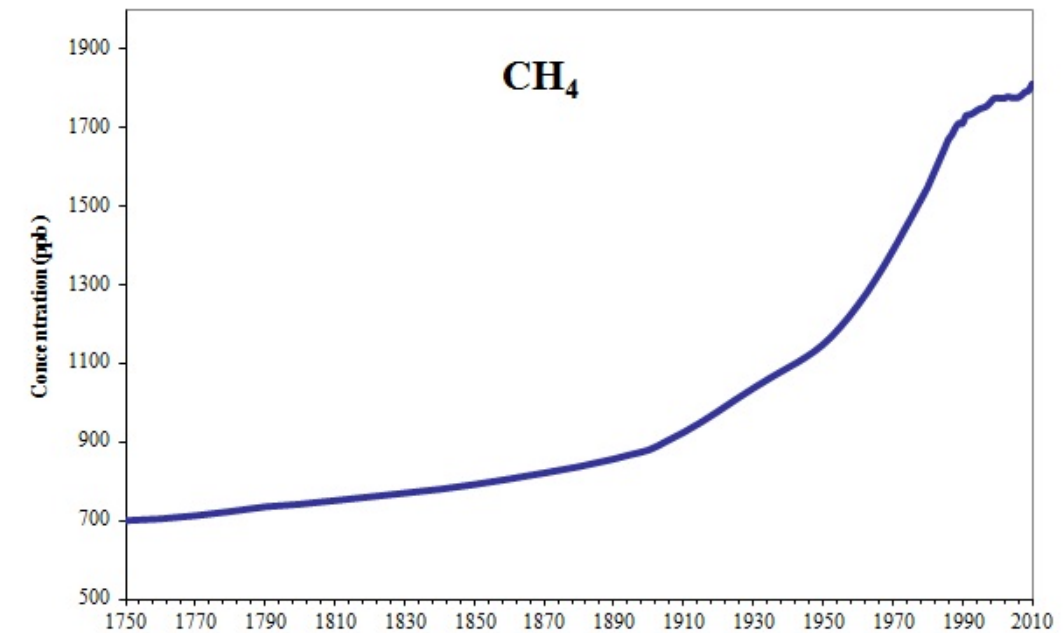
Wzrost średniego globalnego stężenia gazów cieplarnianych (CO₂, CH₄, N₂O) w latach 1984-2020
(WMO Greenhouse Gas Bulletin, No.17, 2021)

Metan (CH_4)

- Jeden z najważniejszych gazów cieplarnianych.
- Głównym **naturalnym źródłem** emisji CH_4 są **mokradła**, natomiast **źródłem antropogenicznym** – **rolnictwo** (m.in. hodowla przeżuwaczy oraz uprawa ryżu).



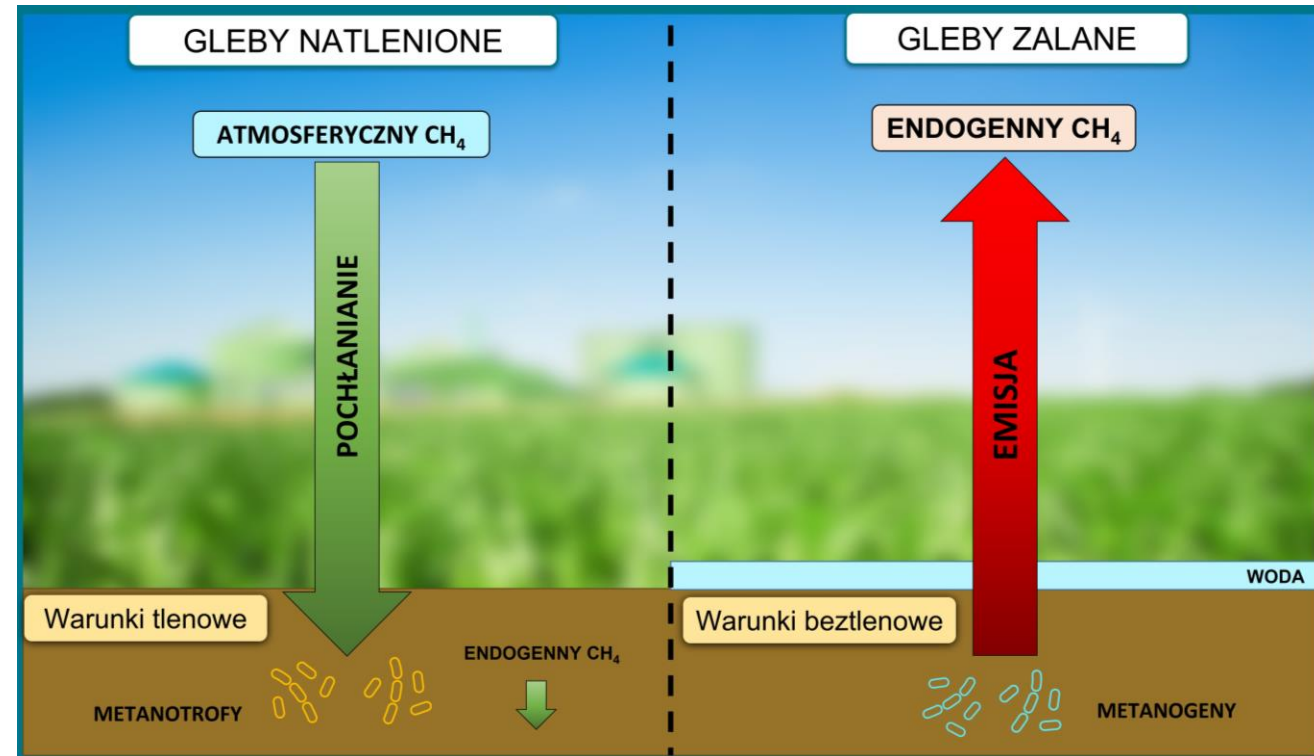
Globalny bilans metanu (dane dla roku 2017; Jackson et al., 2020)



Wzrost globalnego stężenia atmosferycznego CH_4 od 1750 roku (European Environment Agency 2013)

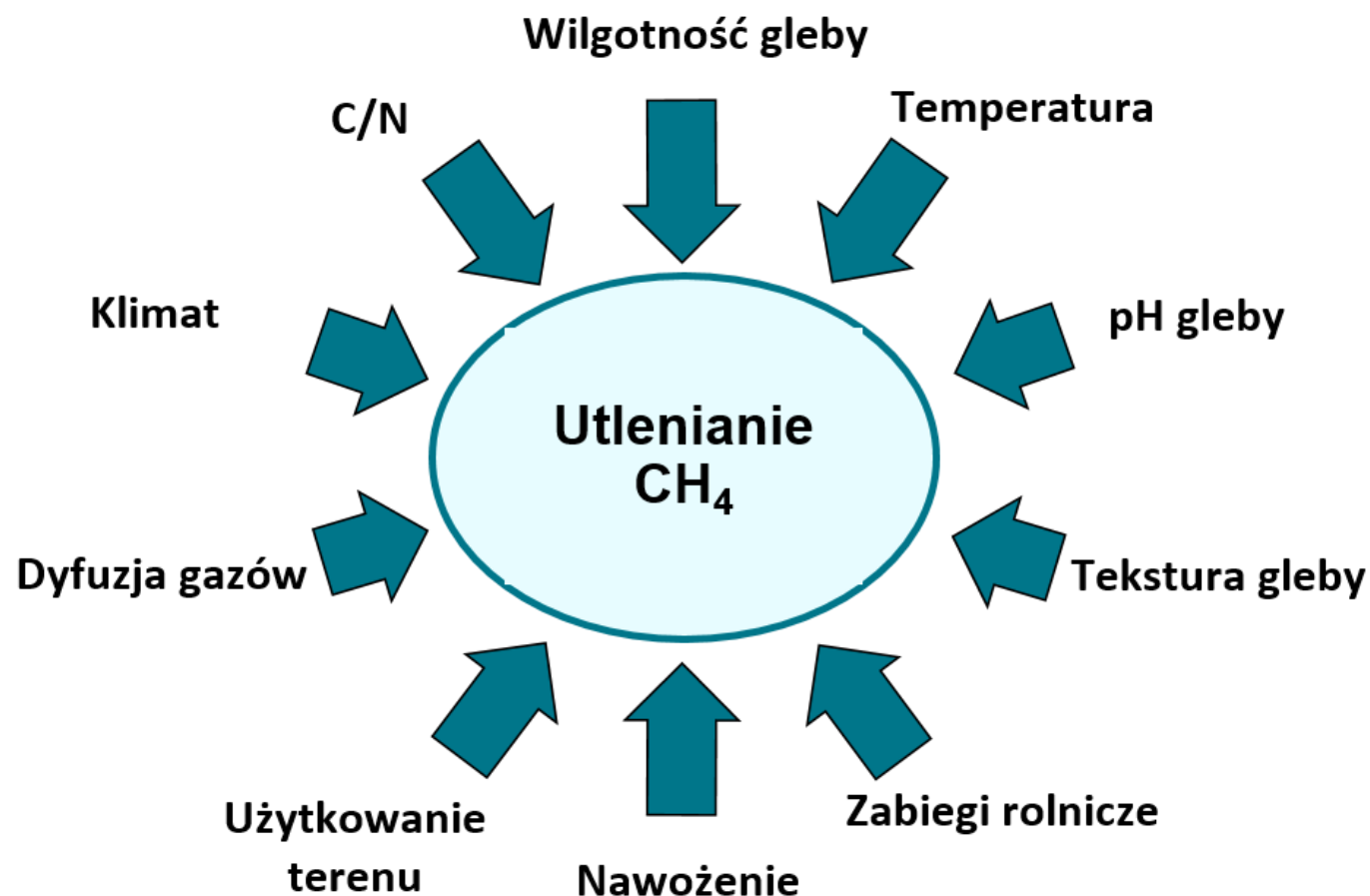
Znaczenie gleb w pochłanianiu CH_4

- Większość atmosferycznego CH_4 (ok. 90%) utleniana jest w troposferze.
- Natlenione gleby są drugim co do wielkości i jedynym biologicznym pochłaniaczem CH_4 .
- Odpowiadają za 6-10% całkowitego utleniania atmosferycznego CH_4 .
- Zdolność gleb do utleniania CH_4 wynika z obecności **bakterii metanotroficznych**, które wykorzystują CH_4 jako **źródło energii i węgla**.
- Metanotrofy utleniają ok. **27-42 Tg CH_4 rocznie**.



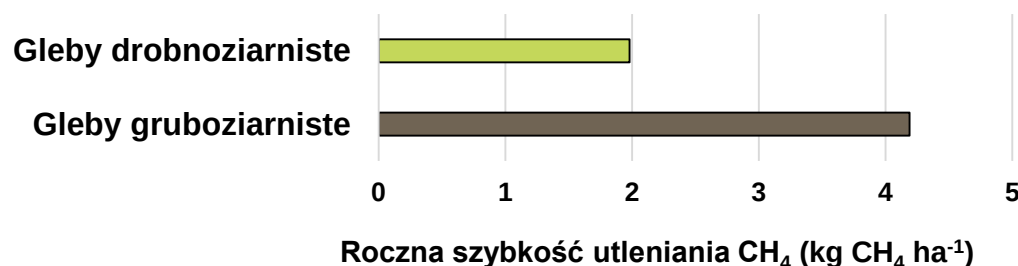
Udział gleb w pochłanianiu i emisji CH_4

Czynniki regulujące utlenianie CH_4



Wilgotność i tekstura gleby

- Optymalna wilgotność gleby dla utleniania CH_4 : **13-25% w/w** lub **30-60% WHC**.
- Utlenianie CH_4 zazwyczaj jest redukowane, kiedy rośnie zawartość wody w glebie.
- **Gleby gruboziarniste (piaszczyste)** szybciej utleniają CH_4 niż gleby o mniejszej średnicy cząstek.
- **Gleby drobnoziarniste (pyłaste i ilaste)** charakteryzują się wysoką retencją wody, a przez to mniejszą przepuszczalnością gazów.



Różnice w utlenianiu CH_4 pomiędzy glebami o różnym uziarnieniu
(Dutaur and Verchot, 2007)

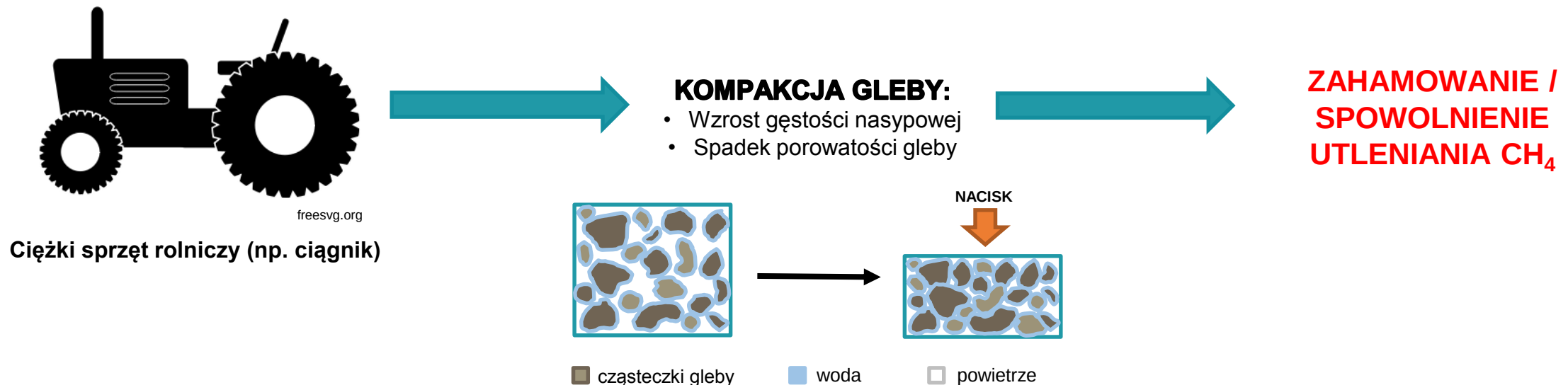
Tekstura gleby	Wysoka wilgotność	Niska wilgotność
GLEBY GRUBOZIARNISTE ($d > 0,1 \text{ mm}$)*	Obecność dużej ilości makroporów zapewnia lepszą dyfuzję gazową = wzrost lub brak wpływu na metanotrofię	Brak wystarczającej dostępności wody dla metanotrofów i narażenie na stres suszy = redukcja lub inhibicja metanotrofii
	Ograniczenie dyfuzji i transportu gazów (głównie O_2 i CH_4) – mniejsza dostępność substratów dla metanotrofów = redukcja lub inhibicja metanotrofii	Dłuższe utrzymywanie optymalnej wilgotności dla metanotrofów w mikroporach = wzrost szybkości utleniania CH_4

*d – średnica ziaren

Wpływ tekstury gleby i wilgotności na utlenianie CH_4
(Dijkstra et al., 2012, Von Fischer et al., 2009, Hartmann et al., 2011)

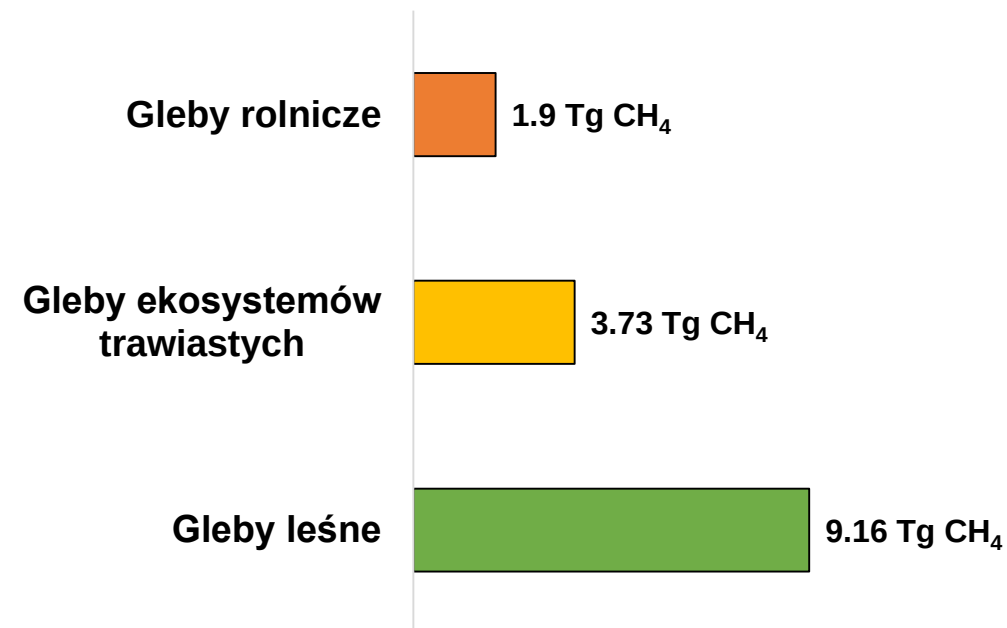
Gęstość gleby

- Wpływa na dyfuzję gazów w glebie (głównie dostępność O_2 i CH_4 dla mikrobów).
- Wraz ze wzrostem gęstości maleje porowatość gleby.
- Im wyższa wartość gęstości gleby, tym obniżona szybkość utleniania CH_4 .
- Gleby charakteryzujące się dużą zdolnością do utleniania CH_4 mają zazwyczaj niską gęstość oraz wysoką porowatość, z powodu swobodnej dyfuzji gazów w profilu glebowym.
- W glebach rolniczych gęstość gleby może wzrastać ze względu na używanie ciężkiego sprzętu rolniczego.



Użytkowanie terenu

- Różnice w utlenianiu CH_4 przez gleby w znacznym stopniu zależą od **sposobu ich użytkowania**.
- **Zmiany użytkowania terenu** (zwłaszcza przekształcenie go pod uprawę) **silnie obniża zdolność gleb do utleniania CH_4** .
- Regularna uprawa roli oraz zabiegi agrotechniczne zaburzają oryginalną strukturę gleby oraz zmieniają jej właściwości biologiczne, chemiczne i fizyczne, co negatywnie wpływa na aktywność metanotroficzną w glebach rolniczych.
- Gleby, na których zaprzestano działalności rolniczej, wykazują wzrost pochłaniania CH_4 .

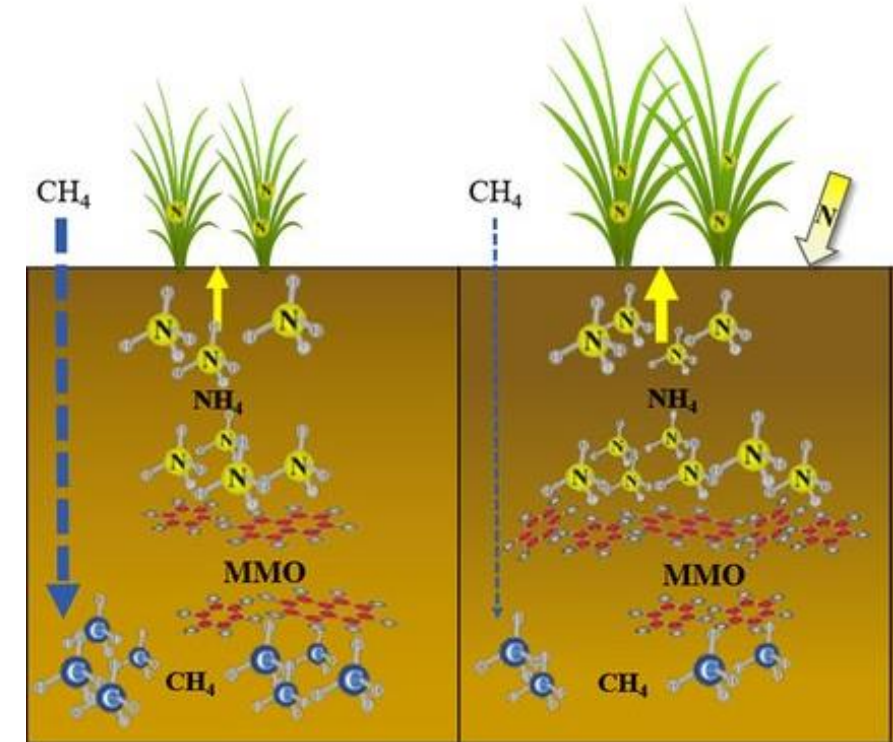


Roczna szybkość utleniania CH_4 przez gleby różnych ekosystemów

(Smith et al., 2000; Yu et al., 2017)

Nawożenie

- Stosowanie nawozów azotowych może hamować utlenianie CH_4 poprzez promowanie utleniania amoniaku.
- **Monooksygenaza metanowa** – enzym katalizujący pierwszy etap utleniania CH_4 - może wykorzystywać jako substrat także amoniak. W przypadku dużego stężenia NH_4^+ zachodzi **inhibicja kompetycyjna** pomiędzy NH_4^+ i CH_4 ze względu na ich podobną strukturę. Nawozy zawierające NH_4^+ wykazują silniejsze hamowanie utleniania CH_4 niż nawozy zawierające NO_3^- .
- Aplikacja nawozów nieorganicznych powoduje większą emisję CH_4 niż nawozów organicznych. Nieorganiczne nawozy azotowe są bardziej labilne a zawarty w nich azot jest łatwiej dostępny dla mikroorganizmów przeprowadzających procesy nityfikacji i denityfikacji.
- Wysokie dawki azotu ($>100 \text{ kg N ha}^{-1}$) redukują utlenianie CH_4 w glebach, natomiast niskie dawki ($<100 \text{ kg N ha}^{-1}$) mogą wykazywać działanie stymulujące pochłanianie CH_4 – zwłaszcza w glebach ubogich w azot.



Schemat przedstawiający konkurencję substratową pomiędzy CH_4 i NH_4^+ dla monooksygenazy metanowej w warunkach bez (z lewej) i po dodatku (z prawej) azotu (N).

(Zhang et al., 2020)



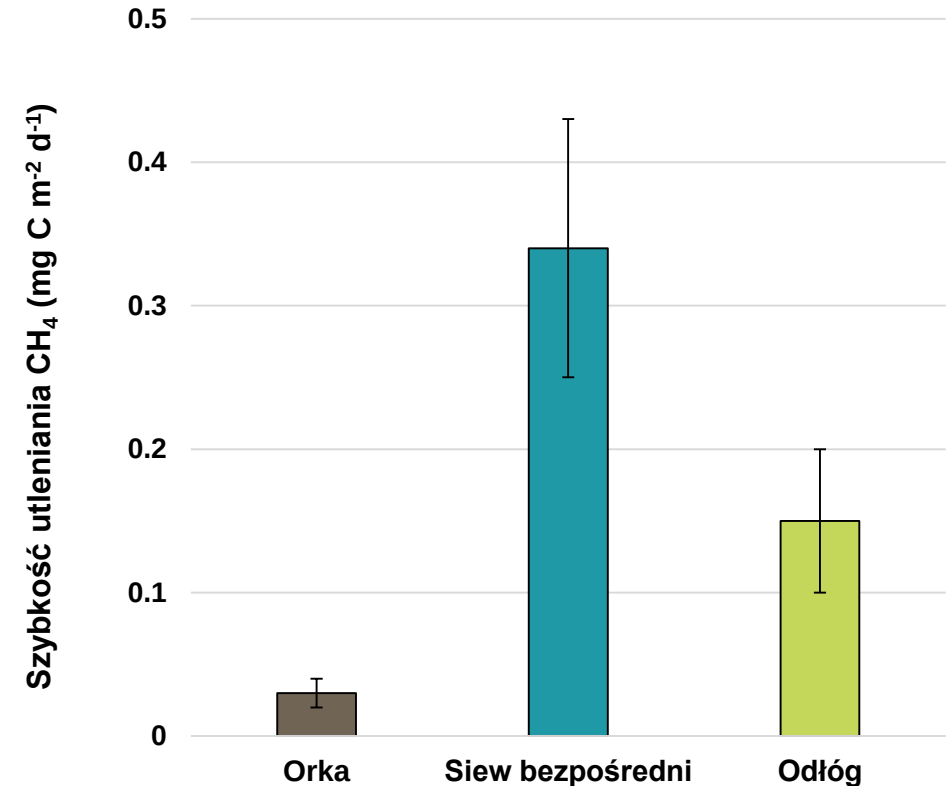
Orka

Szybkość utleniania CH_4 przez gleby poddane orce jest nawet **od 4,5 do 11 razy niższa** niż w glebach, na których zabieg nie był wykonywany.

Wpływ orki na utlenianie CH_4 :

- Zaburzenie funkcjonowania bakterii metanotroficznych przez znaczną ingerencję w strukturę gleby.
- Niszczzenie konsorcjów metanotrofów oraz niszy ekologicznych.
- Zmiany w dyfuzyjności gazów oraz innych parametrów wpływających negatywnie na aktywność metanotroficzną.
- Produkcja NH_4^+ na skutek wzmożonej mineralizacji bezpośrednio po orce.

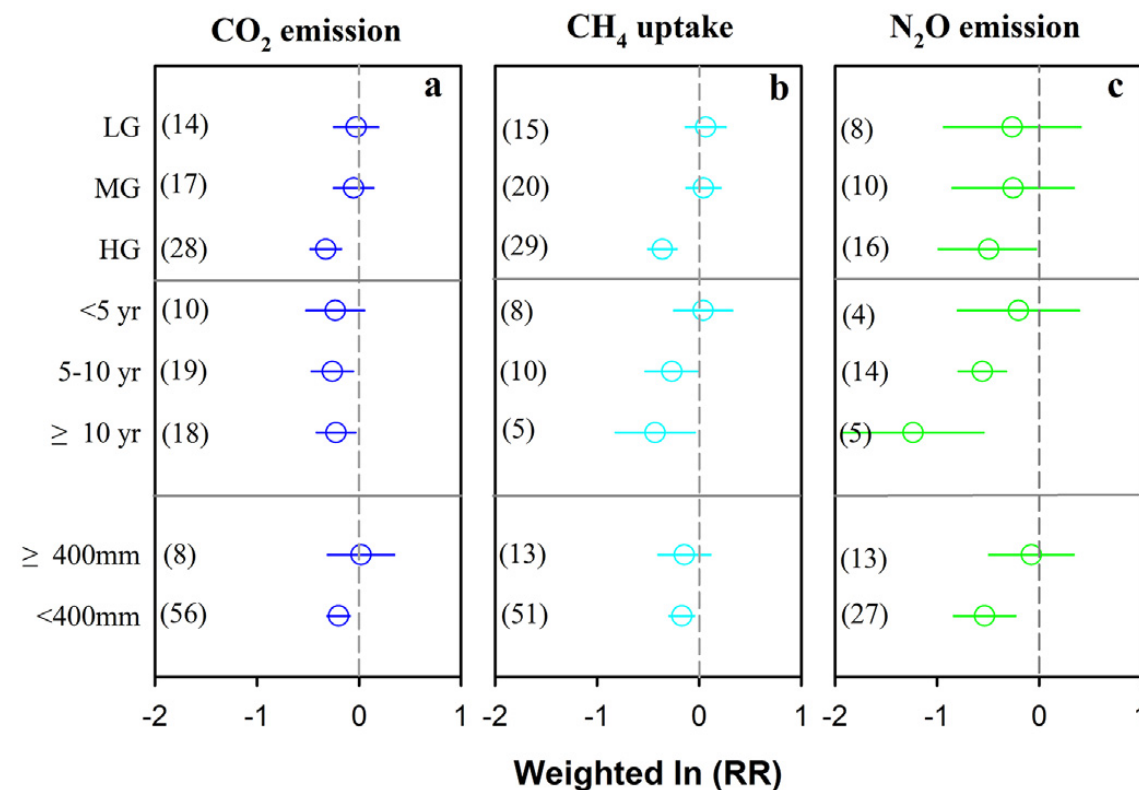
Siew bezpośredni stanowi alternatywną dla orki technikę uprawy roli. Mniejsza ingerencja w strukturę gleby i poprawa dyfuzji gazów zapewnia lepsze warunki dla funkcjonowania i rozwoju mikroorganizmów oraz zwiększa aktywność metanotroficzną.



Szybkość utleniania CH_4 przez gleby poddane różnym zabiegom rolniczym (Hütsch 1998)

Wypas zwierząt

- Wpływ wypasu na utlenianie CH_4 w dużym stopniu zależy od intensywności i długości trwania wypasu.
- Wypas zmienia produktywność roślin oraz biomasę nadziemną i podziemną, co może wpływać na temperaturę i wilgotność gleby.
- Ponadto zmienia także właściwości fizykochemiczne gleby, np.: zwiększa gęstość gleby i osłabia dyfuzyjność gazów.
- Wypasanie zwierząt modyfikuje również aktywność mikrobiologiczną gleby - może zmieniać skład i aktywność bakterii metanotroficznych.



Wpływ intensywności wypasu (LG – niska; MG – umiarkowana; HG – wysoka), czasu trwania wypasu oraz opadów atmosferycznych na pochłanianie CH_4 oraz emisję CO_2 i N_2O (Tang et al., 2019).

Podsumowanie

- Ekosystem gleby pełni kluczową rolę w obiegu CH_4 , ze szczególnym znaczeniem jego utleniania w kontekście mitygacji zmiany klimatu.
- Utlenianie CH_4 w glebach rolniczych jest wrażliwe na wiele czynników związanych z właściwościami gleby oraz zabiegami rolniczymi.
- Wilgotność gleb oraz jej tekstura są głównymi czynnikami warunkującymi szybkość utleniania CH_4 .
- Zbyt intensywne nawożenie czy zabiegi ingerujące znacznie w strukturę gleby (np. orka) hamują aktywność metanotroficzną gleb rolniczych.
- Odpowiednie zarządzanie glebami rolniczymi może poprawić ich zdolność do pochłaniania CH_4 i zwiększyć ich udział w walce z globalnym ociepleniem.

BIBLIOGRAFIA

1. Akiyama H., Morimoto, S., Kanako, T., Hoshino, Y.T., Nagaoka, K., Yamasaki, M., Karasawa, T., Takenaka, M., Hayatsu, M., 2014. Relationships between ammonia oxidizers and N₂O and CH₄ fluxes in agricultural fields with different soil types. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(4), 520-529.
2. Ambus, P., Christensen, S., 1995. Spatial and seasonal nitrous oxide and methane fluxes in Danish forest-, grassland-, and agroecosystems. *J. Environ. Qual.*, 24, 993-1001.
3. Aronson, E.L., Helliker, B.R., 2010. Methane flux in non-wetland soils in response to nitrogen addition: a meta-analysis. *Ecology*. 91 (11), 3242-3251.
4. Dijkstra, F.A., Prior, S.A., Runion, G.B., Torbert, H.A., Tian, H., Lu, C., Venterea, R.T., 2012. Effects of elevated carbon dioxide and increased temperature on methane and nitrous oxide fluxes: evidence from field experiments. *Front. Ecol. Environ.* 10 (10), 520-527.
5. Dutaur, L., Verchot, L.V., 2007. A global inventory of the soil CH₄ sink. *Glob. Biogeochem. Cycles*. 21, GB4013.
6. El-Hawwary, A., Brenzinger, K., Lee, H.J., Veraart, A.J., Morriën, E., Schlöter, M., van der Putten, W.H., Bodelier, P.L.E., Ho, A., 2022. Greenhouse gas (CO₂, CH₄, and N₂O) emissions after abandonment of agriculture. *Biology and Fertility of Soils*, 58, 579-591.
7. Fan, Y., Hao, X., Carswell, A., Misselbrook, T., Ding, R., Li, S., Kang, S., 2021. Inorganic fertilizer and high N application rate promote N₂O emission and suppress CH₄ uptake in a rotational vegetable system. *Soil & Tillage Research*, 206, 104848.
8. Hartmann, A.A., Buchmann, N., Niklaus, P.A., 2011. A study of soil methane sink regulation in two grasslands exposed to drought and N fertilization. *Plant Soil*. 342, 265-275.
9. Hutsch, B.W., 1998. Tillage and land use effects of methane oxidation rates and their vertical profiles in soil. *Biol. Fertil. Soils*, 27, 284-292.
10. Jackson, R.B., Saunio, M., Bousquet, P., Canadell, J.G., Poulter, B., Stavert, A.R., Bergamaschi, P., Niwa, Y., Segers, A., Tsuruta, A. (2020): Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environ. Res. Lett.* 15, 071002.
11. Lan, X., Thoning, K.W., Dlugokencky, E.J., 2022. Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2022-10.
12. Lenka, S., Lenka, N.K., 2014. Conservation tillage for climate change mitigation – the reality. *Climate Change and Environmental Sustainability*, 2(1), 1-p.
13. Murguía-Flores, F., Arndt, S., Ganesan, A.L., Murray-Tortarolo, G., Hornibrook, E.R.C., 2018. Soil Methanotrophy Model (MeMo v1.0): a process-based model to quantify global uptake of atmospheric methane by soil. *Geosci. Model Dev.* 11, 2009-2032.
14. Powlson, D.S., Goulding, K.W.T., Willison, T.W., Webster, C.P., Hütsch, B.W., 1997. The effect of agriculture on methane oxidation in soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49, 59-70.
15. Ren, R., Xu, W., Zhao, M., Sun, W., 2019. Grazing offsets the stimulating effects of nitrogen addition on soil CH₄ emissions in a meadow steppe in Northeast China. *PLoS ONE*, 14(12), e0225862.
16. Saunio, M., Stavert, A.R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J.G., Jackson, R.B., Raymond, P.A., Dlugokencky, E.J., Houweling, S., Patra, P.K., Ciais, P., Arora, V.K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D.R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K.M., Carrol, M., Castaldi, S., Chandra, N., Crevoisier, C., Crill, P.M., Covey, K., Curry, C.L., Etiope, G., Frankenberg, C., Gedney, N., Hegglin, M.I., Höglund-Isaksson, L., Hugelius, G., Ito, A., Janssens-Maenhout, G., Jensen, K.M., Joos, F., Kleinen, T., Krummel, P.B., Langenfelds, R.L., Laruelle, G.G., Liu, L., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K.C., McNorton, J., Miller, P.A., Melton, J.R., Noce, S., O'Doherty, S., Parker, R.J., Peng, C., Peng, S., Peters, G.P., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Regnier, P., Riley, W.J., Rosentreter, J.D., Segers, A., Simpson, I.J., Shi, H., Smith, S.J., Steele, L.P., Thornton, B.F., Tian, H., Tohjima, Y., Tubiello, F.N., Tsuruta, A., Viovy, N., Voulgarakis, A., Weber, T.S., van Weele, M., van der Werf, G.R., Weiss, R.F., Worthy, D., Wunch, D., Yin, Y., Yoshida, Y., Zhang, W., Zhang, Z., Zhao, Y., Zheng, B., Zhu, Q., Zhu, Q., Zhuang, Q., 2020. The global methane budget 2000-2017. *Earth Syst. Sci. Data*. 12, 1561-1623.
17. Smith, K.A., Dobbie, K.E., Ball, B.C., Bakken, L.R., Situala, B.K., Hansen, S., Brumme, R., Borken, W., Christensen, S., Priemé, A., Fowler, D., Macdonald, J.A., Skiba, U., Klemetsson, L., Kasimir-Klemetsson, A., Degórska, A., Orlanski, P., 2000. Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils, comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. *Glob. Change Biol.* 6, 791-803.
18. Tang, S., Wang, K., Xiang, Y., Tian, D., Wang, J., Liu, Y., Cao, B., Guo, D., Niu, S., 2019. Heavy grazing reduces grassland soil greenhouse gas fluxes: A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 654, 1218-1224.
19. Tiwari, S., Singh, J.S., Singh, D.P., 2015. Methanotrophs and CH₄ sink: Effect of human activity and ecological perturbations. *Clim. Chang. Environ. Sustain.* 3 (1), 35-50.
20. Von Fischer, J.C., Butters, G., Duchateau, P.C., Thelwell, R.J., Siller, R., 2009. In situ measures of methanotroph activity in upland soils: A reaction-diffusion model and field observation of water stress. *J. Geophys. Res.* 114 (G1), G01015.
21. WMO Greenhouse Gas Bulletin, No.17, 2021
22. Yu, L., Huang, Y., Zhang, W., Li, T., Sun, W., 2017. Methane uptake in global forest and grassland soils from 1981 to 2010. *Sci. Total Environ.* 607-608, 1163-1172.
23. Zhang, L., Yuan, F., Bai, J., Duan, H., Gu, X., Hou, L., Huang, Y., Yang, M., He, J.-S., Zhang, Z., Yu, L., Song, C., Lipson, D.A., Zona, D., Oechel, W., Janssens, I.A., Xu, X., 2020. Phosphorus alleviation of nitrogen-suppressed methane sink in global grasslands. *Ecology Letters*, 23, 821-830.
24. European Environment Agency, 2013. Atmospheric concentration of methane (online) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-ch4-ppb-1> [dostęp: 14.10.2022]

Praca finansowana w ramach Projektu ReLive (umowa nr CIRCULARITY/61/ReLive/2022) współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu ERA-NET 2021 Joint Call on Circularity SusCrop (Grant N° 771134), FACCE ERA-GAS (Grant N° 696356), ICT-AGRI-FOOD (Grant N° 862665) and SusAn (Grant N° 696231).



Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

