

JAN PAWLAK  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy  
Oddział w Warszawie

DOI: 10.5604/00441600.1240394

## ZAŁOŻENIA METODYCZNE DO OCENY EKONOMICZNYCH SKUTKÓW REDUKCJI EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH W ROLNICTWIE\*

### Abstrakt

*W artykule przedstawiono metodę oceny ekonomicznych skutków zastosowania w gospodarstwach rolnych technologii powodującej redukcję emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Proponowana metoda uwzględnia niepełne zamortyzowanie obiektów technicznych, wykorzystywanych w warunkach stosowania dotychczasowych technologii produkcji roślinnej i zwierzęcej. Zakres jej stosowania w formie przedstawionej w niniejszej pracy ogranicza się do poszczególnych gospodarstw rolnych. Zastosowanie w skali całego rolnictwa wymagałoby z jednej strony pominięcia niepełnego zamortyzowania obiektów technicznych, z drugiej zaś – uwzględnienia transferu emisji między działami produkcji oraz w wyniku obrotów handlu zagranicznego.*

**Słowa kluczowe:** emisja gazów cieplarnianych, redukcja, gospodarstwo rolne, koszt, ocena, metoda.

**Kody JEL:** O33, Q16, Q52, Q55, Q58.

### Wstęp

Rolnictwo krajów Unii Europejskiej generuje średnio ok. 10% ogółu gazów cieplarnianych (GHG), emitowanych w tym obszarze do atmosfery ziemskiej (Eurostat, 2015). Mniejsze wartości tego udziału (7%) podają: dla Wielkiej Brytanii – Franks i Hadingham (2012), a dla USA – Parton i in. (2011). Różnice wynikają prawdopodobnie z niejednakowego stopnia uprzemysłowienia poszcze-

---

\* Artykuł opracowany w ramach programu wieloletniego „Przedsięwzięcia technologiczno-przyrodnicze na rzecz innowacyjnej, efektywnej i niskoemisyjnej gospodarki na obszarach wiejskich na lata 2016-2020”.

gólnych krajów i udziału rolnictwa w wytwarzaniu dochodu narodowego, z którym dodatkowo skorelowany jest udział w emisji gazów cieplarnianych. Pomimo niewielkiego udziału w całkowitej emisji gazów cieplarnianych, liczonej w ekwiwalencji dwutlenku węgla, rolnictwo emituje jednak aż 53% globalnych emisji gazów cieplarnianych innych niż CO<sub>2</sub> (Beach i in., 2015). Źródłem największych emisji gazów cieplarnianych w produkcji roślinnej są nawozy azotowe (Nalley i in., 2011). W strukturze emisji gazów cieplarnianych największy udział mają gleby, łącznie z użytkami zielonymi (45%). Udział produkcji zwierzęcej, z której pochodzi najwięcej metanu, wynosi 25%, eksploatacji środków mechanizacji rolnictwa – 13%, gospodarki nawozami z odchodów zwierzęcych – 11%, a pozostałych źródeł – 6%.

W programach dotyczących redukcji gazów cieplarnianych rolnictwo mieści się w obszarze non-ETS (nieobjętym systemem handlu uprawnieniami do emisji tych gazów). Krajowa inwentaryzacja obejmuje następujące gazy i grupy gazów cieplarnianych: dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), podtlenek azotu (N<sub>2</sub>O), grupę gazów HFC (fluorowęglowodory), grupę gazów PFC (perfluorowęglowodory), sześćofluorek siarki (SF<sub>6</sub>) oraz trójfluorek azotu (NF<sub>3</sub>). Dominujące znaczenie mają trzy pierwsze z wymienionych gazów.

Według danych KOBiZE (2014) dwutlenek węgla miał największy udział (59,8%) w strukturze gazów cieplarnianych emitowanych w rolnictwie polskim w 2014 r. Udział metanu w tej strukturze wyniósł 36,8%, a podtlenku azotu – 3,4%. Z rolnictwa pochodziło zaledwie 0,3% emisji dwutlenku węgla<sup>1</sup>, ale 33,7% metanu i aż 78,9% podtlenku azotu.

Dwutlenek węgla jest emitowany w wyniku utleniania substancji organicznej, między innymi podczas oddychania zwierząt i roślin, a także w następstwie procesów zachodzących w glebie. Rolnicze użytkowanie gruntów, zmiany ich użytkowania oraz leśnictwo (LULUCF) powodują z kolei pochłanianie dwutlenku węgla z atmosfery ziemskiej, głównie dzięki procesom fotosyntezy. Jednak w przypadku metanu i podtlenku azotu działania te powodują niewielki wzrost emisji.

Metan emitowany z rolnictwa jest gazem wytwarzanym w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy (w wyniku fermentacji jelitowej) oraz w warunkach beztlenowego rozkładu odchodów. Przedostając się do stratosfery, pośrednio uczestniczy w katalitycznym niszczeniu ozonu, tym samym przyczyniając się do powstawania tzw. dziury ozonowej. Średni czas trwania metanu w atmosferze wynosi 12 lat. Współczynnik globalnego ocieplenia<sup>2</sup> (GWP) jest dla metanu prawie 23 razy, a dla podtlenku azotu ok. 296 razy wyższy niż dla dwutlenku węgla.

<sup>1</sup> Bez uwzględnienia eksploatacji środków mechanizacji rolnictwa, która nie jest raportowana w ramach sektora rolnictwa.

<sup>2</sup> Współczynnik ten jest obliczany na podstawie skutków oddziaływania jednego kilograma danego gazu na ocieplenie klimatu w ciągu 100 lat, w porównaniu z oddziaływaniem jednego kilograma CO<sub>2</sub>.

Podtlenek azotu w produkcji rolniczej jest emitowany głównie z gleby zasilanej nawozami mineralnymi i organicznymi oraz w budynkach inwentarskich, gdzie emitowany jest razem z amoniakiem. Podtlenek azotu jest gazem o bardzo dużym potencjale cieplarnianym. Wzrost jego stężenia w stratosferze może pośrednio wzmocnić proces degradacji warstwy ozonowej (Jugowar i in., 2015).

Działania zmierzające do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie powinny być prowadzone w trzech etapach: 1) identyfikacja gospodarstw rolnych emitujących najwięcej gazów cieplarnianych, 2) znalezienie wariantów rozwiązań zapewniających redukcję emisji gazów cieplarnianych odpowiednich dla tych gospodarstw, 3) wybór wariantu gwarantującego najwyższą efektywność ekonomiczną (Franks i Hadingham, 2012). Stosując odpowiednio zmodyfikowane technologie produkcji rolniczej, można zmniejszyć ogólny poziom tych emisji o 1/3 (Parton i in., 2011). W przypadku, gdy w wyniku tych działań następuje obniżenie plonów bądź zmniejszenie efektywności ponoszonych nakładów, pojawia się ekonomiczna bariera hamująca ich wdrażanie. Autorzy zagraniczni podejmujący ten temat postulują stosowanie subsydiów finansowych, umożliwiających przewyciężenie tej bariery (Beach i in., 2015; Horovitz i Gotlieb, 2010; Paustian i in., 2006; Parton i in., 2011). Oszacowanie niezbędnej wysokości takich subsydiów, a także ocena ekonomicznych skutków wdrażania technologii przyjaznych środowisku naturalnemu wymaga zastosowania w miarę precyzyjnych metod. Celem niniejszej pracy jest prezentacja propozycji metody oceny ekonomicznych skutków zastosowania w gospodarstwach rolnych technologii powodującej redukcję emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, uwzględniającej niepełne zamortyzowanie obiektów technicznych, wykorzystywanych w warunkach stosowania dotychczasowej technologii w przypadku analizy prowadzonej w skali gospodarstwa rolnego.

### **Możliwości redukcji emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie**

Potencjalnych możliwości redukcji emisji gazów cieplarnianych i substancji zanieczyszczających powietrze w produkcji rolniczej należy poszukiwać w odpowiedniej modernizacji technologii tej produkcji. Wiąże się z tym konieczność stosowania bardziej przyjaznych środowisku naturalnemu obiektów technicznych, rozumianych tu jako zestaw środków mechanizacji rolnictwa i szeroko rozumianych obiektów budowlanych, racjonalizacji nawożenia, ze szczególnym uwzględnieniem mineralnych nawozów azotowych, a także nawozów organicznych – obornika i gnojowicy. Wdrażanie technologii prowadzących do redukcji emisji gazów cieplarnianych i substancji zanieczyszczających powietrze wiąże się przede wszystkim z koniecznością poniesienia nakładów inwestycyjnych na nowe obiekty techniczne, w tym zapewniające racjonalizację nawożenia i ochrony roślin zgodnie z zasadami rolnictwa precyzyjnego.

Rolnictwo może uczestniczyć w ograniczaniu zagrożenia powodowanego zmianami klimatycznymi poprzez:

- redukcję emisji gazów cieplarnianych;
- zwiększenie pochłaniania CO<sub>2</sub> przez rośliny dzięki wydłużeniu czasu utrzymania okrywy roślinnej, m.in. poprzez stosowanie poplonów i międzyplonów;
- zwiększenie zdolności magazynowania węgla w glebie<sup>3</sup>.

Redukcję emisji gazów cieplarnianych można osiągnąć za pomocą zmian technologii produkcji rolniczej polegających m.in. na:

- zastosowaniu metod uprawy roli zmniejszających częstotliwość i intensywność zabiegów;
- zmianach w systemach chowu i utrzymania zwierząt gospodarskich, a także w zagospodarowaniu odchodów zwierzęcych w celu zmniejszenia emisji metanu i pozostałych gazów cieplarnianych oraz amoniaku;
- zmniejszeniu energochłonności procesów produkcji rolniczej;
- zmniejszeniu dawek nawozów mineralnych, zwłaszcza azotowych, i bardziej precyzyjnym i terminowym ich stosowaniu;
- utrzymaniu okrywy roślinnej gleb przez możliwie najdłuższy okres czasu;
- właściwym utrzymaniu ugorów i rekultywacji gleb zdegradowanych.

Większość wymienionych wyżej rozwiązań umożliwia także zwiększenie zdolności magazynowania węgla w glebie, któremu sprzyja też wzrost udziału w płodozmianie roślin przeznaczonych na siano oraz wytwarzających dużą ilość resztek poźniwnych (Horovitz i Gottlieb, 2010; Paustian i in., 2006).

Zastąpienie tradycyjnej uprawy roli, charakteryzującej się regularnym stosowaniem orki będącej zabiegiem energochłonnym i silnie inwazyjnym, metodami uprawy mniej energochłonnymi i w mniejszym stopniu ingerującymi w strukturę gleby (uprawa zerowa, różne rodzaje uprawy minimum) powoduje zmniejszenie emisji dwutlenku węgla podczas wykonywania prac, a ponadto spowolnienie procesów utleniania substancji organicznej w glebie. Zastosowanie uprawy zachowawczej, polegającej na płytkiej uprawie z użyciem agregatów wieloczynnościowych oraz spulchniacza obrotowego, opracowanego w Mazowieckim Ośrodku Badawczym ITP, zamiast tradycyjnej uprawy z zastosowaniem orki, powoduje obniżenie zużycia paliwa na prace polowe w pięcioletnim zmianowaniu: pszenica – buraki cukrowe – kukurydza – żyto – rzepak ozimy z 240,1 do 105,7 l·ha<sup>-1</sup>, a nakładów energii na jednostkę powierzchni – z 1197 do 575 MJ·ha<sup>-1</sup> (Golka i Ptaszyński, 2014). Według Sørensen i in. (2014) całkowita emisja dwutlenku węgla w przeliczeniu na jednostkę uzyskanej produkcji wyniosła w przypadku: uprawy tradycyjnej 915 g·kg<sup>-1</sup>, uprawy minimum – 817 g·kg<sup>-1</sup>, a uprawy zerowej (*no tillage system*) – 855 g·kg<sup>-1</sup>. Wyższy poziom emisji na jednostkę produkcji w przypadku zastosowania systemu

<sup>3</sup> Proces magazynowania węgla organicznego w glebach zależy nie tylko od ilości dostarczanej do gleby substancji organicznej, stosowanych zabiegów uprawowych, intensywności użytkowania gruntów, ale i od warunków klimatycznych oraz typu gleby. Jest to proces długotrwały. Poprawę jego skuteczności można uzyskać, m.in. stosując metody uprawy gleby powodujące utrzymanie procesów utleniania substancji organicznej w glebie na możliwie najniższym poziomie.

bezuprawowego, w porównaniu z uprawą minimum, był spowodowany obniżeniem plonowania roślin średnio o 10%. Mineralizacja substancji organicznej w glebie powoduje około 50-60% emisji gazów cieplarnianych, dlatego uprawa roli powinna stwarzać warunki glebowe ograniczające mineralizację i utlenianie substancji organicznej.

Poważnym źródłem emisji gazów cieplarnianych: dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu jest produkcja zwierzęca. Emisja tych gazów jest uzależniona m.in. od gatunku zwierząt, systemu ich utrzymania i sposobu magazynowania odchodów, które też są źródłem szkodliwych emisji. Badania przeprowadzone w Wielkopolsce, w tuczarni na wysokiej ściółce, wykazały, że dobową wartość wskaźnika emisji metanu, odniesionego do dużej jednostki przeliczeniowej (DJP), wynosiła  $199,8 \text{ g} \cdot \text{DJP}^{-1}$ , a średnia dobową wartość wskaźnika emisji podtlenku azotu ( $8,6 \text{ g} \cdot \text{DJP}^{-1}$ ) była znacznie większa niż w tuczarniach z systemem bezściółkowym (Mielcarek i in., 2014). Zastąpienie w tym przypadku ściółkowego systemu utrzymania zwierząt systemem bezściółkowym zapewnia zmniejszenie poziomu emisji. Wiąże się to jednak z pogorszeniem bilansu ciepła w budynku przy chłodnej pogodzie. Zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych z odchodów zwierzęcych sprzyja m.in. zakwaszanie lub separacja gnojowicy oraz stosowanie okryw w miejscach składowania obornika.

Wdrażanie systemu rolnictwa precyzyjnego pozwala na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych związanej z nawożeniem roślin i żywieniem zwierząt. Stosując dawki nawozów odpowiednio do potrzeb w układzie przestrzennym, umożliwiamy zwiększenie efektywności ich wykorzystania przez rośliny uprawne i zmniejszenie szkodliwych emisji w przeliczeniu na jednostkę uzyskiwanej produkcji. Podobny efekt w produkcji zwierzęcej można uzyskać poprzez właściwą regulację mikroklimatu w budynkach inwentarskich, gwarantującą wysoką efektywność nakładów w postaci pasz. Zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych sprzyja też głęboka aplikacja gnojowicy na polach oraz skrócenie czasu, w którym nawozy pozostają na powierzchni gleby. Nie bez znaczenia jest również wybór rodzaju stosowanych nawozów mineralnych.

Bardzo ważne jest utrzymanie w miarę możliwości ciągłej okrywy roślinnej na polach uprawnych, a także na terenach ugorowanych lub rekultywowanych. Rośliny podczas wegetacji pobierają dwutlenek węgla, przyczyniając się do zmniejszenia jego zawartości w atmosferze, a jednocześnie, pobierając z gleby składniki nawozowe, powodują zmniejszenie emisji podtlenku azotu. W przypadku nieużytków i terenów rekultywowanych najkorzystniejsze jest ich zalesianie, zapewniające dużą masę roślin uczestniczących w fotosyntezie. W tym miejscu należy wspomnieć o niekorzystnym, a wciąż popularnym w Polsce zjawisku wypalania roślinności w okresie wiosennym. Wypalanie powoduje, z jednej strony, bezpośrednią emisję dwutlenku węgla i innych szkodliwych substancji do atmosfery, a z drugiej – czasową likwidację roślinności pochłaniającej

dwutlenek węgla z atmosfery. W przypadku gdy oprócz traw i innych roślin niskołodygowych w wyniku wypalania giną krzewy i drzewa, negatywne skutki mają długotrwały charakter.

Rolnictwo może wpływać pośrednio na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych także w innych działach gospodarki narodowej, np. poprzez produkcję biopaliw stanowiących substytut paliw pochodzenia kopalnego. Sama produkcja paliw z biomasy w rolnictwie wiąże się jednak z emisją CO<sub>2</sub> i innych gazów cieplarnianych (Hryniewicz i Grzybek, 2013; Namyślak, 2012; Wójcicki, 2015), a pełna ocena ekologicznych skutków stosowania biopaliw wymaga oceny bilansu dwutlenku węgla podczas ich produkcji na poziomie gospodarstwa rolnego (Dodder i in., 2015).

Omówione powyżej w skrócie działania powodujące redukcję emisji gazów cieplarnianych wymagają odpowiednich nakładów inwestycyjnych oraz mają wpływ na poziom i koszty produkcji rolniczej.

### **Szacowanie skutków ekonomicznych zastosowania technologii powodującej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie**

#### **Nakłady inwestycyjne związane z modernizacją technologii w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych**

Szacując wartość nakładów inwestycyjnych związanych z modernizacją technologii produkcji rolniczej, zapewniającej redukcję emisji gazów cieplarnianych i substancji zanieczyszczających powietrze w zakresie produkcji roślinnej w skali gospodarstw rolnych, należy uwzględnić niepełne wykorzystanie zdolności przerobowej dotychczas stosowanych obiektów technicznych, w przypadku gdy ich wiek jest krótszy od ich teoretycznej żywotności. Ma ono bowiem wpływ na koszty amortyzacji, a w przypadku zaciągnięcia kredytu podczas realizacji inwestycji – także na koszty oprocentowania kapitału. Nakłady inwestycyjne, z uwzględnieniem niepełnego zamortyzowania obiektów dotychczas stosowanych, można oszacować za pomocą poniższej formuły.

$$Ni_m = \sum_{i=1}^k Cm + \sum_{i=1}^k Cs \left( \frac{n_s - w_s}{n_s} \right) + \sum_{i=1}^k \left( \frac{n_s - w_s}{n_s} \right) \cdot \frac{Ks \cdot r_s}{100} + \sum_{i=1}^k \frac{Km \cdot r_m}{100} \quad (1)$$

gdzie:

- $Ni_m$  – nakłady inwestycyjne związane z modernizacją technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł);
- $C_m$  – ceny obiektów technicznych używanych w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł);
- $C_s$  – ceny obiektów technicznych używanych w dotychczas stosowanej technologii produkcji rolniczej (zł);

- $n_s$  – okres żywotności obiektów technicznych używanych w dotychczas stosowanej technologii produkcji rolniczej (lat);  
 $w_s$  – wiek obiektów technicznych używanych w dotychczas stosowanej technologii produkcji rolniczej (lat);  
 $K_s$  – wartość kredytów zaciągniętych w związku z inwestowaniem w dotychczas stosowane obiekty techniczne (zł);  
 $r_s$  – stopa oprocentowania kredytów zaciągniętych w związku z inwestowaniem w dotychczas stosowane obiekty techniczne (%);  
 $K_m$  – wartość kredytów zaciągniętych w związku z modernizacją technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł);  
 $r_m$  – stopa oprocentowania kredytów zaciągniętych w związku z modernizacją technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (%).

Analiza w skali makro nie pozwala na uwzględnienie wartości niepełnego amortyzowania dotychczas stosowanych obiektów technicznych oraz kosztów obsługi zaciągniętych kredytów. Wówczas do szacowania nakładów inwestycyjnych stosujemy wzór w uproszczonej formie:

$$Ni_m = \sum_{i=1}^k Cm \quad (2)$$

### Koszty i efekty modernizacji technologii produkcji rolniczej

Podstawą kalkulacji kosztów dla technologii produkcji rolniczej, zapewniającej redukcję emisji gazów cieplarnianych i substancji zanieczyszczających powietrze, są oszacowane z zastosowaniem wzorów (1) lub (2) wartości nakładów inwestycyjnych oraz koszty napraw, konserwacji, obsługi technicznej i zużytych bezpośrednich nośników energii, koszty robocizny własnej i najemnej, a także zużytych materiałów siewnych, nawozów, środków ochrony roślin w przypadku produkcji roślinnej lub materiału hodowlanego, pasz, leków itp. w przypadku produkcji zwierzęcej. Sumy tych kosztów dla technologii dotychczas stosowanej i zmodernizowanej można odnieść do jednostki wartości nadwyżki bezpośredniej uzyskiwanej w warunkach używania tych technologii.

Efektem zastąpienia dotychczas stosowanej technologii produkcji rolniczej technologią powodującą zmniejszenie emisji substancji zagrażających środowisku naturalnemu jest zmiana poziomu kosztów produkcji w przeliczeniu na jednostkę nadwyżki bezpośredniej. Różnicę można oszacować za pomocą wzoru:

$$Em = \frac{Ni_m \left( \frac{1+k_m}{n_m} \right) + \sum_{e=1}^i Ke_m + \sum_{r=1}^i Kr_m + \sum_{n=1}^i Kn_m + \sum_{o=1}^i Ko_m + \sum_{p=1}^i Kp_m}{Nb_m} - \frac{Ni_s \left( \frac{1+k_s}{n_s} \right) + \sum_{e=1}^l Ke_s + \sum_{r=1}^l Kr_s + \sum_{n=1}^l Kn_s + \sum_{o=1}^l Ko_s + \sum_{p=1}^l Kp_s}{Nb_s} \quad (3)$$

gdzie:

- $Em$  – zmniejszenie lub zwiększenie jednostkowego kosztu produkcji rolniczej w wyniku modernizacji technologii (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $k_m$  – współczynnik napraw, konserwacji i przeglądów obiektów technicznych stosowanych w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych;
- $n_m$  – okres żywotności obiektów technicznych stosowanych w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (lat);
- $Ke_m$  – roczny koszt nośników energii w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Kr_m$  – roczny koszt robocizny własnej i najemnej w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Kn_m$  – roczny koszt materiału siewnego (w przypadku produkcji roślinnej) lub materiału hodowlanego (w przypadku produkcji zwierzęcej) w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Ko_m$  – roczny koszt środków ochrony roślin (w przypadku produkcji roślinnej) lub leków weterynaryjnych (w przypadku produkcji zwierzęcej) w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Kp_m$  – roczny koszt pozostałych środków lub usług w technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Nb_m$  – roczna wartość nadwyżki bezpośredniej, uzyskiwanej w warunkach stosowania technologii produkcji rolniczej zapewniającej zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Ni_s$  – nakłady inwestycyjne poniesione na obiekty techniczne obecnie użytkowane (zł);
- $k_s$  – współczynnik napraw, konserwacji i przeglądów obecnie użytkowanych obiektów technicznych;
- $Ke_s$  – roczny koszt nośników energii w technologii dotychczas stosowanej (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Kr_s$  – roczny koszt robocizny własnej i najemnej w technologii dotychczas stosowanej (zł·rok<sup>-1</sup>);



- $Kn_s$  – roczny koszt materiału siewnego (w przypadku produkcji roślinnej) lub materiału hodowlanego (w przypadku produkcji zwierzęcej) w technologii dotychczas stosowanej (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Ko_s$  – roczny koszt środków ochrony roślin (w przypadku produkcji roślinnej) lub leków weterynaryjnych (w przypadku produkcji zwierzęcej) w technologii dotychczas stosowanej (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Kp_s$  – roczny koszt pozostałych środków lub usług w technologii dotychczas stosowanej (zł·rok<sup>-1</sup>);
- $Nb_s$  – roczna wartość nadwyżki bezpośredniej uzyskiwana dotychczas (zł).

Praktyczne zastosowanie proponowanych procedur obliczeniowych wymaga dostępu do danych o nakładach inwestycyjnych i kosztach związanych z wdrożeniem technologii umożliwiających redukcję emisji gazów cieplarnianych.

W celu oszacowania wymienionych powyżej nakładów i kosztów opracowane zostaną wielowariantowe modele technologii umożliwiających redukcję gazów cieplarnianych w gospodarstwie rolnym lub w rolnictwie w skali kraju. Na podstawie oceny ekonomicznej spośród rozpatrywanych wariantów do praktycznego zastosowania zostaną wybrane te, które zapewnią najwyższą efektywność ponoszonych nakładów.

Podczas oceny tej efektywności uwzględnia się dodatnie i ujemne strony zastosowania technologii produkcji roślinnej umożliwiające zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. Precyzyjne i terminowe stosowanie nawozów azotowych będzie wiązać się ze zmniejszeniem kosztów ich zużycia. Zmniejszenie nakładów energii dzięki zastąpieniu orki mniej energochłonnymi metodami uprawy roli oraz zastosowaniu agregatów wieloczynnościowych spowoduje obniżenie kosztów zużycia oleju napędowego. Oszczędności z tego tytułu zrekompensują częściowo wzrost kosztów eksploatacji wynikających z użytkowania obiektów technicznych nowej generacji.

Efektywność zastosowania technologii produkcji roślinnej umożliwiających zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych można oszacować za pomocą wzoru:

$$Erm_{GHG} = \frac{Rim_{GHG} - \Delta pm}{\Delta cm - Ocm} \quad (4)$$

gdzie:

- $Erm_{GHG}$  – efektywność redukcji gazów cieplarnianych w wyniku zastosowania  $m$ -tego wariantu technologii produkcji rolniczej (kg CO<sub>2</sub>e·zł<sup>-1</sup>),
- $Rim_{GHG}$  – zmniejszenie emisji  $i$ -tego gazu cieplarnianego w wyniku zastosowania  $m$ -tego wariantu technologii produkcji rolniczej (kg CO<sub>2</sub>e),
- $\Delta pm$  – zmiana emisji innych gazów cieplarnianych w wyniku zastosowania  $m$ -tego wariantu technologii produkcji rolniczej (kg CO<sub>2</sub>e),

- $\Delta cm$  – zmiana kosztów eksploatacji obiektów technicznych w wyniku zastosowania  $m$ -tego wariantu technologii produkcji rolniczej (zł),
- $Ocm$  – zmiana kosztów zużycia środków produkcji w wyniku zastosowania  $m$ -tego wariantu technologii produkcji rolniczej (zł).

We wzorze (4) uwzględniono skutki uboczne redukcji emisji gazów cieplarnianych, polegające na tym, że działania powodujące zmniejszenie emisji jednego z czynników zanieczyszczających powodują zwiększenie emisji innego lub innych. Zjawisko to, określane angielskim terminem *pollution swapping*, występuje dość powszechnie w rolnictwie (Franks i Hadingham, 2012; Monteny, Bannink i Chadwick, 2006; Oenema i Velthof, 2007; Stevens i Quinton, 2008, 2009). Jego przykładem jest zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> w przypadku zastosowania uprawy bezorkowej, z jednoczesnym prawdopodobnym zwiększeniem emisji tlenków azotu i metanu.

Obecny stan wiedzy nie pozwala jeszcze na pełne uwzględnienie skutków ubocznych redukcji emisji gazów cieplarnianych w postaci zależności między różnymi czynnikami ich emisji. Występują też rozbieżności odnośnie do wyników badań. Według niektórych autorów zastosowanie uprawy bezorkowej powoduje zwiększenie emisji związków azotowych do atmosfery, inni prezentują wyniki wręcz przeciwne (Monteny, Bannink i Chadwick, 2006). Dlatego konieczne są dalsze, kompleksowe badania, które dostarczą bardziej precyzyjnych danych.

Zakres stosowania metody w formie przedstawionej powyżej ogranicza się do poszczególnych gospodarstw rolnych. Jej użycie w skali całego rolnictwa wymagałoby, z jednej strony, pominięcia niepełnego amortyzowania obiektów technicznych, z drugiej zaś – uwzględnienia transferu emisji między działami produkcji oraz w wyniku obrotów handlu zagranicznego.

Transfer emisji odbywa się między poszczególnymi podmiotami gospodarczymi, działami gospodarki narodowej wewnątrz kraju, a także w skali międzynarodowej. Jego bilans stanowi sumę emisji skumulowanych w produktach zakupionych, pomniejszoną o emisje skumulowane w produktach sprzedanych. Po uwzględnieniu tego bilansu może się okazać, że zmniejszenie tych emisji w skali gospodarstwa rolnego, rolnictwa lub kraju powoduje zwiększenie emisji w skali globalnej (Franks i Hadingham, 2012; Moran i in., 2011).

### Podsumowanie

Wdrożenie technologii produkcji roślinnej i zwierzęcej, zapewniających redukcję emisji gazów cieplarnianych, wymaga dodatkowych inwestycji w gospodarstwach rolnych. Tymczasem przynajmniej część dotychczas stosowanych, a nieprzydatnych przy nowej technologii środków technicznych nie została w pełni amortyzowana. Wszystko to powoduje, że jednostkowe koszty produkcji rolniczej w wyniku modernizacji technologii wzrosną, mimo pew-

nych oszczędności w zakresie nośników energii czy nawozów mineralnych. Potwierdzają to pośrednio prace autorów zagranicznych, którzy postulują wprowadzenie subwencji mających na celu zachęcenie rolników do stosowania technologii produkcji przyjaznych środowisku naturalnemu.

W świetle powyższych faktów jawi się potrzeba opracowania metod szacowania ekonomicznych skutków redukcji emisji gazów cieplarnianych. Metoda proponowana w niniejszej pracy uwzględnia niepełne zamortyzowanie obiektów technicznych, wykorzystywanych w warunkach stosowania dotychczasowych technologii produkcji roślinnej i zwierzęcej. W przedstawionej formie zakres jej stosowania ogranicza się do poszczególnych gospodarstw, aby możliwe było jej zastosowanie w skali całego rolnictwa, należałoby pominąć niepełne zamortyzowanie obiektów technicznych oraz uwzględnić transfer emisji między działami produkcji i w wyniku obrotów handlu zagranicznego.

Za pomocą proponowanej metody można już obecnie oszacować nakłady inwestycyjne oraz koszty zastosowania technologii umożliwiających redukcję emisji gazów cieplarnianych w gospodarstwie rolnym. Jednak brak odpowiednich danych, a zwłaszcza kontrowersje odnośnie do wpływu różnych rozwiązań na poziom, a nawet kierunek zmian emisji poszczególnych rodzajów gazów cieplarnianych, utrudnia ocenę efektywności działań proekologicznych.

Zastosowanie proponowanej metody w pełnym zakresie wymaga odpowiednich danych, które obecnie są niepełne, a niekiedy sprzeczne ze sobą. Konieczne są dalsze, kompleksowe badania, które dostarczą bardziej precyzyjnych informacji na temat wymiernych skutków różnych rozwiązań zmniejszających emisję gazów cieplarnianych.

### **Bibliografia:**

- Beach, R.H., Creason, J., Ohrel, S.B., Ragnauth, S., Ogle, S., Li, C., Ingraham, P., Salas, W. (2015). Global mitigation potential and costs of reducing agricultural non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions through 2030. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, vol. 12, iss. Sup 1, s. 87-105.
- Dodder, R.S., Kaplan, P.O., Elobeid, A., Tokgoz, S., Secchi, S., Kurkalova, L.A. (2015). Impact of energy prices and cellulosic biomass supply on agriculture, energy, and the environment: an integrated modeling approach. *Energy Economics*, vol. 51, s. 77-87.
- Eurostat (2015). *Agriculture – greenhouse gas emission statistics*. Pobrane z: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agriculture\\_-\\_greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agriculture_-_greenhouse_gas_emission_statistics) (data dostępu: 02.12.2016).
- Franks, J.R., Hadingham, B. (2012). Reducing greenhouse gas emissions from agriculture: Avoiding trivial solutions to a global problem. *Land Use Policy*, vol. 29, iss. 4, s. 727-736.
- Golka, W., Ptaszyński, S. (2014). Nakłady na uprawę roli w technologii zachowawczej i tradycyjnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3, s. 31-47.
- Horovitz, J., Gottlieb, J. (2010). *The role of agriculture in reducing greenhouse gas emissions*. *Economic Brief*. No. 15. USDA Economic Research Service, Washington DC, s. 8.
- Hryniewicz, M., Grzybek, A. (2013). Emisje gazów powstałych podczas uprawy ślazuwca pensylwańskiego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 4(82), s. 119-127.
- Jugowar, J.L., Rzeźnik, W., Milcarek, P. (2015). *Emisje z sektora rolniczego – problem, którego nie unikniemy*. Ogólnopolska konferencja upowszechnieniowo-wdrożeniowa „Instytut Technologiczno-Przyrodniczy dla nauki, praktyki i doradztwa”. Warszawa: CBR, s. 27.
- KOBiZE (2014). *Gazy cieplarniane*. Pobrane z: <http://www.kobize.pl/en/article/krajowa-inwentaryzacja-emisji/id/384/gazy-cieplarniane>.
- Mielcarek P., Rzeźnik, W., Rzeźnik, I. (2014). Emisja gazów cieplarnianych i amoniaku z tużarni na głębokiej ściółce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 1, s. 83-90.
- Monteny, G.J., Bannink, A., Chadwick, D.R. (2006). Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 112, issue, 2-3, s. 163-170.
- Moran, D., MacLeod, M., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A., Rees, R., Topp, C.F.E., Moxey, A. (2011). Marginal abatement cost curves for UK agricultural greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Economic*, vol. 62, issue 1, s. 93-118.
- Nalley, L., Popp, M., Fortin, C. (2011). The impact of reducing greenhouse gas emissions in crop agriculture: a spacial and production-level analysis. *Agricultural and Resource Economics Review*, vol. 40, no. 1, s. 63-80.
- Namyślak, Ł. (2012). Szacowanie wielkości emisji wybranych surowców energetycznych dla biogazowni z zastosowaniem metody LCA. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 4(78), s. 183-193.
- Oenema, O., Velthof, G.L. (2007). Analysis of international and European policy instruments: pollution swapping. Task 2 Service Contract “Integrated measures in agriculture to reduce ammonia emissions”. Alterra-rapport 1663.2. Wageningen, The Netherlands, s. 108.
- Parton, W.J., Del Grosso, S.J., Marx, E., Swan, A.L. (2011). Agriculture’s role in cutting greenhouse gas emissions. *Issues in Science and Technology*, vol. 27, no. 4, s. 29-32.

- Paustian, K., Antle, J.M., Sheehan, J., Paul E.A. (2006). Agriculture's role in greenhouse gas mitigation. *PEW Center on Global Climate Change*, s. 88.
- Stevens, C.J., Quinton, J.N. (2008). Policy implications of pollution swapping. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 34, iss. 8-9, s. 589-594.
- Stevens, C.J., Quinton, J.N. (2009). Diffuse pollution swapping in arable agricultural systems. *Critical Review in Environmental Science and Technology*, vol. 39, iss. 6, s. 478-520.
- Sørensen, C.G., Halberg, N., Oudshoorn, F.W., Petersen, B.M., Dalgaard, R. (2014). Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. *Biosystems Engineering*, vol. 120, s. 2-14.
- Wójcicki, Z. (2015). Znaczenie biomasy w energetyce i gospodarce żywnościowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 1(87), s. 5-15.

JAN PAWLAK  
Institute of Technology and Life Sciences  
Branch of Warsaw

## METHODOLOGICAL ASSUMPTIONS TO ASSESS THE ECONOMIC EFFECTS OF GREENHOUSE GAS EMISSION IN AGRICULTURE

### Abstract

*The paper presents a method for assessing the economic impact of on-farm application of technology that causes reduction of greenhouse gases emissions. The proposed method takes into account the incomplete depreciation of technical means used under conditions of crop and animal production technologies applied to date. The scope of its application, in the form presented in this paper, is confined to the farm scale. The use in the scale of the whole agriculture would require, on the one hand, omission of incomplete depreciation of technical means used under conditions of technologies applied to date, and on the other hand – taking into account the emission transfer between national economy sectors and the ones resulting from foreign trade.*

**Keywords:** greenhouse gas emission, reduction, economic impact, assessment, method.

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.06.2017.*