

**Antoni Faber, Zuzanna Jarosz**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## KALKULATORY PRZYDATNE DO WYKONYWANIA AUDYTÓW KLIMATYCZNYCH W GOSPODARSTWACH ROLNYCH\*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo, gospodarstwa, audyty klimatyczne, kalkulatory

### Wstęp

Zamierzenia UE dotyczące ochrony klimatu oraz przeciwdziałania degradacji środowiska zostały określone w Europejskim Zielonym Ładzie (9). Zakłada on między innymi osiągnięcie zerowego poziomu emisji przez gospodarkę unijną do 2050 r. Elementem owego ładu jest Europejskie prawo o klimacie, w którym podkreślono, że osiągnięcie neutralności klimatycznej w UE wymagać będzie wkładu ze strony wszystkich sektorów gospodarki i państw członkowskich UE (10). Sektor rolno-spożywczy ma mieć istotną rolę w realizacji Europejskiego Zielonego Ładu według nakreślonej strategii „Od pola do stołu” (8). Zakłada ona: wniesienie wkładu do europejskiej agendy ochrony klimatu, ochronę środowiska i bioróżnorodności, promowanie zrównoważonej konsumpcji żywności, w tym zwłaszcza żywności zdrowej oraz poprawę pozycji rolników w tworzonym łańcuchu wartości. Szczegółowe cele strategii „Od pola do stołu” określone zostały w komunikacie komisji opublikowanym w maju 2020 r. (8). W odniesieniu do ochrony klimatu oczekuje się, że sektor rolno-spożywczy obniży emisję gazów cieplarnianych o 50–55% do 2030 r. w stosunku do emisji w 1990 roku. Szczegółowy plan działania w tym zakresie KE przedstawi we wrześniu 2020 r.

Realizacja nakreślonego celu redukcji emisji wymagać będzie szeroko zakrojonych działań w sektorze rolnictwa, użytkowania i zmian użytkowania gruntów oraz w przemyśle rolno-spożywczym. Jednym z nich mogą stać się audyty klimatyczne w gospodarstwach rolnych. Ich istota polega na szacowaniu emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) i pochłaniania emisji dwutlenku węgla w poszczególnych kierunkach

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

(systemach) produkcji w gospodarstwie. W tym celu wykorzystywane są zazwyczaj kalkulatory do szacowania emisji CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O i pochłaniania CO<sub>2</sub>.

Celem tego opracowania jest przedstawienie opisanych w literaturze kalkulatorów do szacowania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych oraz określenie ich przydatności do wykonywania audytów klimatycznych w gospodarstwach rolnych. W opracowaniu wykorzystano prace opublikowane na temat kalkulatorów w ostatnich dwóch dekadach.

### **Kalkulatory dostępne na początku obecnej dekady**

Lista kalkulatorów potencjalnie przydatnych do szacowania emisji gazów cieplarnianych i pochłaniania CO<sub>2</sub> w rolnictwie i leśnictwie obejmowała w 2012 r. łącznie 36 programów komputerowych (tab. 1). Jednakże tylko sześć z nich mogło być przydatnych do wykonywania audytów klimatycznych, ponieważ uwzględniały źródła emisji w poszczególnych kierunkach (systemach) produkcji w gospodarstwie. Należy do nich zaliczyć: CALM, COMET-Farm, Cool Farm Tool, FarmGAS, Farming Enterprise GHG Calculator oraz HOLOS (7).

CALM został opracowany w Wielkiej Brytanii (zastosowanie w Anglii i Walii) przez Country Land and Business Association (CLA) we współpracy z Savills i EEDA (7). Jest aplikacją internetową dla gospodarstw rolnych, w której uwzględniono: produkcję roślinną, ogrodnictwo, produkcję zwierzęcą (trzoda, bydło, drób, zwierzęta żywione w systemie wypasowym), produkcję mieszaną, zmiany użytkowania gruntów, zalesienia oraz rezerwy przyrody. Program szacuje emisje CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O oraz sekwestrację węgla organicznego w glebie i roślinności drzewiastej w okresie roku oraz sporządza bilans emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych. Program był sprawdzony w 200 gospodarstwach w Wielkiej Brytanii. Ze względu na stopień złożoności może być stosowany przez doradców rolnych i naukowców. Program wykorzystuje głównie współczynniki emisji IPCC z 2001 r. poziomu pierwszego, które służyły kiedyś do wykonywania inwentaryzacji krajowych emisji gazów cieplarnianych. Modyfikacja tych współczynników jest możliwa w odniesieniu do dawki stosowanego obornika, miejsca wypasu zwierząt oraz mleczności krów. Danymi wejściowymi są: lokalizacja i powierzchnia gospodarstwa, zużycie energii, nawozów mineralnych i naturalnych, charakterystyka produkcji zwierzęcej, informacje o produkcji roślinnej (plony, zagospodarowanie słomy, powierzchnie upraw), zmiany użytkowania gruntów w ostatnim 20-leciu, informacje o glebach organicznych oraz informacje o lasach na gruntach ornych (powierzchnia, zagęszczenie drzewostanu, przyrosty drewna oraz pozyskiwanie drewna). Aplikacja jest obecnie dostępna na stronie CLA (6).

Tabela 1

Kalkulatory emisji gazów cieplarnianych potencjalnie przydatne do szacunków emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa i leśnictwa opracowane do roku 2012

Nazwa kalkulatora	GHG				ŹRÓDŁA EMISJI														
	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	inne	p. rolne	ogrodnictwo	pastwiska	łąki	agroleśn.	sady	p. zwierzęca	lasy	zieleni m.	zalesienia	p. ryżu	mokrać	energia	inne	
Agri-LCI models	✓	✓	✓		✓ <sup>1</sup>						✓								
C-PLAN	✓	✓	✓		✓						✓	✓ <sup>2</sup>							
CALM	✓	✓	✓		✓	✓					✓ <sup>3</sup>								✓ <sup>4</sup>
CAR Livestock	✓		✓								✓								
Carbon Footprint Calculator	✓	✓	✓	✓ <sup>5</sup>	✓						✓	✓						✓	
CCT	✓ <sup>6</sup>											✓							
CFF carbon calculator	✓	✓	✓		✓ <sup>1</sup>	✓					✓								
COLE calculators	✓ <sup>6</sup>											✓							
COMET-VR/COMET2.0	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓								✓	✓ <sup>7</sup>
COMET-FARM	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓					✓		✓	✓ <sup>7</sup>
Cool Farm Tool	✓	✓	✓		✓			✓			✓					✓			
CTCC	✓												✓						
DNDC calculator	✓	✓	✓		✓														
FarmGAS	✓	✓	✓		✓ <sup>8</sup>	✓	✓ <sup>9</sup>				✓ <sup>10</sup>	✓ <sup>11</sup>							
Farming Enterprise GHG Calculator	✓	✓	✓		✓		✓				✓								
Fieldprint Calculator	✓	✓			✓														
FSGGEC	✓	✓			✓														
FVS-CarbCalc	✓ <sup>6</sup>											✓							
Greenhouse in Agriculture tools Grains Greenhouse Accounting Framework V4	✓ <sup>6</sup>	✓	✓		✓							✓ <sup>11</sup>							
Greenhouse in Agriculture tools Dairy Greenhouse Accounting Framework V4	✓ <sup>6</sup>	✓	✓								✓ <sup>12</sup>							✓	
Greenhouse in Agriculture tools Beef Greenhouse Accounting Framework V6	✓ <sup>6</sup>	✓	✓								✓ <sup>13</sup>							✓	
Greenhouse in Agriculture tools Sheep Greenhouse Accounting Framework V2	✓ <sup>6</sup>	✓	✓								✓ <sup>14</sup>							✓	
HGCA Biofuel GHG Calculator	✓	✓	✓		✓ <sup>15</sup>														
HOLOS	✓	✓	✓		✓ <sup>16</sup>		✓				✓	✓ <sup>17</sup>							
i-Tree Canopy				✓ <sup>18</sup>								✓							✓ <sup>19</sup>
International Wine Carbon Calculator	✓	✓								✓									
IPCC	✓ <sup>20</sup>				✓		✓	✓								✓			✓ <sup>21</sup>
Lincoln Farm Carbon Calculator	✓	✓	✓		✓	✓												✓	
MANURE		✓	✓								✓								
NDFU	✓				✓ <sup>22,23</sup>		✓ <sup>24</sup>												
OVERSEER	✓	✓	✓		✓ <sup>1</sup>	✓													
RAPCOE	✓				✓	✓								✓					
USAID FCC: Agroforestry Tool	✓								✓										
USAID FCC: Afforestation/Reforestation tool	✓													✓					
USAID FCC: Forest Management tool	✓											✓							
USAID FCC: Forest Protection tool	✓											✓							

Źródło: Deneff i in., 2012 (7)

Objaśnienia:

1. Obejmuje grunty orne.
2. Obejmuje tereny leśne.
3. Obejmuje świnie, drób, nabiał, zwierzęta żywność na pastwiskach na obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania oraz pastwiska nizinne.

4. Obejmuje pastwiska mieszane, rezerваты przyrody.
5. Uwzględnia wszystkie 6 GHG z Kioto (tj. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, HFC, PFC, SF6).
6. Obejmuje wyłącznie zmiany w rocznych zasobach węgla.
7. Docelowym użytkownikiem są tereny objęte programem badań w zakresie ochrony środowiska (CRP).
8. Systemy upraw ekstensywnych (do 4 upraw na gruntach suchych i 2 na gruntach upraw nawadnianych).
9. Systemy ekstensywnego wypasu (produkcja wołowiny i owiec).
10. Intensywny chów zwierząt gospodarskich (żywienie bydła i świń).
11. Zadrzewienia w gospodarstwach (nasadzenia ekologiczne).
12. Gospodarstwa mleczarskie, z ziemią pod pastwiskami, ziemią uprawną i nasadzeniami drzew.
13. Gospodarstwa rolne zajmujące się wypasem, z ziemią pod pastwiskami, ziemią uprawną i nasadzeniami drzew.
14. Gospodarstwa hodujące owce, z ziemią pod pastwiskami, ziemią uprawną i nasadzeniami drzew.
15. Gospodarstwa uprawiające rzepak i pszenicę do produkcji biodiesla i bioetanolu.
16. Obejmuje gleby organiczne.
17. Liniowe plantacje drzew.
18. Model oblicza pokrycie terenu (pokrycie drzew), ale może być wykorzystany do szacowania zasobów C w biomase drzew.
19. Pozwala na uwzględnienie każdej klasy pokrywy terenu (np. drzewa, trawa, budynki).
20. Obliczane są tylko zasoby C w glebie.
21. Obejmuje roślinność rodzimą, grunty odłogowane oraz ugory.
22. Grunty uprawne objęte ciągłą uprawą konserwującą (definicja znajduje się w protokole CCX).
23. Grunty orne przekształcone w trwałe użytki zielone, w tym trwałe pastwiska i uprawy lucerny na siano lub sianokiszonki.
24. Pastwiska użytkowane w celu zwiększenia sekwestracji węgla w glebie.
25. Obejmuje spalanie resztek poźniwnych oraz wapnowanie.
26. Tylko poprzez zmianę zasobów węgla w glebie.
27. Pośrednio, poprzez sekwestrację węgla.
28. Obejmuje GHG związane z czynnikami chłodniczymi.
29. Obejmuje N<sub>2</sub>O, ale tylko jako efekt uboczny.
30. Metodologia obejmuje rozliczenia.
31. Gospodarowanie resztkami poźniwnymi i odpadami.
32. Sekwestracja C w glebie.
33. Obejmuje systemy sawanny.
34. Pośrednio poprzez zmiany w węglu organicznym gleby (SOC).
35. Tylko absorpcja CH<sub>4</sub>.
36. Źródło: Zużycie paliwa drzewnego.
37. Obejmuje krzewy.

Kalkulator Cool Farm Tool opracowany został w Wielkiej Brytanii w ramach współpracy między J. Hiller i P. Smith (Uniwersytet Aberdeen) oraz C. Walter (Unilever) i może być stosowany globalnie (7). Udostępniony został użytkownikom w 2010 r. początkowo jako arkusz Excel, a obecnie jako aplikacja internetowa (5). Pozwala szacować emisje CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O w gospodarstwie z produkcji roślinnej (na gruntach ornych, traw, traw i koniczyny, roślin bobowatych oraz ryżu uprawianego na mokro) oraz produkcji zwierzęcej (bydło, trzoda, owce i kozy) oraz sekwestrację węgla wskutek stosowania praktyk mitygacyjnych. Wykorzystuje w szacunkach współczynniki emisji IPCC poziomu pierwszego i drugiego, modele empiryczne oraz opublikowane równania empiryczne do szacowania emisji. Wymaga na wejściu między innymi takich danych, jak: informacje o produkcji roślinnej (dawki i rodzaje nawozów, użytkowanie gruntów, typ orki, zmiany w użytkowaniu gruntów w okresie ostatnich 20 lat), zwierzęcej (zwierzęta i ich pogłowie, żywienie zwierząt, gospodarowanie

obornikiem) oraz zużycie energii w gospodarstwie. Na wyjściu kalkulator podaje emisje dla całego gospodarstwa w rozbiciu na źródła emisji (całkowita emisja, emisja na jednostkę powierzchni oraz emisja na jednostkę produktu) oraz charakterystyki zużycia energii i związane z nimi emisje. Obecnie program dostępny jest bezpłatnie dla rolników w Internecie (5). Przez wielu fachowców oceniany jest jako jeden z lepszych na rynku.

COMET-Farm opracowano w USA (USDA, NRCS, CSU i NREL) w 2012 r. z przeznaczeniem do szacowania emisji ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) w gospodarstwach rolnych na terenie USA (7). Pozwala on szacować emisje z produkcji roślinnej, zwierzęcej, użytków zielonych, agroleśnictwa, sadów oraz winnic. Szacunki wykonywane są z użyciem modelu symulacyjnego (DAYCENT), modeli empirycznych i współczynników emisji IPCC (poziom drugi i trzeci). Program wykorzystuje siedem baz danych dotyczących gleb (mapy), klimatu, statystyk rolniczych oraz stosowanych praktyk rolniczych. Ma on rozbudowany interfejs umożliwiający rolnikowi wprowadzenie danych. Na wyjściu użytkownik uzyskuje: emisje dla całego gospodarstwa, z podziałem na poszczególne kierunki produkcji, zwierzęta gospodarskie, nośniki energii oraz emisje na jednostkę produktu. Dwutlenek węgla jest szacowany z zastosowaniem modeli empirycznych, zaś  $\text{N}_2\text{O}$  z symulacji Monte-Carlo. Program jest na bieżąco aktualizowany i dostępny w Internecie (16).

FarmGAS opracowany w 2009 r. w Australii służy do szacowania emisji ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) w gospodarstwach w tym kraju (7). Uwzględnia on: ekstensywną produkcję roślinną i ekstensywny wypas (bydło i owce), intensywną produkcję zwierzęcą (bydło mięsne, trzoda), ogrodnictwo oraz zadrzewienia śródpolne. W szacunkach kalkulator wykorzystuje współczynniki emisji IPCC poziomu pierwszego i drugiego. Na wejściu użytkownik wprowadza następujące dane: lokalizacja gospodarstwa, systemy produkcji, powierzchnia ogólna i powierzchnia systemów w gospodarstwie, dawki nawozów i typ nawozu oraz zawartość w nim N, powierzchnia resztek spalanych co rok, pogłowie byków i krów oraz ich śmiertelność, dane ekonomiczne oraz ceny za sekwestrację węgla organicznego. Na wyjściu użytkownik uzyskuje: emisje gazów cieplarnianych z całego gospodarstwa, według systemów produkcji i źródeł emisji oraz pochłanianie  $\text{CO}_2$ , jak również emisję netto (różnica między emisją i pochłanianiem). Szacowane są również koszty emisji. Program jest dostępny w Internecie (3).

Farming Enterprise GHG Calculator jest internetowym kalkulatorem emisji  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  w gospodarstwach (Queensland, Australia) z produkcji roślinnej (bez nawadniania i z nawadnianiem), z użytków zielonych oraz z produkcji zwierzęcej (7). Szacunki emisji  $\text{CO}_2$  z gleby (0–30 cm) wykonywane są przy użyciu modelu SOCRATES, z produkcji zwierzęcej za pomocą współczynników emisji IPCC, zaś z paliw, nawozów azotowych i naturalnych według metodyk z narodowej inwentaryzacji emisji w Australii. Na wejściu użytkownik wprowadza: lokalizację gospodarstwa, zużycie paliw, powierzchnię upraw, dawki nawozów oraz pogłowie zwierząt. Na wyjściu kalkulator podaje emisję w ekwiwalentach  $\text{CO}_2$  według źródeł emisji. Kalkulator dostępny jest w Internecie (13). Interesujące jest, że w USA

kalkulator ten adaptowano do celów edukacji dzieci na temat rolnictwa i emisji gazów cieplarnianych (14).

HOLOS opracowano w Kanadzie (*Agriculture and Agri Food Canada*) w 2008 r. i dedykowano szacunkom emisji GHG ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) w gospodarstwach ze źródeł: uprawy roślinne, użytki zielone, produkcja zwierzęca (bydło mleczne i mięsne, cielęta, owce, świnie, drób i inne zwierzęta) oraz zadrzewienia śródpolne (7). W szacunkach emisji wykorzystywana jest metodyka IPCC (2006) adaptowana do warunków Kanady. Parametry zmian zawartości węgla organicznego w glebach zostały wzięte z modelu CENTURY. Program umożliwia również wybór różnych praktyk mitygacji i śledzenie ich wpływu na zmiany emisji. Wykorzystuje on bazy danych glebowych i klimatycznych. Użytkownik wprowadza takie dane, jak: powierzchnie upraw, nawodnień, łąk i pastwisk, system uprawy (rodzaj orki, dawki herbicydów i nawozów, dawki nawodnieniowe) oraz informacje o produkcji zwierzęcej (rodzaje zwierząt, pogłowie, dieta, okres wypasu, gospodarowanie obornikiem). Szacunki emisji podawane są dla całego gospodarstwa i w rozbiciu na źródła emisji. Kalkulator określa również przybliżone niepewności szacunków emisji. HOLOS jest dostępny jako program komputerowy, który można pobrać bezpłatnie (2).

### **Kalkulatory dostępne w bieżącej dekadzie**

Liczba kalkulatorów potencjalnie przydatnych do szacowania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w rolnictwie wzrosła w ostatnich latach do 64 (11). Kalkulatory te poddano wstępnej ocenie z uwzględnieniem następujących kryteriów (11):

- dostępność dokumentacji,
- ukierunkowanie na systemy produkcji rolnej,
- przydatność do zastosowania w gospodarstwach,
- możliwość do zastosowania w gospodarstwach w Szkocji,
- dostępność informacji o wdrożeniu kalkulatora w praktyce.

W wyniku przeprowadzonej wstępnej oceny do dalszych analiz wybrano dziewięć kalkulatorów (krótka lista) przydatnych do szacowania emisji w gospodarstwach (tab. 2). Spośród kalkulatorów z krótkiej listy tylko trzy kwalifikowały się do wykonywania audytów klimatycznych w gospodarstwach ze względu na: ogólny cel, przejrzystość, poprawność naukową, kompleksowość, zakres zastosowań, praktyczność, format dostarczanej informacji, aspekty prawne i powtarzalność wyników. Były to: AgRE Calc, Cool Farm Tool oraz Solagro Carbon Calculator (11). Wszystkie one bazują na solidnej metodologii, jakkolwiek różnią się między sobą w podejściu i poziomie szczegółowości obliczeń (tab. 3).

Tabela 2  
Kalkulatory potencjalnie przydatne do wykonywania audytów klimatycznych oraz ich kwalifikacja do krótkiej listy przydatności do audytów w gospodarstwach rolnych

Kalkulator	Kryteria przydatności				Dostępność	Komentarz	Kwalifikacja
	dokumentacja	ukierunkowanie	stosowalność w gospodarstwie	informacja o wdrożeniu			
1	2	3	4	5	6	7	8
AgRE Calc	brak, przyjazny	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	dostępna			krótka lista
CALM	brak, przyjazny	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	prawdopodobnie dostępna	on-line po rejestracji		krótka lista
Cool Farm Tool	dostępna + publikacje	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	dostępna	bez opłat, po rejestracji		krótka lista
Farm Carbon Calculator	dostępna	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	dostępna	bez opłat, po rejestracji		krótka lista
IMPACCT	częściowa	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	dostępna	bez opłat	program sfinansowany przez UE	krótka lista
Solagro Carbon Calculator	dostępna + publikacje	produkcja roślinna i zwierzęca w UE-27	przydatny	testy przydatności	bez opłat, po rejestracji	program sfinansowany przez JRC EC	krótka lista
EX-ACT	dostępna	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	dostępna		FAO	krótka lista
CCAFS-MOT	dostępna, przyjazny arkusz Excel	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	publikacje		Uniwersytet w A berdeen	krótka lista
GLEAM-i	pełna dokumentacja	produkcja zwierzęca	przydatny	publikacje		FAO	krótka lista
SAEM	dostępna	główne systemy produkcji roślinnej i zwierzęcej	przydatny	publikacje		Bazujący na GLEAM	-
CPLANv0 calculator						trudno ocenić	-
CPLANv2 calculator						trudno ocenić	-
Bonsucro calculator	brak informacji	trzcina cukrowa	przydatny	brak informacji	niedostępny publicznie		-
Palm GHG	częściowa	palma oleista	przydatny	brak informacji	bez opłat		-
CCaIC	częściowa	różne lanocty produkcji	przydatny	prawdopodobnie dostępna		ogólny kalkulator śladu węglowego	-
Teagase/Bord Bia Farm Carbon Navigator	brak informacji	produkcja mleczna i wołowy w Irlandii	przydatny	prawdopodobnie dostępna		narzędzie informacyjne	-
AHDB Carbon footprinting Decision support tool	brak, przyjazny	zboża i rzepak	przydatny	brak informacji	bez opłat		-
Carbon Calculator Tool v1.5.0	brak informacji	farmy wiatrowe	nieprzydatny	brak informacji			-
COMET-Farm	brak informacji	produkcja roślinna, zwierzęca i agroleśnictwo	przydatny	brak informacji		zawiera specyficzne dane dla USA	-
COMET Planner	brak informacji	produkcja roślinna, zwierzęca i agroleśnictwo	przydatny	brak informacji		zawiera specyficzne dane dla USA	-
CarbonID™ Calculator	brak informacji	produkcja roślinna, tylko paliwa	przydatny	brak informacji			-
Vegetable Carbon Calculator	brak	produkcja ogrodnicza w Australii	przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji		-
The Poultry Carbon Footprint Calculation Tool (PCFCT)	brak	produkcja drobiu w USA	przydatny	brak wdrożenia	niedostępny publicznie		-

Tabela 2, cd.

Kalkulator	Kryteria przydatności			informacja o wdrożeniu	Dostępność	Komentarz	Kwalifikacja
	dokumentacja	ukierunkowanie	stosowalność w gospodarstwie				
1	2	3	4	5	6	7	8
Tesco carbon footprint calculator	brak	?	?	brak informacji	niedostępny publicznie		-
ISR's Cotton Greenhouse Gas Calculator	brak	bowelna	brak informacji	brak informacji	niedostępny publicznie		-
Australian Dairy Carbon Calculator – DGAS	dostępna, przyjazny	produkcja mleka	przydatny	brak informacji			-
Pig Production Environmental Footprint Calculator (PPFEC)	dostępna	produkcja trzody w USA	przydatny	brak informacji	bez opłat		-
Farming Enterprise Greenhouse Gas Emissions Calculator	brak informacji	większość typów gospodarstw	przydatny w Australii	brak informacji		bardzo ogólny	-
Carbon Footprint Tool for Milk	dostępna	tylko gospodarstwa mleczne (Dania)	przydatny	prawdopodobnie dostępna	dostępny za opłatą	wymaga płatnych konsultacji w zakresie 2-0 LCA	-
US Cropland Greenhouse Gas Calculator	brak informacji	niektóre rośliny uprawiane w USA	przydatny	brak informacji			-
BovIS carbon footprint calculator	prawdopodobnie dostępna	gospodarstwa mleczne (N. Irlandia)	przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji		-
Farm Energy Analysis Tool (FEAT)	dostępna	produkcja roślinna i mleka	przydatny	dostępna	on-line po rejestracji		-
Greenhouse Accounting Frameworks (GAF)	przyjazny	produkcja roślinna, mleka, wołowy i owiec (Australia)	przydatny	prawdopodobnie dostępna	bezpłatna		-
PigGas	częściowo dostępna, przyjazny	produkcja trzody (Australia)	przydatny	prawdopodobnie dostępna	bezpłatna		-
Annual Nutrient Cycle Assessment	brak informacji	gospodarstwa mleczne (Holandia)	przydatny	prawdopodobnie dostępna	dla rolników holenderskich		-
FarmGAS Calculator ST and Financial Tool	brak informacji	gospodarstwa australijskie	prawdopodobnie przydatny	dostępna	on-line po rejestracji		-
Holos	publikacje	główne typy gospodarstw w Kanadzie	przydatny	dostępna	bezpłatna		-
eFoodPrint ENV Tool	prawdopodobnie niedostępna	gospodarstwa w Hiszpanii	trudno określić	brak informacji	komercyjna		-
Alltech Dairy 'What If?' Tool	brak informacji	produkcja mleka, wołowy i baraniny	prawdopodobnie przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji		-
Fieldprint® Platform	prawdopodobnie niedostępna	produkcja roślinna w USA	przydatny	prawdopodobnie dostępna	on-line po rejestracji		-
TropiC Farm Tool	brak informacji	produkcja roślinna i zwierzęca w tropikach	przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji		-
Sainsbury farm carbon tool	prawdopodobnie niedostępna	Produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	prawdopodobnie dostępna	komercyjna		-
MILA	brak informacji	produkcja roślinna	niewiadoma	brak informacji	on-line po rejestracji		-
GHGFarm	dostępna	produkcja roślinna i zwierzęca	przydatny	brak informacji	niedostępny publicznie	współczynniki emisji dla Kanady	-



Tabela 2, cd.

Kalkulator	Kryteria przydatności				Dostępność	Komentarz	Kwalifikacja
	dokumentacja	ukierunkowanie	stosowalność w gospodarstwie	informacja o wdrożeniu			
1	2	3	4	5	6	7	8
Greenhouse gas footprint tool for Dairy Crest Direct	brak informacji	produkcja mleczna	przydatny	brak informacji	niedostępny publicznie		-
The Farm Smart™ System	brak informacji	produkcja mleczna w USA	przydatny	brak informacji	niedostępny publicznie		-
FeedPrint	dostępna	produkcja zwierzęca w Holandii	przydatny	prawdopodobnie dostępna	bezpłatna	dynamika składników pokarmowych	-
OVERSEER	dostępna	gospodarstwa w Nowej Zelandii	przydatny	dostępna	on-line po rejestracji		-
Carbon Calculator for New Zealand Agriculture and Horticulture	dostępna	produkcja roślinna, zwierzęca i ogrodnicza	przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji	w Nowej Zelandii	-
Confronting Climate Change (CCC)	brak informacji	produkcja owoców i winorośli	prawdopodobnie przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji	w Południowej Afryce	-
Orchard Carbon Calculator	brak informacji	sadownictwo w Australii	prawdopodobnie przydatny	brak informacji	on-line po rejestracji		-
Australian Wine Carbon Calculator	przyjazny arkusz Excel	produkcja wina w Australii	nieprzydatny	prawdopodobnie dostępna	bezpłatny	inwentaryzacja węgla	-
COLE (Carbon OnLine Estimator)	częściowo dostępna	leśnictwo w USA	nieprzydatny	brak informacji		inwentaryzacja węgla	-
U.S. Forest Carbon Calculation Tool (CCT)	dostępna	leśnictwo w USA	nieprzydatny	brak informacji		inwentaryzacja węgla	-
FVS	brak informacji	leśnictwo w USA	przydatny	brak informacji			-
CTCC	częściowo dostępna	leśnictwo w USA	nieprzydatny	brak informacji		dla pojedynczych drzew	-
Illinois Farm Sustainability Calculator	dostępna, przyjazny	produkcja roślinna i zwierzęca w USA	przydatny	brak informacji			-
Munions Carbon Footprint Calculator	niedostępna, nieprzyjazny	zboża (peczyźni)	przydatny	prawdopodobnie brak			-
Cranfield Agri-LCI model	częściowo dostępna	produkcja roślinna i zwierzęca	nieprzydatny	dostępne publikacje	komercyjna		-
Carbon Trust Carbon Footprint Calculator	prawdopodobnie niedostępna	możliwy do zastosowania dla różnych produktów	nieprzydatny	prawdopodobnie dostępna	komercyjna	nieprzydatny do szacowania emisji rolniczych	-
DNDC model	dostępna	produkcja roślinna i obornik	model badawczy	dostępna	bezpłatna		-
Agriculture and Land Use National Greenhouse Gas Inventory Software (ALU)	prawdopodobnie dostępna	rolnictwo i leśnictwo	nieprzydatny	dostępna		Regionalne inwentaryzacje emisji	-
DairyGEM	dostępna	produkcja mleka, USA	przydatny	brak informacji		USDA	-
Integrated Farm System Model (IFSM)	dostępna	produkcja roślinna i zwierzęca w USA	przydatny	brak informacji		model biofizyczny	-

Źródło: Leimonen i in., 2019 (11)

Tabela 3  
Porównanie właściwości wybranych trzech kalkulatorów do przeprowadzania audytów klimatycznych gospodarstw

Wyszczególnienie	AgRECalc	Cool Farm Tool	Solagro
Produkcja roślinna:			
– wzrost plonu	tak	tak	tak
– zmiany dawek nawozów mineralnych	tak	tak	tak
– zmiany rodzaju nawozów mineralnych	nie <sup>1</sup>	tak	tak
– stosowanie i dawka nawozów naturalnych	tak	tak	tak
– ograniczenie zużycia paliw	tak	tak	tak
– zmiany w gospodarowaniu np. sposobie orki	nie	tak	tak
– zwiększenie zadrzewienia	tak	tak	tak
– gospodarowanie zadrzewieniem	nie	tak	tak
Produkcja zwierzęca:			
– emisje związane ze zmianami w żywieniu	tak	tak	tak
– emisje N <sub>2</sub> O z obornika w związku ze zmianami w żywieniu	tak/nie <sup>2,3</sup>	tak	nie
– emisje związane z paszami/bezpośrednie zmiany w użytkowaniu gruntów	nie	tak	nie
– zmiany w żywieniu/emisja metanu	tak	tak	tak
– zmiany w wydajności zwierząt/emisje z nawozów naturalnych	tak	tak/nie <sup>4</sup>	tak
– zmiany w gospodarowaniu obornikiem	tak	tak	tak
– struktura pogłowia (emisje od zakupionych zwierząt)	nie	nie	nie
– ograniczenie zużycia paliwa i elektryczności w pomieszczeniach inwentarskich	tak	tak	tak

Objaśnienia: 1 – tylko mocznik ma inny współczynnik emisji w stosunku do innych nawozów; 2 – spożycie pasz jest szacowane przez kalkulator, nie zaś rzeczywiste; 3 – nieuwzględnione w wersji WEB; 4 – bardzo ograniczona informacja o wydajności zwierząt jest wprowadzana przez użytkownika (z wyjątkiem bydła)

Źródło: Leinonen i in., 2019 (11)

AgRE Calc jest internetowym kalkulatorem komercyjnym rozwijanym przez SAC Commercial Ltd, komercyjną spółkę holdingową SRUC, która zapewnia indywidualnym rolnikom w Szkocji bezpłatny dostęp do audytów klimatycznych w gospodarstwach (1). Kalkulator raczej nie nadaje się do zastosowań poza Szkocją.

Cool Farm Tool był już wcześniej opisany w tym artykule.

Kalkulator Solagro został opracowany na zlecenie JRC EC ze środków KE (4, 12, 15). Jest najbardziej kompleksowym narzędziem spośród tu opisywanych. Szacuje on bezpośrednie emisje N<sub>2</sub>O z następujących źródeł: z mineralnych nawozów azotowych, nawozów naturalnych, resztek poźniwnych oraz powstające wskutek wypasu zwierząt. Pośrednie emisje tego gazu szacowane są z uwzględnieniem: emisji amoniaku z gleb oraz azotu wymywanego oraz zawartego w spływach powierzchniowych wód. Dodatkowo w szacunkach N<sub>2</sub>O uwzględniane są: produkcja mineralnych nawozów azotowych, pasz i maszyn. Szacunki emisji metanu obejmują fermentację jelitową u zwierząt, gospodarowanie nawozami naturalnymi w pomieszczeniach inwentarskich i miejscach ich przechowywania oraz spalanie resztek poźniwnych. W szacunkach emisji dwutlenku węgla uwzględniono bezpośrednio emisje w gospodarstwie (olej napędowy i inne paliwa) oraz emisje pośrednie związane z przetwarzaniem nawozów

i pasz. Kalkulator uwzględnia także wychwytywanie emisji zachodzących wskutek zmiany w zasobach węgla organicznego w glebach, powstające w wyniku zmian w użytkowaniu gruntów (przekształcenie gruntów ornych w użytki zielone) oraz akumulację węgla w glebie i roślinach na skutek zadrzewień, zakrzewień (żywoploty), wprowadzenia upraw wieloletnich czy agroleśnictwa. W wychwytywaniu emisji uwzględniono także produkcję bioenergii. Jest to jedyny kalkulator, który uwzględnia ponadto emisje fluorowęglowodorów, perfluorowęglowodorów i sześciofluorków siarki z urządzeń chłodniczych, maszyn, budynków chłodniczych i transportu.

W przypadku szacunków emisji  $N_2O$  z produkcji roślinnej kalkulator wykorzystuje współczynniki emisji IPCC (2006, poziom 1). Szacunki bezpośrednich emisji  $N_2O$  z nawozów naturalnych i organicznych zależą od dawek obornika, osadów ściekowych, kompostu czy innych substancji organicznych wnoszonych do gleby. Bezpośrednie emisje z resztek poźniwnych są zależne od rodzaju upraw i obliczane z wykorzystaniem wskaźników emisji IPCC. W szacunkach emisji metanu i podtlenku azotu uwzględniono również emisje spowodowane spalaniem resztek poźniwnych. Kalkulator szacuje także emisje powstające wskutek odwodnienia i rolniczego użytkowania gleb organicznych. Obliczenia pośrednich emisji podtlenku azotu opierają się na bilansie azotu na poziomie gospodarstwa. W szacunkach emisji z fermentacji jelitowej wykorzystywane są współczynniki emisji IPCC (2006, poziomu 2). Ilości azotu wydalanego przez zwierzęta szacowane są na podstawie współczynników emisji IPCC (2006; poziom 1). Jest to ilość stała właściwa dla każdej kategorii zwierząt i niezależna od spożycia paszy lub ich składu.

Kalkulator zawiera domyślne dane dotyczące 17 pojedynczych składników pasz (jest to mniej niż w przypadku innych kalkulatorów) oraz 35 kategorii mieszanek paszowych. Kalkulator uwzględnia także 16 praktyk ograniczających emisję gazów cieplarnianych w gospodarstwie.

Opisywane trzy kalkulatory uwzględniają metodykę IPCC (poziomu 1 lub 2) oraz międzynarodowe standardy LCA „od kołyski do bramy gospodarstwa” (z pewnymi zmianami). Każde z tych narzędzi ma podobne ramy obliczeniowe, kompleksowość i uwzględnia podobne praktyki ograniczania emisji w gospodarstwie. Oczywiście każdy z tych kalkulatorów różni się rozwiązaniami szczegółowymi.

Emisje z produkcji roślinnej ujęte są najbardziej kompleksowo w Cool Farm Tool, choć Solagro posiada również dość szczegółowy moduł uprawowy. Najgorszy pod tym względem jest AgRE Calc, który ma ograniczone opcje uprawowe (brak możliwości wyboru rodzajów nawozów mineralnych) i ograniczone opcje sekwestracji węgla organicznego w glebach i roślinności trwałej.

Bardziej fundamentalne różnice między tymi kalkulatorami ujawniają się, kiedy rozważa się produkcję zwierzęcą. Największe różnice dotyczą relacji pomiędzy poborem pasz (składników odżywczych) i wynikającą stąd emisją podtlenku azotu z pomieszczeń inwentarskich i gospodarowania nawozami naturalnymi (w zależności od ilości wydalanego azotu). W kalkulatorze Cool Farm Tool pobór pasz jest zawsze podawany przez użytkownika (niekiedy można stosować wartości domyślne).

W przeciwieństwie do tego AgRE Calc szacuje pobór pasz na podstawie rodzaju zwierząt i ich wydajności. Solagro jest tu wyraźnie najbardziej uproszczony, ponieważ w nim wydalanie azotu ma wartość stałą, zależną tylko od rodzaju zwierzęcia (metoda poziomu 1). Kalkulatory różnią się także sposobem uwzględnienia wydajności zwierząt. AgRE Calc wykorzystuje dość szczegółowe dane (np. średnia masa ciała i tempo wzrostu). W odróżnieniu Cool Farm Tool stosuje bardzo proste podejście, z wyjątkiem bydła, więc wydajność zwierząt jest wartością domyślną, która nie może być zmieniana przez użytkownika. Zmiany w żywieniu zwierząt są jak wiadomo bardzo istotną praktyką ograniczającą emisję w gospodarstwie. Kalkulatory wykorzystują jednak różne dane dotyczące emisji związanych z paszami. Solagro uwzględnia bardzo ograniczoną liczbę produktów paszowych, które użytkownik może wybrać, a ich wbudowane współczynniki emisji pochodzą z francuskiej bazy danych. Zarówno Cool Farm Tool, jak i AgRE Calc korzystają z holenderskiej bazy danych FeedPrint (możną ją pobrać z Internetu pod adresem: <http://webapplicaties.wur.nl/software/feedprintNL/index.asp>).

### **Wybór kalkulatora do stosowania w Polsce**

Opracowanie nowego kalkulatora wymaga poniesienia kosztów rzędu 1–2 mln €. Z tego względu celowe może się okazać zastosowanie kalkulatora Solagro, ponieważ koszty jego opracowania pokryła KE. Jest to kalkulator dostępny bezpłatnie w postaci arkusza Excel, jego kod źródłowy jest jawny i może bez przeszkód prawnych być stosowany lub modyfikowany dla potrzeb danego kraju (15).

### **Podsumowanie**

W literaturze panuje przekonanie, że wykonywanie audytów klimatycznych w gospodarstwach może się przyczynić do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych poprzez uświadomienie rolnikom, jakie są źródła ich emisji oraz jak praktyki ograniczające emisje mogą je zmniejszyć lub wyeliminować. Dotąd opracowano stosunkowo niewiele kalkulatorów do wykonywania takich audytów. Korzystają one zazwyczaj z metodologii szacowania emisji IPCC oraz LCA. Ich przydatność praktyczna jest tym większa, im częściej wykorzystują współczynniki emisji IPCC poziomu drugiego. Ale nawet jeśli je wykorzystują – wyniki audytów mają istotne znaczenie wtedy, gdy wykonywane są wielokrotnie w tym samym gospodarstwie. Porównywanie audytów różnych gospodarstw jest niewskazane i może prowadzić do błędnych ocen. Każde bowiem gospodarstwo ma swoją specyfikę przyrodniczą i produkcyjną, która nie może być wystarczająco dobrze uwzględniona w dostępnych obecnie kalkulatorach emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych.

---

## Literatura

1. AgRE Calc. Lower your farms's carbon foot print; <https://www.agrecalc.com/>.
2. Agriculture and Agri-Food Canada. HOLOS software program; <https://www.agr.gc.ca/eng/scientific-collaboration-and-research-in-agriculture/agricultural-research-results/holos-software-program/?id=1349181297838>.
3. Australian Farm Institute. FarmGas Calculator ST and Financial Tool; <http://calculator.farminstitute.org.au/login>.
4. B o c h u J.L., M e t a y e r N., B o r d e t C., G i m a r e t M.: Development of Carbon Calculator to promote low carbon farming practices – Methodological guidelines (methods and formula), Deliverable to EC-JRC-IES by Solagro, 2013.
5. CFA. Cool Farm Alliance. Cool Farm Tool; <https://coolfarmtool.org/>.
6. CLA CALM calculator; <https://www.cla.org.uk/node/14234>.
7. D e n e f K., P a u s t i a n K., A r c h i b e q u e S., B i g g a r S., P a p e D.: Report of Greenhouse Gas Accounting Tools for Agriculture and Forestry Sectors. Interim report to USDA under Contract No. GS23F8182H, 2012.
8. European Commission: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels, 20.5.2020, COM(2020) 381 final, 2020.
9. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
10. Komisja Europejska: Wniosek. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmieniające rozporządzenie (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie), COM(2020) 80 final, 2020.
11. L e i n o n e n I., E o r y V., M a c L e o d M., S y k e s A., G l e n k K., R e e s R.: Comparative analysis of farm-based carbon audits. Climate Change, 2019; <https://www.climatexchange.org.uk/media/3584/farm-based-carbon-audits-final.pdf>.
12. M e t a y e r N., B o c h u J.L.: Development of Carbon Calculator to promote low carbon farming practices. User guidance manual for the Carbon Calculator v3.1. Solagro, 2016.
13. Queensland University of Technology. N<sub>2</sub>O Network. Farming Enterprise Greenhouse Gas Emissions Calculator; <http://www.n2o.net.au/greenhouse/>.
14. Smithsonian National Museum of Natural History, in Washington D.C., USA; <https://forces.si.edu/soils/interactive/web/index.html>.
15. Solagro Carbon Calculator; <https://solagro.com/works-and-products/outils/carbon-calculator>.
16. USDA. Colorado State University. COMET Farm; <http://comet-farm.com/>.

---

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Antoni Faber, dr Zuzanna Jarosz*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*  
*tel. 81 47 86 767, 81 47 86 766*  
*e-mail: faber@iung.pulawy.pl, zjarosz@iung.pulawy.pl*

---

AUTOR	ORCID
Antoni Faber	0000-0002-3055-1968
Zuzanna Jarosz	0000-0002-3428-5804