

ANETA GŁUSZEK, JANUSZ MAGIERA*

NORMALIZACJA OBCIĄŻEŃ ŚRODOWISKA NATURALNEGO W CYKLU PRODUKCJI OLEJÓW NAPĘDOWYCH

NORMALIZATION OF ENVIRONMENTAL BURDEN IN DIESEL OIL PRODUCTION CYCLE

Streszczenie

Omówiono przebieg i wyniki procesu normalizacji obciążeń środowiska wynikających z oceny LCA. Analizie poddano 12 rafineryjnych schematów technologicznych ukierunkowanych na produkcję olejów napędowych o standardach Unii Europejskiej (zawartość siarki S równa 10 mg/kg, wartość opałowa – 43 MJ/kg). Wyniki wskaźników znormalizowanych wykazały, że najlepszym rozwiązaniem technologicznym jest kompleks instalacji, zawierający jednostki hydrokrakingu destylatów ciężkich i koksowania pozostałości próżniowej.

Słowa kluczowe: normalizacja, analiza LCA, kategorie wpływu, produkcja olejów napędowych

Abstract

This paper is focused at the optional steps in LCA – normalization which is used to compare results. LCA was applied to comparison of 12 technological schemes for production of Diesel oils of expected European fuel quality (S level 10 mg/kg, low heating value 43 MJ/kg). According to normalization results, the hydrocracking and delayed coking-based scheme proved to have the lowest environmental impact.

Keywords: normalization, LCA analysis, impact categories, Diesel oils production

* Dr inż. Aneta Głuszek, dr hab. inż. Janusz Magiera, prof. PK,
Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

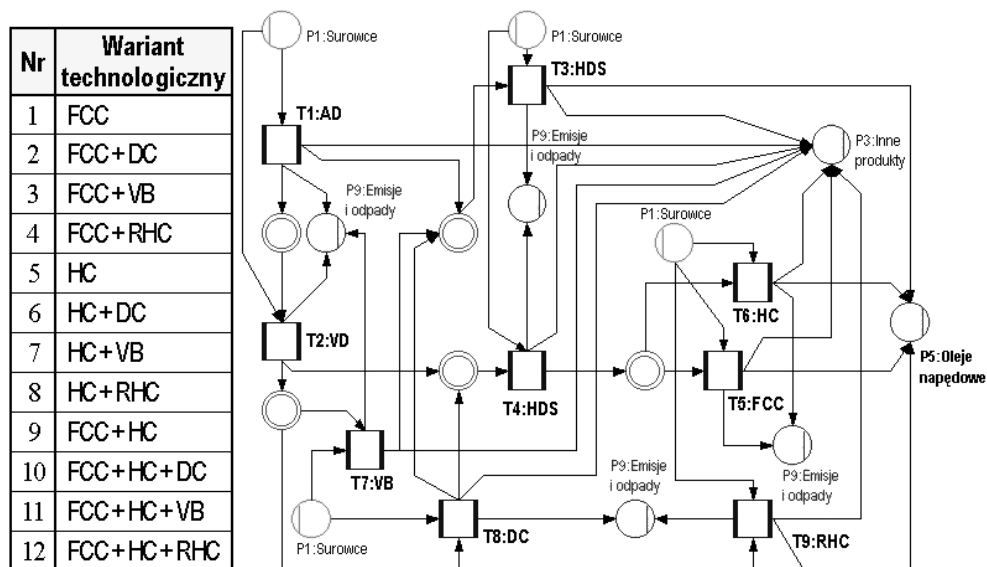
Wynikiem analizy cyklu życia LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) procesu produkcyjnego oleju napędowego jest ocena zagrożenia środowiskowego w okresie życia tego paliwa „od kołyski do bramy rafinerii” (ang. *from grave to gate*) [1]. Obliczenia uwzględniają obciążenie środowiska związane z wydobyciem i transportem surowców mineralnych na teren rafinerii. Wpływ szkodliwych emisji na środowisko określa się jako potencjalne oddziaływanie w obszarach zdefiniowanych problemów środowiskowych, czyli tzw. kategorii wpływu. Wyznacznikiem dla każdej kategorii wpływu jest inna jednostka ekwiwalentna. Na przykład, wykorzystując odpowiednie wartości współczynników charakterystyki (CF), wynik inwentaryzacji gazów cieplarnianych (GHGs) można przedstawić w jednostkach ekwiwalentu CO₂. CF dla ditlenku węgla ma wartość 1, dla metanu 21, a dla podtlenku azotu 310 [2]. Porównanie poszczególnych kategorii wpływu jest możliwe dopiero po przeliczeniu wyników na takie same jednostki miar. Procedura mająca na celu ujednoczenie wskaźników kategorii wpływu nosi nazwę normalizacji. W procesie tym uzyskane wyniki wskaźników kategorii odnoszone są do odpowiednich wielkości wzorcowych, określonych dla pewnych obszarów odniesienia, np. regionu, kraju czy świata. Cel i zakres analizy LCA wpływają na wybór wielkości wzorcowych zwanych często referencyjnymi wskaźnikami normalizacji [3]. Subiektywność procesu normalizacji może znacząco wpływać na wynik oceny LCA, dlatego wg normy ISO 14042 [4] jest to proces nieobowiązkowy. W końcowym etapie wartości wskaźników kategorii wpływu, podzielone przez referencyjne wskaźniki normalizacji, grupowane są w jedną wartość wskaźnika znormalizowanego.

2. Ocena efektu ekologicznego produkcji olejów napędowych

Ekologiczna ocena wielkości obciążenia środowiska naturalnego przez 12 różnych wariantów technologicznych produkcji olejów napędowych została sporządzona w odniesieniu do 7 wpływów środowiskowych liczonych na 1 kg wyprodukowanego oleju napędowego: zużycie energii (kg eq. Sb), zakwaszenie (kg eq. SO₂), globalne ocieplenie (kg eq. CO₂), fotochemiczne utlenienie (kg eq. C₂H₄), smog letni (kg eq. TOPP), eutrofizacja (kg eq. PO₄) i skażenie ludzi (kg eq. 1,4-DCB).

Założeniem procesu produkcyjnego było osiągnięcie maksymalnego uzysku frakcji olejów napędowych o standardach Unii Europejskiej ustalonych na rok 2010 [1], niezależnie od jakości przerabianej ropy naftowej. Przyjęto, że w każdym wariantcie technologicznym produkcji olejów napędowych [5] rafineria musi zawierać instalacje do separacji produktów z ropy naftowej: destylację atmosferyczną (AD) i próżniową (VD) oraz instalacje uszlachetniania rozdzielonych strumieni – hydroodsieranie (HDS). Rozpatrywane warianty technologiczne różnią się instalacjami do przeróbki produktów ciężkich. Instalacjami tymi są: hydrokraking (HC), fluidalny kraking katalityczny (FCC), koksowanie (DC), visbreaking (VB), hydrokraking pozostałości próżniowej (RHC). Wszystkie procesy produkcyjne realizowane są na terenach 25 krajów UE. Wyjątek stanowi wydobycie surowców mineralnych: ropy naftowej i gazu ziemnego. Strukturę sieci pozwalającą na analizę wszystkich zdefiniowanych wariantów technologicznych

przedstawiono na rys. 1. Dane były inwentaryzowane z zastosowaniem programu komputerowego Umberto 3.6. consult.



Rys. 1. Sieć przepływów materiałowych dla instalacji produkcji ON obejmująca warianty 1–12

Fig. 1. The material flow network for Diesel oils production installations including variants 1–12

Wielkości procentowych wskaźników kategorii wpływu dla 12 wariantów technologicznych produkcji olejów napędowych, w zależności od początkowych parametrów ropy naftowej, przedstawiono w tabeli 1. Wyniki wskaźników wyskalowanych do 100% największego wpływu w ramach danej kategorii tworzą tzw. profil środowiskowy. Zaznaczone pola oznaczają najniższy wynik wskaźnika [6].

Na poziomie profilu środowiskowego (tab. 1) najlepszym wariantem technologicznym produkcji olejów napędowych jest wariant 6, zawierający instalacje hydrokrakingu i koksowania. Niezależnie od początkowych parametrów ropy naftowej analiza porównawcza otrzymanych wyników wykazała wyższość tego wariantu dla sześciu z siedmiu zdefiniowanych kategorii wpływu. Tylko w ramach kategorii – skażenie ludzi, najmniej uciążliwym dla środowiska rozwiązaniem jest wariant 5.

Procentowe wyniki wskaźników kategorii wpływu

| Warianty | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Zubożenie energii | 100,0 | 86,2 | 92,0 | 89,4 | 60,8 | 53,0 | 57,9 | 57,0 | 75,4 | 65,4 | 70,9 | 69,4 |
| | 100,0 | 85,6 | 90,0 | 87,4 | 59,1 | 51,4 | 55,7 | 54,9 | 74,1 | 64,0 | 68,6 | 67,2 |
| Zakwaszenie | 65,3 | 57,6 | 60,6 | 100,0 | 39,6 | 35,3 | 38,0 | 63,1 | 49,1 | 43,6 | 46,6 | 77,2 |
| | 59,9 | 52,7 | 54,6 | 100,0 | 35,4 | 31,6 | 33,6 | 62,0 | 44,3 | 39,4 | 41,5 | 76,4 |
| Globalne ocieplenie | 100,0 | 91,9 | 94,3 | 97,1 | 70,8 | 66,3 | 68,8 | 71,1 | 81,7 | 75,8 | 78,5 | 81,1 |
| | 100,0 | 92,1 | 92,8 | 97,9 | 69,0 | 64,9 | 66,5 | 70,3 | 80,3 | 74,9 | 76,4 | 80,8 |
| Fotochemiczne utlenienie | 100,0 | 87,0 | 92,4 | 90,3 | 61,7 | 54,4 | 59,0 | 58,5 | 76,0 | 66,6 | 71,6 | 70,7 |
| | 100,0 | 86,6 | 90,4 | 88,6 | 60,1 | 52,9 | 56,8 | 56,5 | 74,6 | 65,3 | 69,4 | 68,7 |
| Smog letni | 100,0 | 87,8 | 92,7 | 91,0 | 61,8 | 54,9 | 59,2 | 59,0 | 76,0 | 67,2 | 71,9 | 71,3 |
| | 100,0 | 87,5 | 90,8 | 89,5 | 60,1 | 53,5 | 57,1 | 57,2 | 74,7 | 66,0 | 69,7 | 69,4 |
| Eutrofizacja | 100,0 | 88,4 | 92,9 | 91,7 | 62,2 | 55,7 | 59,8 | 59,8 | 76,3 | 67,9 | 72,4 | 72,0 |
| | 100,0 | 88,2 | 91,1 | 90,3 | 60,6 | 54,3 | 57,6 | 58,0 | 75,0 | 66,7 | 70,2 | 70,3 |
| Skażenie ludzi | 100,0 | 99,9 | 97,2 | 96,4 | 62,5 | 62,8 | 62,7 | 63,0 | 76,4 | 76,6 | 75,8 | 75,8 |
| | 99,0 | 100,0 | 95,4 | 95,0 | 60,2 | 61,3 | 60,4 | 61,1 | 74,3 | 75,6 | 73,5 | 74,0 |

LEGENDA:

| | |
|--|--|
| | – ropa naftowa lekka o parametrach: $S = 0,3\%$ (m/m), $\rho = 0,83$ t/m ³ |
| | – ropa naftowa ciężka o parametrach: $S = 1,6\%$ (m/m), $\rho = 0,85$ t/m ³ |

3. Referencyjne wskaźniki normalizacji

Interpretacja danych uzyskanych na poziomie profilu środowiskowego jest w pewnym stopniu intuicyjna. Trudności w ocenie uzyskanych wyników wynikają z nieporównywalności kategorii, np.: czy efekt cieplarniany jest ważniejszy od zakwaszenia? Aby rozwiązać ten problem wyniki wskaźników kategorii wpływu odnoszone są do wskaźników referencyjnych. Profil środowiskowy może wtedy być zredukowany do pojedynczej liczby wyrażającej całkowity wpływ na środowisko.

Referencyjny wskaźnik normalizacji obrazuje średnie obciążenie środowiska przypadające na jednego mieszkańca danego regionu w roku odniesienia. Dla danej kategorii wpływu jest on sumą wszystkich interwencji związanych z referencyjnym systemem pomnożonych przez odpowiedni współczynnik charakteryzacji. Sposób obliczenia wartości referencyjnych wskaźników normalizacji przedstawia wzór (1)

$$\text{Referencyjny wskaźnik normalizacji}_{kat} = \frac{\sum_i (m_i \cdot CF_{i,kat})}{N} \left[\frac{\text{masa ekwiwalentu substancji odniesienia}}{\text{osoba}} \right] \quad (1)$$

gdzie:

m_i – całkowita masa emitowanej substancji w roku odniesienia na danej powierzchni,

$CF_{i,kat}$ – współczynnik charakteryzacji dla emitowanej substancji zależny od kategorii wpływu,

N – liczba mieszkańców w danym regionie w roku odniesienia.

W tabeli 2 zestawiono dostępne w literaturze referencyjne wskaźniki normalizacji dla krajów Unii Europejskiej. Termin Europa Zachodnia obejmuje wszystkie państwa „starej piętnastki”, tj. 15 krajów UE oraz kraje EFTA: Islandię, Norwegię i Szwajcarię.

Tabela 2

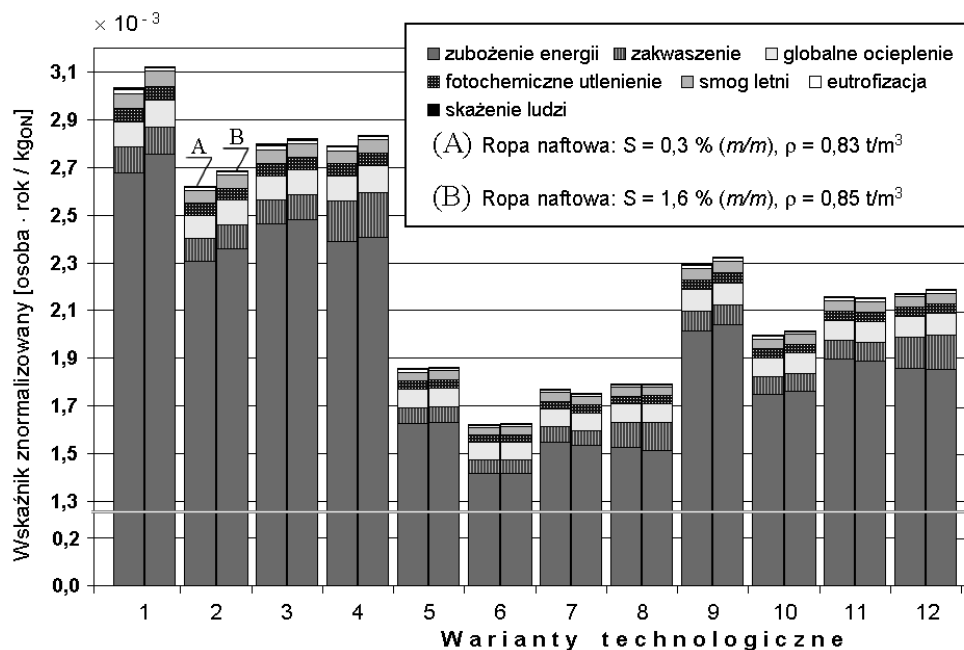
Referencyjne wskaźniki normalizacji dla 7 kategorii wpływu [2, 3]

| Kategorie wpływu | Jednostki | Referencyjne wskaźniki normalizacji | |
|--------------------------|---|---|---|
| | | (a) na 1 mieszkańca Europy Zach. w 1995 r. | (b) na 1 mieszkańca 25 krajów EU w 2000 r. |
| Zubożenie energii | kg eq. Sb /(osoba · rok) | 32,6 | 33,2 |
| Zakwaszenie | kg eq. SO ₂ /(osoba · rok) | 84,2 | 65,7 |
| Globalne ocieplenie | kg eq. CO ₂ /(osoba · rok) | 14600 | 13040 |
| Fotochemiczne utlenienie | kg eq. C ₂ H ₄ /(osoba · rok) | 25,4 | 26,2 |
| Smog letni | kg eq. TOPP /(osoba · rok) | 127,4 | 136,8 |
| Eutrofizacja | kg eq. PO ₄ /(osoba · rok) | 38,4 | 28,7 |
| Skażenie ludzi | kg eq.1,4-DCB /(osoba · rok) | 23300 | 16935 |

4. Normalizacja wskaźników kategorii wpływu w cyklu produkcyjnym ON

Wyniki wskaźników znormalizowanych przedstawione na rys. 2, wyrażone w pewnej ogólnej jednostce [osoba · rok / kg_{ON}], określają wielkość oddziaływania środowiskowego. Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym wyższy potencjalny wpływ na środowisko. Proces normalizacji przeprowadzono w przeliczeniu na wskaźniki referencyjne z roku 1995 zdefiniowane w tab. 2.

Wskaźniki znormalizowane [osoba · rok · 10⁻³ / kg_{ON}] w tab. 2 stanowią ostateczny wynik analizy LCA. Pogrubieniem zaznaczono zmianę ich wartości na skutek uaktualnienia referencyjnych wskaźników normalizacji. Zmiana wielkości referencyjnych z „a” na „b” wg tab. 2 spowodowała, że końcowy wynik normalizacji, w przypadku niektórych wariantów, może różnić się maksymalnie o 1% (np. wariant 4, gdy przerabiana jest ropa ciężka).



Ryc. 2. Histogram normalizacji dla 12 wariantów technologicznych produkcji ON w zależności od parametrów ropy naftowej (wskaźniki referencyjne z 1995 r. – tab. 2)

Fig. 2. Normalization histogram for 12 technological schemes of Diesel oils production depending on crude oil parameters (reference factors from 1995 – tab. 2)

Tabela 3

Wskaźniki znormalizowane [$\text{osoba} \cdot \text{rok} \cdot 10^{-3} / \text{kg}_{\text{ON}}$] dla 12 wariantów technologicznych produkcji olejów napędowych w zależności od początkowych parametrów ropy naftowej i referencyjnych wskaźników normalizacji

| Warianty | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ropa naftowa lekka | 3,03 | 2,62 | 2,79 | 2,79 | 1,85 | 1,62 | 1,77 | 1,80 | 2,29 | 1,99 | 2,16 | 2,17 |
| | 3,02 | 2,62 | 2,79 | 2,80 | 1,85 | 1,62 | 1,77 | 1,79 | 2,29 | 1,99 | 2,15 | 2,19 |
| Ropa naftowa ciężka | 3,12 | 2,68 | 2,82 | 2,83 | 1,86 | 1,62 | 1,75 | 1,81 | 2,32 | 2,01 | 2,15 | 2,19 |
| | 3,12 | 2,68 | 2,81 | 2,86 | 1,86 | 1,62 | 1,75 | 1,79 | 2,32 | 2,01 | 2,15 | 2,21 |

LEGENDA: – Refer. wskaźniki normalizacji liczone na 1 mieszkańca Europy Zach. w 1995 r.
 – Refer. wskaźniki normalizacji liczone na 1 mieszkańca 25 krajów EU w 2000 r.

Analiza histogramu normalizacji na rys. 2 oraz analiza wartości wskaźników znormalizowanych – tab. 3 pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

1. Niezależnie od początkowych parametrów ropy naftowej najlepszym wariantem technologicznym produkcji olejów napędowych jest wariant 6 – zawierający instalacje hydrokrakingu i koksowania, wskaźnik normalizacji ma wówczas najniższą wartość.
2. Rafinerie z węzłem hydrokrakingu (HC), tj. warianty 5–8, przy produkcji olejów napędowych wykazują najmniejsze obciążenie środowiska w porównaniu z innymi typami rafinerii.

5. Podsumowanie

Proces normalizacji umożliwia łatwe porównanie technologii produkcji ON, gdyż różne oddziaływania środowiskowe sprowadzane są do wspólnej jednostki. Jakość otrzymanych wyników jest jednak uzależniona od użytych wskaźników referencyjnych. Wskaźniki te są, co pewien czas uaktualniane. Wraz ze zmianą roku odniesienia zmienia się ilość emisji, liczba mieszkańców w danym regionie. Istnieje zatem możliwość doboru referencyjnych wskaźników normalizacji w zależności od zakresu czasowego i geograficznego analizy LCA. Niemniej jednak, przynajmniej w Europie, odnoszenie wyników do bazy referencyjnej krajów EU pozwala na osiągnięcie porównywalnych wyników tych analiz.

Przeprowadzona analiza środowiskowa produkcji olejów napędowych o maksymalnej zawartości siarki 10 mg/kg jednoznacznie wykazała, że najlepszym rozwiązaniem technologicznym jest wariant 6, zawierający jednostki hydrokrakingu destylatów ciężkich i koksowania pozostałości próżniowej. Zmiana wskaźników referencyjnych nie wpłynęła na interpretację wyników.

Oznaczenia

| | | |
|---------|---|----------|
| 1,4-DCB | – 1,4-Dichlorobenzen | |
| AD | – Atmospheric Distillation – destylacja atmosferyczna | |
| CF | – Characterization factor – współczynnik charakteryzacji | |
| DC | – Delayed Coking – koksowanie opóźnione | |
| EFTA | – European Free Trade Association – Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu | |
| FCC | – Fluid Catalytic Cracking – fluidalny kraking katalityczny | |
| GHGs | – Greenhouse Gases – gazy cieplarniane | |
| HC | – Hydrocracking – hydrokraking | |
| HDS | – Hydrodesulfurization – hydroodsiarczanie | |
| LCA | – Life Cycle Assessment – ocena cyklu życia | |
| m_i | – Emitted quantity of substance – masa emitowanej substancji | |
| N | – Number of capita – liczba mieszkańców | |
| ON | – Diesel Oils – oleje napędowe | |
| S | – Sulfur Content – zawartość siarki, | [%(m/m)] |
| TOPP | – Tropospheric Ozone Precursor Potential – wskaźnik służący do przeliczenia gazów: NO _x , NMVOC, CH ₄ i CO odpowiedzialnych za smog letni; zalecany przez EEA | |
| VB | – Visbreaking – kraking lekki w celu zmniejszenia lepkości | |

| | | |
|-------------|---|---------------------|
| VD | – Vacuum Distillation – destylacja próżniowa | |
| ρ_{RN} | – Density of the Crude Oil – gęstość ropy naftowej, | [t/m ³] |

L i t e r a t u r a

- [1] Głuszek A.: *Ekologicznie uzasadniona graniczna zawartość siarki w olejach napędowych*, rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
- [2] Guinée J. B. (Ed.): *Handbook on Life Cycle Assessment*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002.
- [3] CML: Institute of Environmental Sciences, Leiden University, Normalisation factors, <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/> (strona dostępna w dniu 04.02.2008).
- [4] Norma PN-EN ISO:14042: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Ocena wpływu cyklu życia, PKN, Warszawa 2002.
- [5] Reinaud J.: The European Refinery Industry Under the EU Emissions Trading Scheme, IEA Information Paper, 11/2005, www.iea.org (strona dostępna w dniu 04.02.2008).
- [6] Głuszek A., Magiera J.: *Ekologiczna ocena procesów produkcji niskosiarkowych olejów napędowych*, Przemysł Chemiczny, przyjęto do druku.
- [7] Danish Environmental Protection Agency: Impact categories, normalisation and weighting in LCA, Environmental News no. 78, 2005, <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/> (strona dostępna w dniu 04.02.2008).