

Wербalny model bilansowania energii i dwutlenku węgla w produkcji i wykorzystywaniu biopaliw

Marcin Bizukojć^{1*}, Karina Michalska², Anna Pazera¹

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Katedra Inżynierii Bioprocessowej, ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, tel.: +48 42 631 39 72; fax: +48 636 56 63

² Instytut Włókiennictwa, ul. Brzezińska 5/15. 92-103 Łódź, tel.: +48 42 6163111; fax: +48 42 679 26 38.

* e-mail marcin.bizukojc@p.lodz.pl

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiona została koncepcja modelu dla narzędzia obliczeniowego służącego bilansowaniu energii i dwutlenku węgla dla produkcji i wykorzystywania biopaliw. Model ten oparty jest na koncepcji analizy cyklu życia i obejmuje wszystkie etapy procesów wytwarzania i przetwarzania surowców na biopaliwa oraz uzyskiwania z nich energii. Celem modelu i narzędzia obliczeniowego jest wykazanie, czy biopaliwo wytworzone w danym szeregu procesów jednostkowych może być nazwane odnawialnym źródłem energii w pełnym tego słowa znaczeniu oraz czy jego produkcja i wykorzystanie jest przez to sensowne z energetycznego punktu widzenia.

Wprowadzenie

Gwałtownie rozwijający się od dziewiętnastego wieku przemysł, dla którego energia była dostarczana przede wszystkim ze spalania paliw kopalnych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny, ropa naftowa, łupki bitumiczne) znacząco przyczynił się do zwiększenia stężenia dwutlenku węgla w atmosferze ziemskiej. Ostatnie badania wskazują, że osiągnięty został poziom 0,04% tego gazu w atmosferze ziemskiej (Mauna Loa Observatory). Szacowana ilość dwutlenku węgla w erze przedprzemysłowej wynosiła 0,028%, a każdy podręcznik, czy dowolna książka popularnonaukowa z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych dwudziestego wieku informowały wyraźnie, przedstawiając skład atmosfery ziemskiej, że stężenie dwutlenku węgla wynosi 0,03%. Nieaktualność tej informacji nie jest oczywiście problemem. Natomiast niezaprzeczalnym faktem jest, że dwutlenek węgla ma zdolność pochłaniania promieniowania podczerwonego i jest odpowiedzialny za intensyfikację efektu cieplarnianego. Tak zwany efekt cieplarniany jest niezbędny, żeby utrzymać temperaturę na powierzchni Ziemi średnio w okolicach 15-20°C, pozwalając na rozwój życia biologicznego. Niestety jego nadmiar może ten efekt intensyfikować, powodując tym samym zmiany klimatu w skali lokalnej jak i globalnej.

Bilans węgla na Ziemi dzięki działalności ludzkiej najprawdopodobniej uległ zachwianiu. Zanim zaczęto masowo wykorzystywać paliwa kopalne, spalane były paliwa, głównie drewno i inne surowce roślinne czy też odchody zwierząt, które we współczesnej epoce geologicznej wegetowały na naszej planecie. Zatem rośliny wiązały dwutlenek węgla, który mógł być

wyemitowany przy biologicznym rozkładzie materii organicznej czy jej spalaniu. Problemem stało się to, że w pewnym momencie do całej puli węgla będącej w obiegu na Ziemi człowiek włączył ten węgiel, który w poprzednich epokach geologicznych był wiązany w wyniku procesów biologicznego rozkładu ówczesnej materii ożywionej i ówczesnych procesów geologicznych. Zatem po setkach milionów czy nawet miliardach lat uwolniony został do współczesnego obiegu węgiel kamienny epoki karbońskiej czy pochodzące nawet jeszcze z prekambru gaz ziemny i ropa naftowa. Podkreślić więc należy, że paliwa kopalne to węgiel z poprzednich epok geologicznych, a węgiel wiązany i metabolizowany przez obecnie żyjące rośliny i inne organizmy fotoautotroficzne to węgiel będący we współczesnym obiegu.

Z tych rozważań wyprowadzić można definicję biopaliwa na użytek koncepcji przedstawionej w tej pracy. Każde paliwo przeznaczone do spalania (z wyjątkiem wodoru) musi zawierać węgiel jako pierwiastek, który w wyniku procesu egzoenergetycznego utleniania (spalania) przechodzi w dwutlenek węgla. Zatem jeśli ten węgiel pochodzi ze współczesnego obiegu węgla w przyrodzie, czyli jest np. węglem z odpadów organicznych czy ścieków, czy też współcześnie rosnących roślin, to paliwo zawierające taki węgiel można nazwać potencjalnym biopaliwem (pochodzenia biologicznego lub powstałym w wyniku procesów biologicznych) i jednocześnie jedną z form odnawialnych źródeł energii OZE (paliwem odnawialnym). Jeśli mamy zaś do czynienia z węglem związanym w materii organicznej w innych epokach geologicznych, to definitywnie jest to paliwo kopalne, przyczyniające się do zwiększania puli dwutlenku węgla we współczesnym obiegu i nie może być ono nazwane paliwem odnawialnym (biopaliwem).

Wykorzystanie jednak tych współczesnych surowców węglowych jako potencjalnych biopaliw (OZE) wiąże się często z ich przetwarzaniem, a więc bezwzględnie z wydatkiem energetycznym, zanim zostaną one przemienione w ekologiczną, w mniemaniu ich użytkowników, energię. Problem w tym, że tę energię na przetwarzanie biopaliw trzeba w jakiś sposób dostarczyć i najlepiej, żeby to była energia odnawialna (nieważne z jakiego odnawialnego źródła). Nie zawsze jednak tak jest. Co więcej logiczne jest to, że wkład energii w przetwarzanie surowca na biopaliwo musi być mniejszy od energii z niego odzyskanej i to samo dotyczy dwutlenku węgla. Bilans CO₂ może być dodatni, ale tylko wtedy jeśli spalamy „węgiel współczesny”, a jeszcze lepiej gdyby był zerowy, jeśli nie ujemny (uniknięta emisja tego gazu), żeby dopiero wtedy sensownie mówić o jakimś surowcu jako biopaliwie, będącym odnawialnym źródłem energii. Tak więc zawsze należałoby przygotować i rozwiązać taki bilans. Jeśli ten warunek byłby niespełniony, to biopaliwo byłoby nadal nieodnawialnym źródłem energii. Nie można zatem napisać tożsamości biopaliwo=OZE bez spełnienia warunku opisanego powyżej.

Celem tej pracy jest pokazanie, że samo wykorzystywanie pewnego surowca jako biopaliwa nie niesie w sobie korzyści ekologicznej, a wykonanie bilansu energii i dwutlenku węgla jest

niezbędnym elementem oceny potencjalnego substratu, jego technologii wytwarzania i sposobu wykorzystania energetycznego, aby ocenić, czy dany surowiec i związany z nim proces jego przetwarzania zasługuje na miano biopaliwa (OZE) w pełnym tego słowa znaczeniu.

Ramy bilansu energii i dwutlenku węgla

Aby ułatwić odpowiedź na pytanie postawione na zakończenie wprowadzenia trzeba przedstawić koncepcję bilansu energii i dwutlenku węgla. Dobrym narzędziem, na którym można się tu wzorować, jest analiza cyklu życia (Sima Pro 5.0 Manual). Choć jej idea powstała, aby określić, w jaki sposób dany produkt przemysłowy oddziałuje na środowisko w fazie wytwarzania, użytkowania i przetwarzania jako odpadu (*from cradle to grave*), to częściowo tę koncepcję można wykorzystać przy określeniu odnawialności danego biopaliwa.

Przyjmijmy zatem w naszych rozważaniach trzy etapy życia surowca, który ma się potencjalnie stać biopaliwem:

1. Wzrost biologiczny surowca roślinnego jako żywego organizmu fotoautotroficznego lub wytworzenie palnych bądź biodegradowalnych odpadów (ciekłych lub stałych) w związku z bytowaniem lub działalnością człowieka
2. Procesy przetwarzania surowca w celu uzyskania biopaliwa nadającego się do bezpośredniego spalania lub proces produkcji biopaliwa ciekłego albo gazowego (proces fermentacyjny z udziałem mikroorganizmów i towarzyszący jemu *upstream- i downstream processing*)
3. Proces spalania potencjalnego biopaliwa

Najważniejszym elementem bilansu jest kwestia zużycia energii na operacje jednostkowe związane z przetwarzaniem biopaliwa. Za każdym razem, jeśli ta energia pochodzi ze źródeł nieodnawialnych, to wiąże się to z dodatnią emisją dwutlenku węgla. Potencjalne biopaliwa (OZE) będziemy rozpatrywać w dwóch aspektach: jako biomasa do bezpośredniego spalania czy do przetworzenia na ciekłe lub gazowe biopaliwa (etanol, butanol, metan), stąd punkty 1 i 2 są punktami podwójnymi rozdzielonymi spójnikiem „lub”.

W związku z punktem 1 należy jeszcze dodać, że w przypadku, gdy potencjalnym biopaliwem jest odpadowa materia organiczna, nie wykonujemy bilansu energii i dwutlenku węgla w związku z jej powstawaniem. Jeśli odpad nie mógł być uniknięty na mocy hierarchii gospodarowania odpadami zawartej w ustawie o odpadach (Ustawa z dnia 15 grudnia 2012 roku o odpadach), to i tak istnieje obowiązek jego przetwarzania jako aktywnego biologicznego odpadu biodegradowalnego na mocy tejże samej ustawy.

W każdym z tych trzech etapów może następować produkcja/zużywanie energii oraz emisja/wiązanie dwutlenku węgla (z uwzględnieniem wyjątku w punkcie 1). Przy każdym z tych

etapów należy jeszcze wyszczególnić operacje jednostkowe niezbędne do jego realizacji. Szczegółowy opis tych etapów przedstawia tabela 1. W kolumnach energia i dwutlenek węgla wprowadzone będą symbole (+): zużycie energii z emisją dwutlenku węgla oraz emisja dwutlenku węgla z procesu przemysłowego, (-): uzyskiwanie energii oraz zużywanie dwutlenku węgla w procesie oraz 0: proces neutralny (brak emisji lub bilansowania) z punktu widzenia zużycia energii i emisji dwutlenku węgla. Liczba tych symboli jest subiektywnym szacunkowym określeniem wielkości tego zużycia emisji.

Tabela 1. Bilans energii i dwutlenku węgla dla przetwarzania biopaliw

	Energia	Dwutlenek węgla*
1. Wzrost surowca roślinnego (plantacja roślin wyłącznie do celów energetycznych)		
a) przygotowanie gleby oraz wysiew/sadzenie roślin	++	++
b) wegetacja roślin	0	---
c) operacje agrotechniczne w czasie wegetacji roślin	++	++
d) zbieranie biomasy	+	+
1a. Powstawanie odpadów biodegradowalnych/palnych w wyniku:		
a) procesu przemysłowego (biodegradowalne odpady przemysłowe),	0	0
b) działalności rolniczej (siano słoma itp.)	0	--
c) bytowania człowieka (organiczna frakcja odpadów komunalnych)	0	0
2. Przetwarzanie surowca na biopaliwo		
a) transport		
- samochodowy	++	+++
- kolejowy	++	++ lub 0 **
- rzeczny	++	+
b) rozdrabnianie mechaniczne surowca roślinnego i/lub wytwarzanie pelet (do bezpośredniego spalania)	+	+
c) suszenie biomasy przed spalaniem (jeśli konieczne)	+++	++ lub 0***
2a. Produkcja biopaliwa ciekłego lub gazowego z surowca odpadowego lub roślinnego		
a) hydroliza surowca roślinnego (lignocelulozowego) w celu uzyskania organicznych biodegradowalnych związków chemicznych (monosacharydy i ich pochodne)****		
- hydroliza termiczna	+++	+++
- hydroliza chemiczna	++	++ lub 0
- hydroliza enzymatyczna	+	0
b) transport wewnętrzny surowców w zakładzie (pompowanie,	+	+

taśmociągi itp.)		
c) przygotowanie wsadu do fermentacji i biosynteza (utrzymanie stałej temperatury w bioreaktorze, energia na mieszanie wsadu)***		
- fermentacja metanowa	+	++
- fermentacja alkoholowa (etanol)	+	+
- fermentacja ABE (n-butanol)	+	+
- fermentacja wodorowa (wodór)	+	+
d) Wydzielanie i oczyszczanie produktu fermentacji (dla biopaliw ciekłych rektyfikacja, która jest procesem ciepłno-dyfuzyjnym, dla biogazu osuszanie i usuwanie siarkowodoru)		
- fermentacja metanowa (biogaz)	+	+ lub 0****
- fermentacja alkoholowa (etanol)	++	+ lub 0****
- fermentacja ABE (n-butanol)	++	+ lub 0****
- fermentacja wodorowa (wodór)	++	+ lub 0****
4. Spalanie potencjalnego biopaliwa		
- spalanie biomasy roślinnej czy odpadowej	---	+++
- spalanie biopaliwa ciekłego lub gazowego	---	+++
- spalanie biowodoru	---	0

* zerowy bilans dwutlenku węgla można przyjąć wtedy, gdy pojazdy czy urządzenia z silnikami spalinowymi wysokoprężnymi zasilane są paliwem typu biodiesel

** elektryczny transport kolejowy może być w skrajnym przypadku zasilany wyłącznie energią odnawialną lub energią nuklearną (brak emisji dwutlenku węgla); udział poszczególnych rodzajów energii liczy się globalnie dla całego kraju

*** o ile stosujemy inne odnawialne źródło energii lub energię nuklearną

**** każdy proces fermentacyjny związany jest z emisją dwutlenku węgla jako cechy metabolizmu mikroorganizmów

Przeanalizujmy zatem etapy „życia” potencjalnego biopaliwa jako odnawialnego źródła energii. Jeżeli surowiec, który ma się stać biopaliwem jest biomasą roślinną, jej wytwarzanie wiąże się przede wszystkim z ujemną emisją dwutlenku węgla. Na drodze fotosyntezy rośliny będące organizmami fotoautotroficznymi (dotyczy to także glonów hodowanych w tych samym celu) wiążą dwutlenek węgla w cyklu Calvina wykorzystując go jako źródło węgla na budowę własnej masy komórkowej. Organizmy fotoautotroficzne w czasie wegetacji są jednocześnie samowystarczalne pod względem energetycznym czerpiąc energię kwantów promieniowania słonecznego w fazie fotosyntezy zależnej od światła z udziałem barwnika chlorofilu (Kączkowski, 1997). Z technologicznego punktu widzenia w przypadku, gdy rośliny lub glony rosną w celowych hodowlach z przeznaczeniem na biopaliwo trzeba w bilansie energii uwzględnić energię wykorzystywaną na zabiegi agrotechniczne. Ta energia praktycznie zawsze pochodzi ze źródeł nieodnawialnych (olej napędowy). Jedynie zastosowanie paliwa typu biodiesel może polepszyć ten bilans dwutlenku węgla. Jeżeli biomasa ta jest biomasą odpadową, np. słomą czy sianem, to w

bilansie zużycie energii można określić jako zerowe, gdyż i tak ten surowiec by powstał, a cel hodowli roślin był inny niż wytwarzanie surowca dla wytwarzania biopaliw (np. produkcja żywności czy paszy dla zwierząt). Bilans dwutlenku węgla jest tu oczywiście ujemny (fotosynteza).

Podobnie wyglądałby bilans, jeśli mielibyśmy do czynienia z innymi odpadami biodegradowalnymi czy palnymi o roślinnym lub zwierzęcym pochodzeniu. Ponieważ i tak one by powstały, stąd energia na ich wytworzenie jest w tym bilansie zerowa. To samo odnosi się do bilansu dwutlenku węgla. Przetwarzanie surowca (punkt 2) to różne procesy i operacje jednostkowe. Łączy je wspólna cecha, zawsze trzeba włożyć energię w te procesy. Wkład energii łączy się z emisją dwutlenku węgla, jeżeli ta energia pochodzi ze źródeł nieodnawialnych (patrz przypis pod tabelą 1). Przy wyborze metod przetwarzania surowca trzeba być ostrożnym, gdyż zbyt złożony i wieloetapowy sposób jego przetwarzania może negatywnie wpłynąć na całkowity bilans energii i dwutlenku węgla i praktycznie zaprzepaścić odnawialność źródła energii, jakim miało by być przetwarzane biopaliwo.

Dalsze etapy życia biopaliwa dotyczą tylko biopaliw ciekłych i gazowych (punkt 2a). Stała biomasa roślinna po etapie przetwarzania jest praktycznie gotowa do spalania. Jeśli zaś ta biomasa roślinna ma posłużyć jako wsad to fermentacji, to oczywiście etapy jej przetwarzania są inne (zwykle pochłaniające więcej energii), jak np. hydroliza materiałów lignocelulozowych do monosacharydów. Etap ten może być pominięty jeśli dysponujemy ciekłymi odpadami biodegradowalnymi, jak na przykład serwatka. Biosynteza biopaliw ciekłych i gazowych wiąże się oczywiście z wydatkiem energetycznym na ogrzewanie bioreaktora i jego mieszanie oraz emisją dwutlenku węgla jako produktu fermentacji, którego nigdy nie można uniknąć. Zwrócić należy uwagę, że w przypadku produkcji biogazu dwutlenek węgla stanowi często powyżej 20% objętościowych gazów odlotowych. Nie ma z niego energii, a emisja dwutlenku węgla pozostaje. W fermentacjach alkoholowych (etanol, butanol) ten udział dwutlenku węgla w gazach odlotowych jest mniejszy. Wydatki energetyczne na utrzymanie bioreaktora w pracy są jednak stosunkowo niewielkie w porównaniu z przygotowaniem surowca i późniejszym odzyskiem produktu. W przypadku biopaliw ciekłych energochłonny jest proces rektyfikacji.

Spalenie potencjalnego odnawialnego źródła energii (biopaliwa) to oczywiście emisja dwutlenku węgla. Wyjątek stanowi biowodór, ale jego wytwarzanie nie wyszło jeszcze poza skalę półtechniczną, ze względu na złożony metabolizm mikroorganizmów go wytwarzających oraz ich wrażliwość na produkt swojego metabolizmu, czyli wodór. Są to ograniczenia na poziomie biologicznym i biochemicznym. Abstrahuje się tutaj od problemu przechowywania wodoru jako paliwa. Oczywiście emisja dwutlenku węgla jest przewidywalna podczas spalania danego biopaliwa, ale zakładamy, że ten dwutlenek węgla zostanie z powrotem związany przez rośliny, gdy

one są surowcem na biopaliwo (bilans dwutlenku węgla zerowy lub ujemny). W przypadku odpadów bilans dwutlenku węgla zawsze będzie dodatni, ale tutaj natomiast pamiętamy, że węgiel w nim zawarty pochodzi z przetwarzania surowców współczesnych, a nie kopalnych. Oczywiście biopaliwo spalamy po to żeby wytworzyć energię. Ten bilans zawsze musi być dodatni. Inaczej wszystkie działania opisane powyżej nie miałyby sensu.

Podsumowanie

Odnawialność danego źródła energii, tutaj biopaliwa, nie jest w pełni oczywista bez przeprowadzenia szczegółowego bilansu energii, z uwzględnieniem źródła jej pochodzenia, procesu wytwarzania tego biopaliwa oraz efektu energetycznego wynikającego ze spalania tego biopaliwa. Niezbędny jest również bilans dwutlenku węgla. Warunki, jakie muszą być spełnione, to zdecydowanie dodatni bilans energetyczny oraz zerowy lub ujemny bilans dwutlenku węgla przy stosowaniu roślin hodowanych w celach bioenergetycznych oraz dodatni (z zaznaczeniem źródła pochodzenia energii, „współczesny” węgiel, nie kopalny), jeśli byłyby przetwarzane odpady.

Literatura

Ustawa z dnia 15 grudnia 2012 roku o odpadach

Kączkowski J. „Biochemia roślin” tom 1 Wydawnictwo PWN, Warszawa

Mauna Loa Laboratory

Sima Pro 5 Manual, Pre Consultants