

Jacek ELIASZ

WYBRANE ASPEKTY MODELU ENERGETYCZNO-EMISYJNEJ ANALIZY CYKLU ŻYCIA BIOPALIW

Streszczenie

Artykuł przedstawia wybrane aspekty dotyczące metodyki służącej określaniu wielkości nakładów energetycznych oraz obciążeń emisyjnych związanych z wytwarzaniem biopaliw. W pracy odniesiono się do podstawowych założeń teoretycznych oraz przyjętej metodyki oceny, w myśl tzw. analizy cyklu życia (LCA) dla wybranego przykładu biopaliwa wytwarzanego na bazie rafinacji i estryfikacji oleju rzepakowego. Opracowanie zawiera także prezentację wybranych zależności dotyczących nakładów energetycznych oraz tzw. „stopy zwrotu emisji CO₂”, odniesionych do poszczególnych podsystemów wytwarzania biopaliw.

WSTĘP

Produkcja i wykorzystywanie w obszarze transportu i energetyki ciekłych biopaliw (bioetanolu, biodiesla) wytwarzanych na bazie roślin energetycznych, wydawało się jeszcze do niedawna wychodzić naprzeciw unijnym wytycznym dotyczącym zmniejszenia poziomu emisyjności sektora transportowo-energetycznego oraz zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w krajowym bilansie energetycznym. Widoczne to było poprzez znaczący wzrost liczby projektów wdrożeniowo-komercyjnych oraz naukowo-badawczych poświęconych technologiom wytwórczym, służącym do produkcji tego rodzaju paliw alternatywnych [1, 2, 3]. Wzrostowi zainteresowania tego rodzaju instalacjami towarzyszył i towarzyszy jednak nadal szereg kontrowersyjnych opinii i wątpliwości, dotyczących m.in. takich zagadnień jak:

- ich rzeczywisty poziom efektywności energetycznej i środowiskowej oraz oczekiwanego poziomu redukcji emisji CO₂,
- tendencje do zwiększania areału upraw energetycznych, kosztem upraw zbóż konsumpcyjnych,
- możliwości ich całorocznego wykorzystania w obszarze transportowym oraz lokalnych systemów zasilania w energię elektryczną i ciepłą,
- brak kompleksowej, w pełni obiektywnej oceny w ujęciu ich całego cyklu życia.

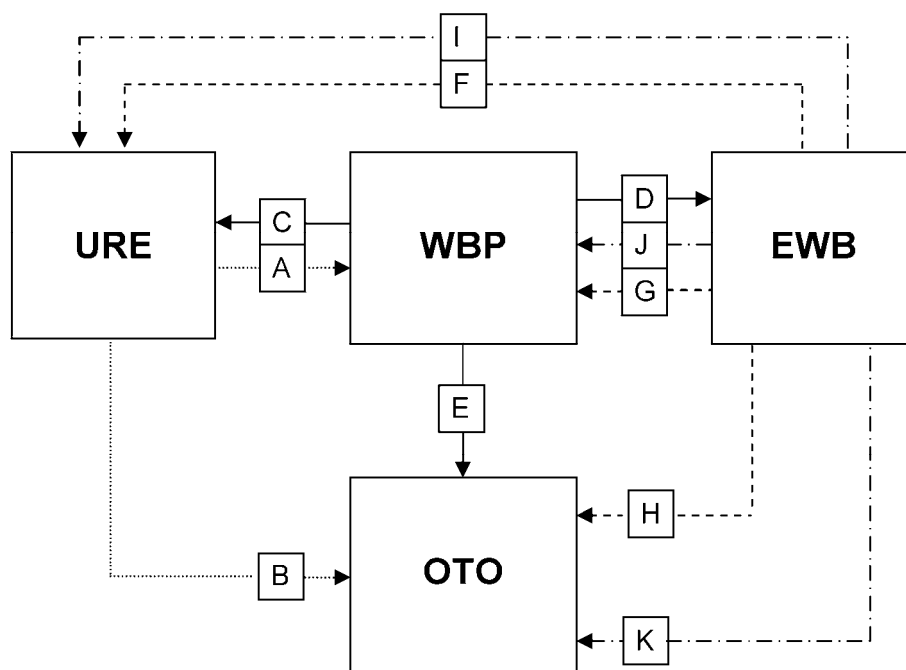
Wątpliwości te doprowadziły m.in. do zaniechania dalszego finansowego wsparcia rozwoju sektora tzw. biorafinerii przez rządy Niemiec i Polski. Tym samym zastosowanie energetyczno-ekologicznej analizy cyklu życia w obszarze ww. produkcji roślin energetycznych oraz wytwarzania na ich bazie biopaliw, pozwoliłoby zarówno na rozwianie szeregu z tych wątpliwości, jak i dałoby możliwość przeprowadzenia obiektywnej analizy porównawczej

w odniesieniu do innych rodzajów technologii, służących wytwarzaniu konwencjonalnych paliw, co było powodem podjęcia tej tematyki przez autora niniejszego opracowania.

1. OPIS PRZYJĘTEJ METODYKI ANALITYCZNEJ

Na rys. 1 przedstawiono w sposób uproszczony koncepcję przyjętej metodyki energetyczno-emisyjnej analizy cyklu wytwarzania i energetycznego użytkowania biopaliw, obejmującej swym zasięgiem:

- podsystem uprawy roślin energetycznych (URE),
- podsystem wytwarzania na bazie roślin energetycznych ciekłych biopaliw (WBP),
- podsystem energetycznego wykorzystania biopaliw (EWB) w transporcie i energetyce oraz
- podsystem odzwierciedlający otoczenie (OTO).

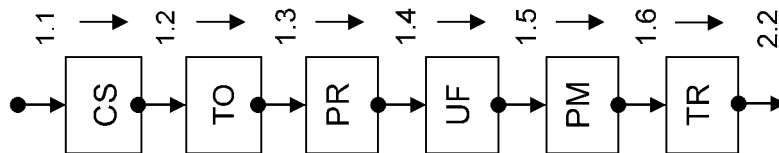


Rys. 1. Schemat blokowy modelu energetyczno-emisyjnej analizy cyklu wytwarzania i energetycznego wykorzystania biopaliw

Wzajemne powiązania pomiędzy poszczególnymi podsystemami i ich oddziaływaniem wewnątrz- oraz zewnątrzsystemowym (tj. oddziaływaniem do otoczenia), stanowiące podstawę dla dalszych rozważań w ramach przyjętej metodyki analizy energetyczno-emisyjnej, odzwierciedlają:

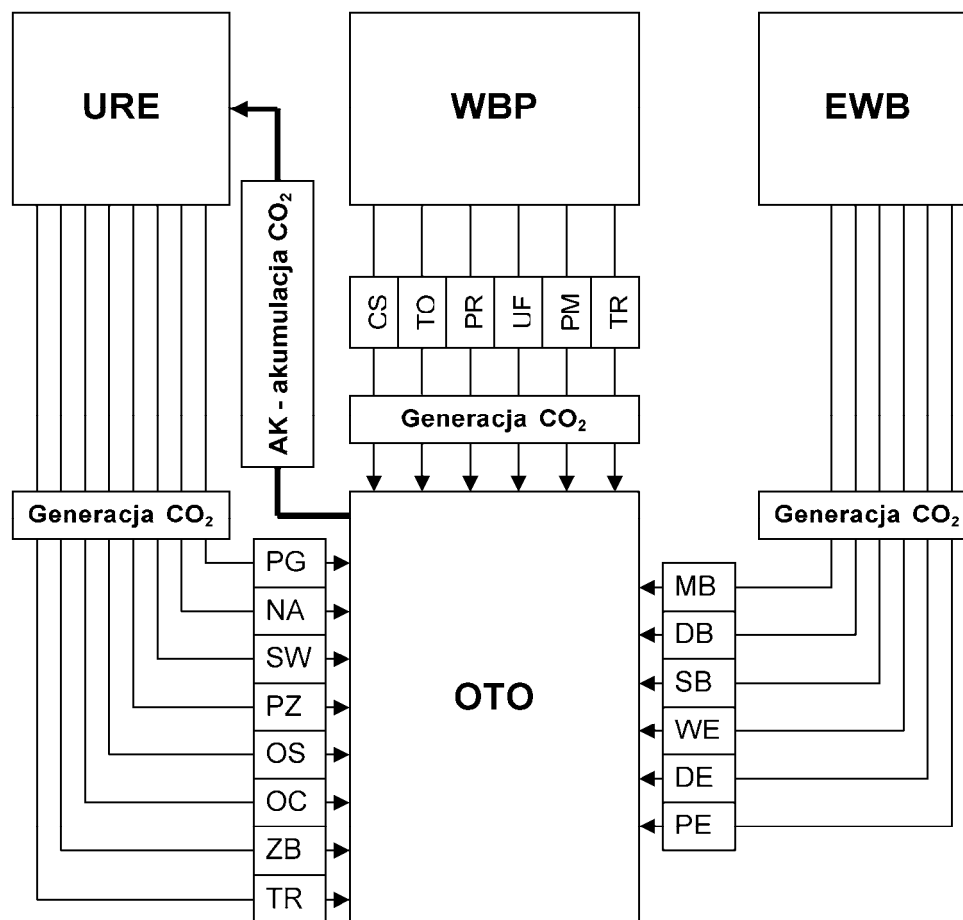
- strumienie (A i B) wytworzonych – w ramach podsystemu URE – roślinnych surowców energetycznych, np. rzepaku,
- strumienie (C, D i E) wytworzonych – w ramach podsystemu WBP – biopaliw,
- strumienie (F, G i H) wytworzonej – w ramach podsystemu EWB – energii mechanicznej trakcji lub energii elektrycznej wyprodukowanej przez agregaty prądowo-ciepne,
- strumienie (I, J i K) wytworzonego – w ramach podsystemu EWB – ciepła.

Przyjęta w ramach niniejszej analizy energetyczno-ekologicznej metodyka uwzględnia również zagadnienia związane z jednostkowymi nakładami energetycznymi oraz jednostkowymi obciążeniami emisyjnymi w obszarze pojedynczych elementów łańcucha energetyczno-technologicznego, jak i pojęcia skumulowanych nakładów energetycznych oraz skumulowanych obciążeń emisyjnych odniesionych do całości procesu wytwarzania biopaliw, co przykładowo przedstawiono na rysunku 2 dla łańcucha technologiczno-energetycznego w obszarze produkcji biopaliw (tj. dla podsystemu WBP).



Rys. 2. Uproszczony schemat łańcucha technologiczno-energetycznego dla podsystemu WBP, tj. produkcji biopaliw, gdzie: CS – czyszczenie i suszenie ziarna, TO – tłoczenie oleju, PR – proces rafinacji, UF – uszlachetnianie i filtrowanie, PM – pośrednie magazynowanie biopaliw, TR – transport

W zakresie bilansu oraz tzw. stopy zwrotu emisji CO₂ przyjęto założenie polegające na tym, że zdolności do akumulowania CO₂ przez dany, jednostkowy areal upraw, przeciwstawione zostaną skumulowane emisje występujące we wszystkich podprocesach realizowanych w poszczególnych podsystemach, co przedstawiono schematycznie na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat modelu będącego podstawą bilansowania emisji CO₂, gdzie PG – przygotowanie gruntu pod zasiew, NA – nawożenie, SW – siew, PZ – pielęgnacja zasiewu, OS – ochrona przed szkodnikami, OC – ochrona przed chorobami, ZB – zbiór, TR – transport, MB – magazynowanie buforowe biopaliw, DB – dystrybucja biopaliw, SB – spalanie biopaliw, WE – wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła, DE – dystrybucja energii elektrycznej i ciepła, PE – postępowanie z emisjami

2. APARAT MATEMATYCZNY I WYBRANE WYNIKI ANALIZY

Przedstawiony na rys. 1 schemat blokowy stanowi podstawę do przeprowadzenia właściwego bilansu energetyczno-egzergetycznego (w myśl pierwszej i drugiej zasady termodynamiki) oraz zdefiniowania wskaźników energochłonności w obszarze funkcjonowania całego kompleksu wytwarzania i energetycznego wykorzystania biopaliw oraz odrębnie dla poszczególnych podsystemów. Tym samym otrzymuje się odpowiednio:

– dla podsystemu URE:

$$E_A + E_B = E_C + E_F + B_I \quad (1)$$

gdzie:

E – energia,

B – egzergia ciepła

– dla podsystemu WBP:

$$E_C + E_D + E_E = E_A + E_G + B_J \quad (2)$$

– dla podsystemu EWB:

$$E_F + E_G + E_H + B_I + B_J + B_K = E_D \quad (3)$$

– dla podsystemu OTO:

$$E_{OTO} = E_B + E_E + E_H + B_K \quad (4)$$

Przy definiowaniu jednostkowych wskaźników energochłonności odniesiono je do ilości danego rodzaju nośnika energii wytwarzanego przez rozpatrywany podsystem. Tym samym dla podsystemu URE będzie to całkowita masa wytwarzanego z danego arealu rzepaku, dla podsystemu WBP całkowita masa (lub objętość) wytwarzanego biopaliwa, a dla podsystemu EWB suma wytwarzanej energii mechanicznej trakcji, energii elektrycznej i/lub egzergii wytwarzanego ciepła w skojarzeniu. Uwzględniając to założenie, otrzymuje się następujące zależności określające wskaźniki energochłonności w obszarze:

– podsystemu URE:

$$en_{URE} = \frac{E_C + E_F + B_I}{m_A + m_B} \quad (5)$$

– podsystemu WBP:

$$en_{WBP} = \frac{E_A + E_G + B_J}{m_C + m_D + m_E} \quad (6)$$

– podsystemu EWB:

$$en_{EWB} = \frac{E_D}{E_F + E_G + E_H + B_I + B_J + B_K} \quad (7)$$

Zgodnie z przyjętym w niniejszym opracowaniu modelem (rys. 3) otrzymuje się podane poniżej zależności, określające wskaźniki jednostkowego obciążenia emisyjnego CO₂:

– dla podsystemu URE:

$$em_{CO_2/URE} = \frac{m_{CO_2/C} + m_{CO_2/F}}{m_A + m_B} \quad (8)$$

– dla podsystemu WBP:

$$em_{CO_2/WBP} = \frac{m_{CO_2/A} + m_{CO_2/G} + m_{CO_2/J}}{m_C + m_D + m_E} \quad (9)$$

– dla podsystemu EWB:

$$em_{CO_2/EWB} = \frac{m_{CO_2/D}}{E_F + E_G + E_H + B_I + B_J + B_K} \quad (10)$$

Zagadnienia związane z tzw. stopą zwrotu CO₂ dotyczą de facto jedynie wzajemnego oddziaływania pomiędzy podsystemem URE, a podsystemem OTO, co w sposób schematyczny zobrazowano na rys. 3. Jest oczywiste, że dany areał upraw roślin energetycznych jest w stanie zakumulować, jedynie część emisji CO₂ generowanych przez trzy tzw. wytwórcze podsystemy (tj. URE, WBP i EWB). Tym samym współczynnik stopy zwrotu emisji CO₂ definiowany będzie jako iloraz masy CO₂ akumulowanej przez dany areał upraw roślinnych do sumy emisji CO₂ wytwarzanych we wszystkich podsystemach kompleksu wytwarzania i energetycznego wykorzystania biopaliw, co można wyrazić podaną poniżej zależnością:

$$SZ_{CO_2} = \frac{m_{CO_2/AK}}{m_{CO_2/URE} + m_{CO_2/WBP} + m_{CO_2/EWB}} \quad (11)$$

gdzie np. (patrz rys. 2 i rys. 3):

$$m_{CO_2/WBP} = m_{CO_2/CS} + m_{CO_2/TO} + m_{CO_2/PR} + m_{CO_2/UF} + m_{CO_2/PM} + m_{CO_2/TR} \quad (12)$$

W tabeli 1 zestawiono wybrane wyniki analizy dotyczących wielkości jednostkowych nakładów energetycznych występujących w obszarze podsystemów URE i WBP.

Tab. 1. Wybrane wyniki analizy dotyczących wielkości jednostkowych nakładów energetycznych występujących w obszarze podsystemów URE i WBP

Czynności w obszarze danego podsystemu	Nakłady jednostkowe ne w [MJ/ha]
Podsystem URE	
Prace polowe (PG, PZ i ZB)	4 535
Przygotowanie materiału siewnego i zasiew (SW)	167
Nawożenie (NA)	7 117
Ochrona przed szkodnikami i chorobami (OS i OC)	1 406
Transport i składowanie ziarna (TR)	1 517
Suma nakładów jednostkowych	14 742
Podsystem WBP	
Wytwarzanie oleju rzepakowego (CS i TO)	3 287
Rafinacja oleju rzepakowego (PR)	780
Uszlachetnianie i filtrowanie (UF)	7 565
Pośrednie magazynowanie i transport (PM i TR)	1 226
Suma nakładów jednostkowych	12 858
Suma nakładów dla podsystemów URE i WBP	27 600

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1, 2]

Zakładając [1], że wartość skumulowanego potencjału energetycznego biopaliwa wytwarzanego na bazie rafinacji i estryfikacji oleju rzepakowego kształtuje się na poziomie $SPE_{biodiesel} = 71\,492$ MJ/ha (przy wydajności 3000 kg rzepaku z ha) oraz łącznych nakładów energetycznych na jego wytworzenie wynoszących $SNE_{URE+WBP} = 27\,600$ MJ/ha, to współczynnik wydajności energii dla ww. rodzaju biopaliwa będzie wynosił $WWE_{biodiesel} = 2,59$.

Jeśli chodzi o wielkość obciążeń emisyjnych oraz poziom stopy zwrotu CO₂ to pierwsze uzyskane wyniki wskazują na to, że ilość emisji CO₂ związanych z wytworzeniem i energetycznym wykorzystaniem rozpatrywanego rodzaju biopaliwa jest kilkukrotnie wyższa, aniżeli zdolność do jego pochłaniania przez 1 ha uprawy rzepaku.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym opracowaniu podstawowe założenia modelowe stanowią nowe podejście do zagadnień dotyczących określania jednostkowych wskaźników energochłonności oraz obciążeń emisyjnych (na przykładzie emisji CO₂) w obszarze wytwarzania i energetycznego wykorzystania biopaliw.

Współczynnik wydajności energii $WWE_{biodiesel}$ dla rozpatrywanego rodzaju biopaliwa odniesiony do skumulowanych nakładów energetycznych w obszarze podsystemów URE i WBP ma – w porównaniu do innych rodzajów konwencjonalnych i odnawialnych technologii energetycznych – niską wartość i wynosi 2,59.

Ze względu na charakter niniejszego opracowania, zostały w nim zdefiniowane i krótko omówione jedynie podstawowe założenia koncepcyjne i wybrane zależności o charakterze ogólnym. Autor przedłożonego artykułu pragnie jednakże zapewnić, że tematyka ta – szczególnie w odniesieniu do konkretnego przykładu bilansu emisji CO₂ – będzie kontynuowana w kolejnych publikacjach i opracowaniach naukowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Widmann B. A., *Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht (Kurzfassung)*. Technische Universität München, Bayrische Landesanstalt für Landtechnik, Freising-Weihenstephan 1992.
2. Reinhardt, G. A., *Energie und CO₂-Bilanzierung Nachwachsender Rohstoffe*. Vieweg Verlag 1993.
3. Schöne-Warnefeld A., *Die Struktur der Rapsverarbeitung in Deutschland*. In: RAPS, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen 1996.

THE SELECTED ASPECTS OF ENERGY-EMISSION MODEL FOR THE BIOFUELS LIFE CYCLE ANALYSIS

Abstract

The article presents the chosen aspects of the methodology serving to determine the energy outlays magnitude and the emission loads connected to biofuels produce. The paper relates to the main theoretical assumptions and the accepted methodology assessment of life cycle analysis (LCA) for selected example biofuel produced basing the rapeseed oil refining. The article contains as well the presentation of selected relations between energy outlays and the rate of return CO₂ emission concerning to individual biofuel producing systems.

Autor:

dr hab. inż. **Jacek Eliaz** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie