

A comprehensive assessment of the emissions in conjunction with fuelling internal combustion engines with biogas

The paper presents information on the comprehensive assessment of environmental risk by the operation of motor vehicles with engines powered by biogas fuel. The methods of ecological analysis in the stages of production and distribution of energy carriers (Well-to-Tank, abbreviated WTT) and vehicles (tank-to-Wheel, abbreviated TTW) were presented. The results of equivalent carbon dioxide emissions and emissions of harmful substances in the WTT stage for biogas fuel and other biofuels were analyzed.

Key words: WTT analysis, pollutant emission, biogas

Kompleksowa ocena emisji zanieczyszczeń w związku z zasilaniem silników spalinowych paliwem biogazowym

W pracy przedstawiono informacje na temat kompleksowej oceny zagrożenia środowiska przez eksploatację pojazdów samochodowych z silnikami zasilanymi paliwem biogazowym oraz metody analizy ekologicznej na etapach wytwarzania i dystrybucji nośników energii (Well-to-Tank, w skrócie WTT), a także użytkowania pojazdów (Tank-to-Wheel, w skrócie TTW). Przeanalizowano wyniki badań emisji równoważnej dwutlenku węgla i emisji substancji szkodliwych dla zdrowia w fazie WTT dla paliwa biogazowego oraz innych biopaliw.

Słowa kluczowe: analiza WTT, emisja zanieczyszczeń, biogaz

1. Wstęp

Przedmiotem rozważań jest kompleksowa ocena oddziaływania na środowisko silników spalinowych na przykładzie oceny emisji zanieczyszczeń w związku z zasilaniem silników spalinowych paliwem biogazowym.

Kompleksowa ocena oddziaływania na ludzi i ich środowisko emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych i pojazdów samochodowych jest węższym zagadnieniem ogólnego problemu oddziaływania motoryzacji i silników spalinowych na środowisko naturalne i cywilizacyjne. Skutki projektowania, wytwarzania i eksploatacji pojazdów samochodowych i silników spalinowych oraz ich infrastruktury i materiałów eksploatacyjnych, a także zagospodarowania zużytych obiektów związanych z motoryzacją, są dla środowiska bardzo rozległe [8, 9]. Ujednolicenie sposobów oceny szkodliwości samej emisji zanieczyszczeń jest zadaniem bardzo trudnym i niejednoznacznym, tym bardziej uogólnienie tych rozważań na inne ekologiczne skutki motoryzacji wydaje się trudne, a wyniki, możliwe do osiągnięcia, muszą mieć zdecydowanie względny charakter. W związku z tym postanowiono ograniczyć się w niniejszej publikacji do rozważań związanych z emisją zanieczyszczeń.

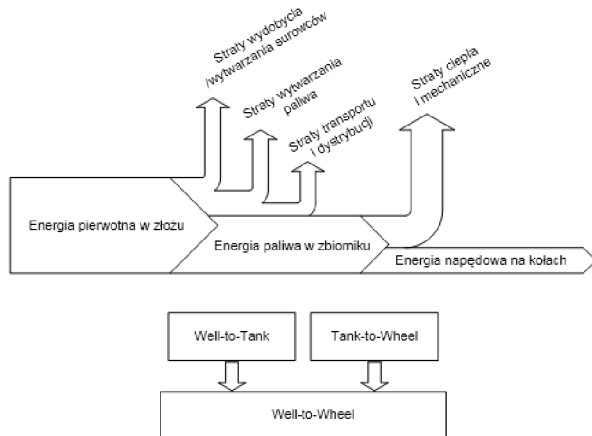
W kompleksowej ocenie emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych i pojazdów samochodowych istnieje wiele problemów, które w ogólności nie mają jednoznacznego rozwiązania. Problemy te dotyczą zarówno zakresu działalności cywilizacyjnej determinującej eksploatację pojazdów samochodowych i silników spalinowych, jak i oceny szkodliwości dla środowiska różnych substancji emitowanych w związku z wytwarzaniem i eksploatacją silników i pojazdów

oraz ich infrastruktury i materiałów eksploatacyjnych [8, 9]. Trzeba również zwrócić uwagę na fakt, że w wypadku motoryzacji nie tylko silnik spalinowy jest źródłem emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla ludzi i ich środowiska. Szczególnie szkodliwe dla zdrowia ludzi zanieczyszczenie, jakim są cząstki stałe, pochodzi również z innych źródeł niż spaliny silnika, głównie z węzłów trybologicznych pojazdu (m.in. układ hamulcowy, sprzęgło), a także z ogumienia kół jezdnych współpracujących z nawierzchnią oraz ze wzniecania z jezdni pyłów przez poruszający się samochód [7]. Także związki organiczne mogą pochodzić z układu paliwowego oraz innych układów samochodu. Zanieczyszczenie środowiska tymi substancjami może być szczególnie groźne w wypadku wycieku materiałów eksploatacyjnych, m.in. w związku ze zdarzeniami awaryjnymi.

2. Problemy kompleksowej oceny emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych i pojazdów samochodowych

Pierwszy problem kompleksowej oceny emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych i pojazdów samochodowych jest związany z określeniem zakresu działalności cywilizacyjnej, determinującej eksploatację silników i pojazdów. W wypadku analizy ze względu na paliwa zazwyczaj rozpatruje się etap od pozyskiwania surowców na nośniki energii, poprzez wytwarzanie paliw, aż po ich dystrybucję. Ten etap nosi w języku angielskim nazwę: *Well-to-Tank* (w skrócie WtT), co oznacza od źródła (nośnika energii) do zbiornika (paliwa). Drugi etap dotyczy użytkowania pojazdu: *Tank-to-Wheel* (w skrócie TtW), czyli od zbiornika (paliwa) do koła (pojazdu) [1, 3, 11, 15, 16]. Ten rodzaj analizy

symbolizuje schemat z zaznaczonymi stratami energii w poszczególnych etapach (rys. 1).



Rys. 1. Schemat etapów analizy Well-to-Wheel

Jeśli analizy oddziaływania na środowisko motoryzacji są dokonywane ze względu na samochody, to rozpatruje się następujące etapy istnienia pojazdu [8, 9]:

- projektowanie: pojazdów, środków eksploatacyjnych, infrastruktury produkcyjnej i eksploatacyjnej,
- wytwarzanie: pojazdów, środków eksploatacyjnych, infrastruktury produkcyjnej i eksploatacyjnej,
- eksploatacja pojazdów i ich infrastruktury (wraz z zagospodarowaniem zużytych obiektów).

Innym problemem jest ocena szkodliwości dla środowiska różnych substancji emitowanych w związku z wytwarzaniem i eksploatacją pojazdów oraz ich infrastruktury i materiałów eksploatacyjnych.

Pośród substancji, stanowiących szczególnie duże zagrożenie lokalne, wyróżnia się przede wszystkim [8, 9]:

- tlenek węgla, związki organiczne,
- tlenki azotu,
- pyły z wyszczególnieniem poszczególnych frakcji wymiarowych: PM10, PM2.5 i PM1.

Zagrożenia dotyczące środowiska w skali regionów są powodowane oddziaływaniami złożonymi, przede wszystkim smogiem fotochemicznym. Substancjami sprzyjającymi wystąpieniu smogu fotochemicznego są prekursorzy ozonu, do których zaliczamy głównie: tlenki azotu i lotne związki organiczne. Aktywność jednostkowa tworzenia ozonu SR to stosunek masy tworzonego ozonu m_{OFP} (*Ozone Forming Potential*) i masy niemetalowych węglowodorów m_{NMHC} . Emisja potencjalnego ozonu wynosi zatem [4, 5]

$$m_{OFP} = SR \cdot m_{NMHC} \quad (1)$$

Aktywność jednostkowa tworzenia ozonu wynosi dla wybranych prekursorów ozonu [4, 5]:

- niemetalowe węglowodory: 1,
- tlenki azotu: 1,22,
- metan: 0,11,
- tlenek węgla: 0,014.

Rola motoryzacji w zagrożeniu środowiska smogiem londyńskim jest obecnie niewielka, bowiem emisja całkowita w obszarach wielkich aglomeracji miejskich tlenku węgla, cząstek stałych i – szczególnie – tlenków siarki jest znacznie mniejsza niż ze źródeł przemysłowych i rozproszonych źródeł komunalnych.

Zagrożenia środowiska transgraniczne, do których przyczynia się motoryzacja, to przede wszystkim kwaśne opady [10]. Substancją, emitowaną przez silniki spalinowe, która przyczynia się do powstawania kwaśnych opadów, są tlenki azotu. Tlenki siarki, będące również powodem kwaśnych opadów, już od wielu lat nie są praktycznie emitowane przez silniki spalinowe, współczesne paliwa charakteryzują się bowiem śladową zawartością siarki (na poziomie nawet kilku ppm).

Zagrożenia globalne środowiska, powodowane przez motoryzację, to głównie: intensyfikacja zjawiska cieplarnianego w atmosferze oraz zmniejszanie się stężenia ozonu w stratosferze, szczególnie w obszarach polarnych (głównie nad Antarktydą) [10]. Do intensyfikacji zjawiska cieplarnianego przyczyniają się liczne gazy wieloatomowe, jednak ze względu na skalę emisji motoryzacja jest odpowiedzialna głównie za emisję dwutlenku węgla. Do zmniejszenia się stężenia ozonu w stratosferze przyczyniają się głównie freony, których emisja w związku z motoryzacją jest znikoma i występuje tylko w związku z awaryjnym zniszczeniem układu klimatyzacji, wyposażonego we freony stosowane dawniej, np. R12 (CF_2Cl_2) [10].

Próbą kompleksowej oceny emisji gazów cieplarnianych jest – zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r., promującą stosowanie energii ze źródeł odnawialnych – pojęcie emisji równoważnej dwutlenku węgla:

$$m_{CO_2 eq} = \sum m_x \cdot w_x \quad (2)$$

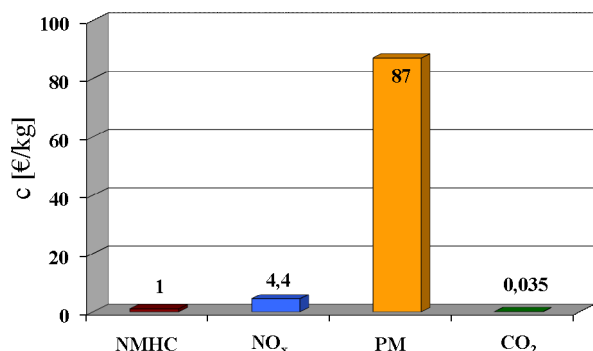
gdzie: m_x – emisja substancji x, w_x – potencjał substancji x ze względu na zjawisko cieplarniane.

Potencjał ze względu na zjawisko cieplarniane wynosi dla wybranych substancji:

- dwutlenku węgla: 1,
- metanu: 23,
- podtlenku azotu: 296.

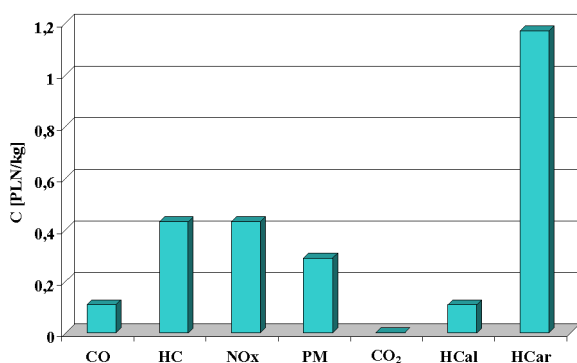
Warto zwrócić uwagę, że wśród substancji niezwiązanych z motoryzacją istnieją również gazy o bardzo dużym potencjale tworzenia zjawiska cieplarnianego – przykładowo równoważnik dwutlenku węgla wynosi dla: czterofluorku węgla (CF_4) – 5700, a dla sześćfluorku siarki (SF_6) – 22200.

Nie ma jednoznacznych kryteriów oceny szkodliwości dla środowiska substancji emitowanych w związku z motoryzacją. Przykładem takiej oceny są koszty emisji zanieczyszczeń w transporcie drogowym, ustanowione w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/33/WE w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów – rysunek 2.



Rys. 2. Koszty emisji zanieczyszczeń w transporcie drogowym zgodnie z Dyrektywą 2009/33/WE

Innym przykładem oceny szkodliwości dla środowiska substancji emitowanych w związku z działalnością cywilizacyjną są opłaty za gospodarze korzystanie ze środowiska zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2005 r. w sprawie wzorów wykazów zawierających informacje i dane o zakresie korzystania ze środowiska oraz o wysokości należnych opłat i sposobu przedstawiania tych informacji i danych – rysunek 3.



Rys. 3. Opłaty za gospodarze korzystanie ze środowiska zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska

Już pobieżna analiza przedstawionych dwóch systemów oceny szkodliwości dla środowiska poszczególnych substancji wykazuje zupełny brak spójności możliwych do zastosowania sposobów kompleksowej oceny ekologicznej szkodliwości motoryzacji.

Często, poddając analizie zagrożenia środowiska spowodowane eksploatacją pojazdów samochodowych, oprócz całkowitej emisji i zużycia energii, uwzględnia się także inne dodatkowe wskaźniki porównawcze. Niektóre z nich służą do oceny wpływu pojazdu na środowisko ze względu na różne kryteria oddziaływania. Przykładem jest tzw. „ekowskaźnik” (ang. *ecoindicator*), wyznaczany w metodzie Eco-indicator 99 [13, 14]. Metoda ta łączy ocenę oddziaływania na środowisko w trzech obszarach wpływu, jakimi są:

- zdrowie człowieka,
- jakość ekosystemu,
- surowce.

Szkodliwość dla zdrowia człowieka jest wyrażona w tej metodzie indeksem DALY (ang. *Disability-Adjusted Life Year* – rok życia skorygowany o niepełnosprawność), który jest jednostką miary oddziaływania choroby na człowieka zarówno pod względem czasu życia utraconego z powodu przedwczesnego zgonu (umieralność), jak i czasu przeżytego w stanie niepełnosprawności (chorobowość). Indeks ten wykorzystuje się powszechnie w ekonomii zdrowia do określenia stanu zdrowia danej populacji (stosowany jest m.in. przez Światową Organizację Zdrowia – WHO). W metodzie Eco-indicator 99 stworzono modele uwzględniające schorzenia układu oddechowego, nowotwory, skutki zmian klimatu, uszkodzenia warstwy ozonowej (powodujące m.in. raka skóry i zaćmę) oraz szkodliwość promieniowania jonizującego. Ocenia się przy tym m.in. ekspozycję na zanieczyszczenia oraz ich imisję.

Szkodliwość dla jakości ekosystemu określa się jako udział gatunków zanikających na danym obszarze w wyniku oddziaływania pojazdów (lub procesu produkcji paliwa) na środowisko. Bierze się pod uwagę m.in. zakwaszenie i eutrofizację wody i gleby, zmianę sposobu użytkowania gruntów (np. deforestacja) oraz tzw. ekotoksyczność, zdefiniowaną tu jako udział gatunków występujących na danym obszarze w określonym przedziale czasu, żyjących pod wpływem stresu toksycznego PAF (ang. *Potentially Affected Fraction*) [14].

Trzeci obszar wpływu – zużycie surowców jest oceniane przez wzgląd na jakość pozostałych do wydobycia złóż surowców, w tym paliw ropopochodnych. Określa się je jako nadwyżkę energii, jaką należy włożyć w eksploatację 1 Mg surowca (jednostka MJ/Mg). W niektórych przypadkach rozpatruje się także skalę wydobycia innych pierwiastków i związków.

Końcowa postać ekowskaźnika to wartość, która jest sumą wartości uzyskanych dla trzech obszarów wpływu z uwzględnieniem odpowiednich wag [13, 14].

Inne podejście reprezentuje szwajcarska metoda ekologicznego deficytu (ang. *Swiss Ecological Scarcity Method*) [12], nazywana również metodą Ecoscarcity lub UBP'06 (z niem. *Umweltbelastungspunkte*). Podobnie, jak w przypadku metody Eco-indicator 99, uwzględnia ona kilka obszarów wpływu badanego produktu czy procesu (np. eksploatacji pojazdu samochodowego) na środowisko. Brana jest pod uwagę głównie emisja zanieczyszczeń (czynniki takie jak: zakwaszenie i eutrofizacja, zmniejszanie warstwy ozonowej itd.) oraz wykorzystanie surowców naturalnych. Unikato-wość metody polega na wyznaczeniu różnicy między aktualnym obciążeniem środowiska na danym obszarze – tzw. aktualnym strumieniem oddziaływania (ang. *current flow*) i możliwym maksymalnym obciążeniem wynikającym z istniejących ograniczeń legislacyjnych lub celów politycznych – tzw. krytycznym strumieniem oddziaływania (ang. *critical flow*). Pojęcia strumieni oddziaływania nie są sformalizowane, należy zatem je traktować jako wielkości fizyczne, charakteryzujące oddziaływanie cywilizacji na środowisko, takie jak np. imisja zanieczyszczeń, emisja drogowa czy emisja jednostkowa zanieczyszczeń wprowadzanych przez

silniki spalinowe. Zgodnie ze szwajcarską metodą wynikiem oceny zagrożenia środowiska jest wskaźnik tzw. eco-factor, którego jednostkę zdefiniowano jako tzw. eko-punkt (ang. eco-point), w skrócie EP, dzielony przez jednostkę wielkości charakteryzującej rozpatrywane oddziaływanie na środowisko (w wypadku emisji gazów cieplarnianych jest to EP/g). Wskaźnik eco-factor oblicza się według wzoru [12]:

$$\text{eco-factor} = K \cdot \frac{1 \text{ EP}}{F_n} \left(\frac{F}{F_k} \right)^2 \cdot c \quad (2)$$

gdzie: K – współczynnik względnej szkodliwości oddziaływania, F – aktualny strumień oddziaływania, F_n – znormalizowany strumień oddziaływania, F_k – krytyczny strumień oddziaływania, c – wartość stała.

Wskaźnik eco-factor można zatem zdefiniować jako miarę potencjalnego zagrożenia środowiska jakie niesie ze sobą dane oddziaływanie. Jego wartość jest tym większa, im bardziej aktualny poziom emisji czy konsumpcji surowców naturalnych przekracza założone limity. Występujący we wzorze współczynnik względnej szkodliwości oddziaływania koryguje wynik rozróżniając substancje o bardziej lub mniej negatywnym wpływie na środowisko (jak w wypadku gazów cieplarnianych). Wartość aktualnego strumienia oddziaływania pochodzi zwykle z najnowszych dostępnych danych statystycznych dla danego obszaru.

Głównymi zaletami szwajcarskiej metody ekologicznego deficytu są: prosty sposób obliczeń oraz bezpośrednie odniesienie do politycznych celów i ograniczeń prawnych obowiązujących w danym regionie bądź kraju. Odróżnia ją to od metod kładących nacisk na bezwzględną ocenę szkód w środowisku (jak np. Eco-indicator 99). Jednak z drugiej strony wskaźniki eco-factor mogą być wyznaczane jedynie dla substancji, dla których istnieją wspomniane limity prawne lub cele polityczne.

Przedstawione w niniejszym rozdziale rozważania na temat kompleksowej oceny szkodliwości dla środowiska działalności cywilizacyjnej, związanej z motoryzacją, potwierdzają fakt, że uzyskanie obiektywnych wyników jest niezmiernie trudne, a uogólnienie wniosków może być źródłem wielu nadinterpretacji. Często niestety z takimi skutkami się spotykamy, szczególnie w polityce i w prasie popularnej. Mimo przedstawionych ograniczeń poszukiwanie sposobów kompleksowej oceny szkodliwości motoryzacji dla środowiska jest konieczne. Najbardziej obiektywne wyniki można osiągnąć dla zadań o ograniczonym zakresie. Przykłady takich rozważań są przedstawione w następnym rozdziale.

3. Ocena emisji gazów cieplarnianych w cyklu wytwarzania, transportu i dystrybucji paliwa biogazowego

Znane są korzyści z zastosowania paliw gazowych do zasilania silników spalinowych, takie jak zmniejszenie emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia, przede wszystkim cząstek stałych i tlenków azotu, oraz zmniejszenie emisji hałasu [6]. Dodatkowo paliwo biogazowe jest

samoistnym paliwem odnawialnym, co powoduje, że emisja dwutlenku węgla kopalnego w fazie użytkowania silników jest praktycznie zerowa. Jednak często od ekologicznej oceny skutków oczekuje się również uwzględnienia efektów związanych z pozyskiwaniem paliwa, co umownie określa się jako analizę w całym umownym cyklu istnienia pojazdu samochodowego.

W pracy przedstawiono wybrane wyniki oceny szkodliwości dla środowiska etapu wytwarzania paliwa biogazowego, otrzymywanego z obornika – oznaczenie BF-AS i z organicznych odpadów komunalnych – BF-MS. Dodatkowo w celach porównawczych dołączono analogiczne wyniki dla dwóch innych biopaliw – estrów oleju rzepakowego – oznaczenie RME i bioetanolu pozyskiwanego z kukurydzy – BEtOH. Analiza dotyczy etapu WtT – od pozyskiwania surowców na nośniki energii, poprzez wytwarzanie paliw, aż po ich dystrybucję.

Szczegółowe zasady obliczania całkowitej emisji gazów cieplarnianych na etapie WtT dla różnego rodzaju biopaliw określa Dyrektywa 2009/28/WE. Zgodnie z dyrektywą całkowity energetyczny wskaźnik emisji równoważnej dwutlenku węgla (inaczej: gazów cieplarnianych) wyznacza się na podstawie wzoru:

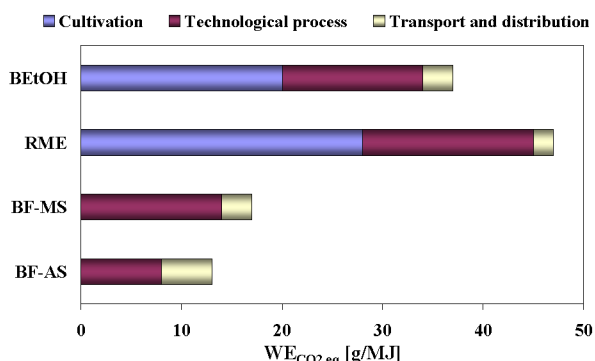
$$\text{WE} = \text{WE}_{ec} + \text{WE}_l + \text{WE}_p + \text{WE}_{td} + \text{WE}_u - \text{WE}_{sca} - \text{WE}_{ccs} - \text{WE}_{ccr} - \text{WE}_{ee} \quad (3)$$

gdzie: WE_{ec} – energetyczny wskaźnik emisji spowodowanej wydobywaniem lub uprawą surowców, WE_l – energetyczny wskaźnik emisji w ujęciu rocznym spowodowanej zmianami ilości pierwiastka węgla w związku ze zmianą sposobu użytkowania gruntów, WE_p – energetyczny wskaźnik emisji spowodowanej procesami technologicznymi, WE_{td} – energetyczny wskaźnik emisji spowodowanej transportem i dystrybucją, WE_u – energetyczny wskaźnik emisji spowodowanej stosowanym paliwem, WE_{sca} – ograniczenie energetycznego wskaźnika emisji spowodowane akumulacją pierwiastka węgla w glebie dzięki lepszej gospodarce rolnej, WE_{ccs} – ograniczenie energetycznego wskaźnika emisji spowodowane wychwytywaniem dwutlenku węgla i jego składowaniu w głębokich strukturach geologicznych, WE_{ccr} – ograniczenie energetycznego wskaźnika emisji spowodowane wychwytywaniem dwutlenku węgla i jego zastępowaniem, WE_{ee} – ograniczenie energetycznego wskaźnika emisji dzięki zwiększonej produkcji energii elektrycznej w wyniku kogeneracji.

Definicje wielkości uwzględnionych w powyższym wzorze wyszczególniono w dyrektywie, podano tam również ich wartości albo sposób obliczania w zależności od rodzaju biopaliwa, metody jego otrzymywania i surowca wykorzystywanego do produkcji.

Emisję gazów cieplarnianych można charakteryzować przy użyciu energetycznego wskaźnika emisji równoważnej dwutlenku węgla, czyli wartości masy równoważnej dwutlenku węgla wyemitowanego podczas przygotowania i spalania paliwa zawierającego 1 MJ energii. Przykładowe wyniki obliczeń energetycznego wskaźnika emisji

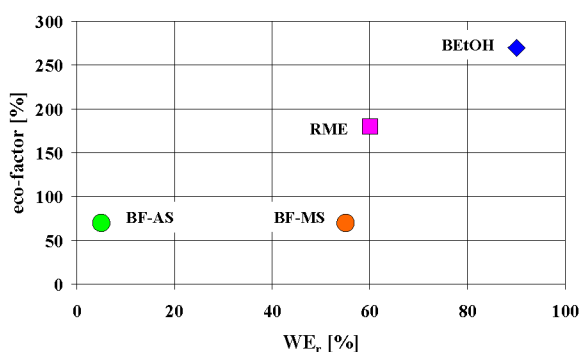
równoważnej dwutlenku węgla (inaczej: energetycznego wskaźnika emisji gazów cieplarnianych) przedstawiono dla rozpatrywanych biopaliw na rysunku 4 [3].



Rys. 4. Wskaźnik energetyczny emisji gazów cieplarnianych wyznaczony dla uprawy roślin, procesów technologicznych, transportu i dystrybucji wybranych biopaliw w Unii Europejskiej na podstawie dyrektywy 2009/28/WE

Jak widać, energetyczny wskaźnik emisji gazów cieplarnianych dla badanych biopaliw w fazach procesu technologicznego oraz transportu i dystrybucji ma podobne wartości. Istotną różnicą jest natomiast fakt, że paliwa powstające z odpadów i produktów ubocznych nie obciążają środowiska emisją gazów cieplarnianych związaną z uprawą surowców. W konsekwencji emisja gazów cieplarnianych jest spośród rozpatrywanych paliw najmniejsza dla biogazu, który jest otrzymywany nie z surowców rolniczych, tylko z miejskich i rolniczych odpadów.

Na rysunku 5 przedstawiono charakterystyki dla rozpatrywanych biopaliw we współrzędnych: względny energetyczny wskaźnik emisji gazów cieplarnianych – względny eco-factor, odniesione do wartości dla benzyny [17].



Rys. 5. Zestawienie względnych energetycznych wskaźników emisji gazów cieplarnianych oraz eco-factorów, odniesionych do wartości dla benzyny

Punkty, odpowiadające poszczególnym paliwom, stanowią informację o kompleksowej szkodliwości emisji zanieczyszczeń oraz o emisji gazów cieplarnianych na etapie WtT.

Dla oceny ekologicznej paliw w etapie ich wytwarzania (WtT) decydująca jest przede wszystkim technologia. Przykładem tego jest ocena bioetanolu pozyskiwanego z kukurydzy z zastosowaniem fermentacji. Zastosowanie innych surowców (np. w wypadku bioetanolu drugiej generacji) i innych technologii może spowodować znaczące zmniejszenie obciążenia środowiska.

4. Podsumowanie

Spośród biopaliw, stosowanych obecnie do zasilania silników spalinowych, paliwo biogazowe wyróżnia się zerową emisją zanieczyszczeń, przypadającą na fazę uprawy biomasy. Dotyczy to oczywiście biogazu, będącego biopaliwem drugiej generacji, a więc wytwarzanego z surowców odpadowych i produktów ubocznych. Dzięki temu oprócz bardzo dobrych właściwości ekologicznych paliwa biogazowego ze względu na emisję zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia w eksploatacji pojazdu uzyskuje się również małą emisję gazów cieplarnianych w fazie wytwarzania, transportu i dystrybucji paliwa.

Ogólne wnioski na temat kompleksowej oceny obciążenia środowiska w związku z motoryzacją można sformułować w następujący sposób:

1. Dla oceny emisji zanieczyszczeń na etapie wytwarzania paliw najważniejsza jest technologia, w szczególności jest istotne wykorzystanie surowców odpadowych i produktów ubocznych.
2. W czasie użytkowania pojazdów istotne jest, aby obciążenie środowiska było oceniane na podstawie właściwości pojazdów i ich silników spalinowych w stanach odpowiadających rzeczywistym warunkom pracy. Wykorzystywanie do celów oceny jedynie wyników badań homologacyjnych jest niewystarczające, a w wielu wypadkach może prowadzić do nieuprawnionych wniosków.
3. Problemem jest dobór kompleksowych wskaźników obciążenia środowiska przez pojazdy, a więc dobór kryteriów oceny.
4. Priorytetowym problemem jest emisja zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia. Zanieczyszczenia szkodliwe dla zdrowia są zagrożeniem znacznie bardziej poważnym niż np. emisja gazów cieplarnianych, nie można zatem pogodzić się z propagandowym rozpatrywaniem jedynie emisji dwutlenku węgla kopalnego.

Przedstawione rozważania dowodzą słuszności tezy, że kompleksowa ocena obciążenia środowiska przez działalność cywilizacyjną, nie tylko w zakresie motoryzacji, to więcej problemów niż wiedzy, jednak konsekwentne rozwiązywanie tych problemów jest drogą racjonalizacji oddziaływania ludzi na ich środowisko.

Literatura

- [1] Ahlvik P., Brandberg Å.: Well-to-Wheel efficiency for alternative fuels from natural gas or biomass. A report for the Swedish National Road Administration. EcoTraffic. 2001.
- [2] Barnett M. O.: Biofuels and greenhouse gas emissions: green or red? *Environmental Science & Technology*, 44, 2010. 5330–5331.
- [3] Brinkman N., Wang M., Weber T., Darlington T.: Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems — A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions. May, 2005.
- [4] Carter W.P.L.: Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 44, 881 – 899, (1994).
- [5] Carter W.P.L.: Ozone reactivity analysis of emissions from motor vehicles. Air Pollution Research Center. University of California. July 11, 1989.
- [6] Chłopek Z., Gis W., Waśkiewicz J.: Zastosowanie biogazu do zasilania silników autobusów miejskich. Rozdział w monografii „Energia niekonwencjonalne i zagospodarowanie odpadów”. Lublin 2010. 103–116.
- [7] Chłopek Z., Żegota M.: The emission of particulate matter PM10 from vehicles. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* Nr 1 (21)/2004. 3–13.
- [8] Chłopek Z.: Ekologiczne problemy eksploatacji transportu powierzchniowego. Rozdział monografii „Wybrane zagadnienia transportu samochodowego”. Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. Warszawa 2005.
- [9] Chłopek Z.: Ochrona środowiska w eksploatacji samochodów. Rozdział monografii „Edukacja ekologiczna. Podstawy działań naprawczych w środowisku”. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Nałęczów 2004.
- [10] Ekologia i ochrona środowiska. Praca zbiorowa. Red. Z. Wnuk. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego. Rzeszów 2010.
- [11] EPA Lifecycle Analysis of greenhouse gas emissions from renewable fuels. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC. 2010.
- [12] Frischknecht R. et al.: Swiss Ecological Scarcity Method: The new version 2006. <http://www.esu-services.ch/download/Frischknecht-2006-EcologicalScarcity-Paper.pdf>
- [13] <http://www.pre.nl/eco-indicator99/>.
- [14] The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. Pre Consultants B. V. Amersfoort 2001.
- [15] Unnasch, S.: Alcohol Fuels from Biomass: Well-to-Wheel Energy Balance. Proceedings of the 15th International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), San Diego, California, United States, 26–28 September 2005.
- [16] Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-to-WHEELS Report, Version 2c. EUCAR/CONCAWE/JRC. March 2007.
- [17] Zah R. et al.: Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. EMPA. St. Gallen, Switzerland. 2007.