

## Life cycle of combustion engines in the aspect of the realization of the idea of their sustainable mobility

*Abstract: In the present article, the impact was analyzed of the stages detailed of the life cycle of a combustion engine on the results of the execution of the individual objectives of the sustainable mobility idea. The usefulness was demonstrated of the combination of the operation stage of transport means and the ending of the life stage of transport means with the sustainable mobility idea. One of the chief objectives of this idea is to decrease the demand for travelling in cars, and to increase the share of travelling by public means of transport as well as by bicycle and on foot.*

**Key words:** combustion engine, sustainable mobility, combustion engine life cycle.

### Cykl życia silników spalinowych w aspekcie realizacji idei zrównoważonej mobilności

*Streszczenie: W artykule przeanalizowano wpływ wyszczególnionych etapów cyklu życia silnika spalinowego na wyniki realizacji poszczególnych celów idei zrównoważonej mobilności. Wykazano celowość połączenia etapu eksploatacji środków transportu i etapu wycofanie z eksploatacji środków transportu z ideą zrównoważonej mobilności, której jednym z priorytetowych celów jest zmniejszenie popytu na podróże realizowane samochodami osobowymi, a zwiększenie udziału podróży odbywanych środkami transportu publicznego oraz rowerem i pieszo.*

**Słowa kluczowe:** silnik spalinowy, zrównoważona mobilność, cykl życia silnika spalinowego.

#### 1. Cykl życia silnika spalinowego

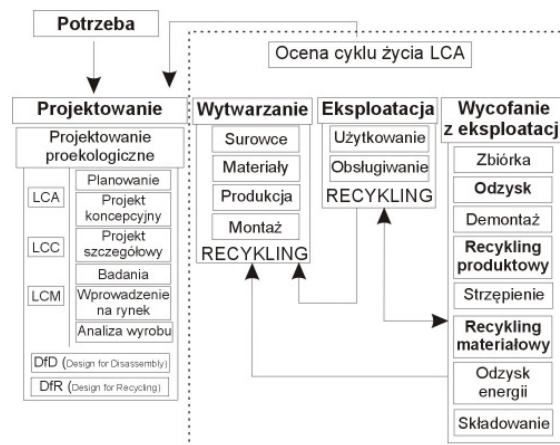
W wyniku intensywnego rozwoju nauki oraz wdrażania nowych rozwiązań i obiektów technicznych ludzkość w coraz większym stopniu zaspakaja swoje potrzeby. Wszystkie te obiekty od tych najmniejszych do tych największych w mniejszym lub większym stopniu wpływają na środowisko.

Jednym z takich obiektów technicznych są silniki spalinowe wykorzystywane do napędzania pojazdów samochodowych.

Pojawia się więc problem, jak ograniczyć wpływ silnika spalinowego na środowisko.

W rozwiązaniu tego problemu pomocnym staje się analiza struktury cyklu istnienia silnika spalinowego. Podobnie jak organizmy żywe, których egzystencję można ująć jako cykl podzielony na fazy, począwszy od ewolucyjnego rozwoju gatunku, poprzez proces kształtowania konkretnego organizmu i jego życie aż po śmierć i rozkład, który skutkuje włączeniem w globalny obieg materii także obiekty techniczne w postaci silników spalinowych podlegają regularnym przemianom. Analogicznie zatem istnienie każdego obiektu technicznego ma przebieg cykliczny z podziałem na cztery fazy: projektowanie, wytwarzanie, eksploatację oraz wycofanie z eksploatacji, któremu towarzyszą procesy ponownego przetwarzania występujące również we wcześniejszych fazach cyklu. W odniesieniu do obiektów technicznych na podstawie wykazanego wyżej podobieństwa używamy rów-

nież terminu „cykl istnienia” lub wręcz „cykl życia”. Cykl życia silnika spalinowego, w którym wyróżniono w/w fazy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Cykl życia silnika spalinowego  
Fig. 1. Combustion engine life cycle

#### 2. Ocena cyklu życia silnika spalinowego

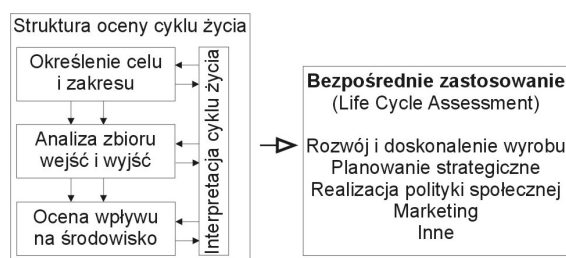
Ocena cyklu życia LCA (ang. Life Cycle Assessment) to technika mająca na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu (silnika spalinowego) lub działaniem, zarówno poprzez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii oraz odpadów wpro-

wadzonych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko.

Ocena dotyczy całego okresu życia silnika spalinowego (wyrobu). LCA ukierunkowuje badania wpływu na środowisko systemu wyrobu w obszar ekosystemu, zdrowia ludzkiego oraz zużytych zasobów [1].

Wprowadzenie i opisanie techniki LCA w normach ISO 14040-14049 spowodowało, że stała się ona jednym z ważniejszych narzędzi stosowanych w systemach zarządzania środowiskowego opracowywanych zgodnie z wytycznymi normy ISO 14001. Zasady techniki LCA opisane zostały w normach międzynarodowych, które zostały wprowadzone przez Polski Komitet Normalizacji do Polskich Norm jako [2]: PN-EN ISO 14040, PN-EN ISO 14041, PN-EN ISO 14042, PN-EN ISO 14043.

Ocena cyklu życia powinna obejmować cztery wzajemnie powiązane etapy: określenie celu i zakresu, analiza zbioru wejść i wyjść, ocenę wpływu na środowisko oraz interpretację cyklu życia (rys. 2).



Rys. 2. Poszczególne etapy LCA  
Fig. 2. Individual stages LCA

Wyniki przeprowadzonej oceny cyklu życia wyrażamy w punktach środowiskowych (Pt), jednostce przyjętej w metodzie LCA na potrzeby jednoznacznego określenia wielkości oddziaływań środowiskowych. Dodatnie wartości punktów środowiskowych określają negatywny wpływ na środowisko, natomiast wartości ujemne oznaczają korzyści środowiskowe.

### 3. Idea zrównoważonej mobilności

Współcześnie mobilność ma zasadnicze znaczenia dla jakości życia i dla konkurencyjności w społeczeństwie państw Europejskich. Równocześnie jest to kregosłup gospodarki, zapewniający połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami łańcuchów produkcji oraz umożliwiając branżom usługowym dotarcie do klientów, a także stanowiąc sama w sobie ważne źródło zatrudnienia. Ponadto mobilność pociąga za sobą pewne koszty dla społeczeństwa wynikające z jej negatywnego oddziaływania. Emitowane emisje przez sektor transportowy stanowią zagrożenia dla zdrowia i negatywnie wpływają na środowisko. Emisje CO<sub>2</sub> pochodzące z

transportu są o 30% wyższe niż w 1990 roku równocześnie jest to sektor, w którym oczekuje się, że emisje w przyszłości wzrosną [3]. Dlatego centralnym elementem unijnej polityki transportowej jest ekologiczny transport, którego jednym z elementów jest mobilność zorganizowana z poszanowaniem zasady zrównoważonego rozwoju, tj. mobilność wolna od szkodliwych skutków ubocznych [3].

Europejski Komitet Ekonomiczno-Społeczny wyszczególnił wiele działań, jakie różne organy Unii Europejskiej, państw członkowskich i samorządu terytorialnego mogą podjąć w celu zmniejszenia skutków zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego [4]:

- zaangażowanie obywateli poprzez zachęcenie ich do przyjmowania odpowiedzialnej postawy służącej budowaniu zbiorowego dobrobytu, zwiększenie przejrzystości i udzielanie większej liczby informacji za pośrednictwem tablic informacyjnych stron internetowych,
- wsparcie kształcenia i szkolenia w zakresie ochrony środowiska,
- rozpowszechnianie sprawdzonych rozwiązań takich jak karta mobilności,
- wykorzystanie w miejskim transporcie publicznym tramwajów elektrycznych trolejbusów, trolejbusów tym zasilanych na baterie,
- ograniczenie transportu prywatnego poprzez poprawę i rozwój transportu publicznego,
- przyjęcie różnych stawek podatków od pojazdów samochodowych paliwa w zależności od stopnia powodowanego przez nie zanieczyszczenia, a także opłat za wjazd do centrum miasta, które uwzględniałyby różne możliwości finansowe obywateli i poziom emisji,
- internalizacja kosztów zewnętrznych, zwłaszcza kosztów zdrowotnych ponoszonych przez obywateli,
- opracowanie zintegrowanej polityki transportu poprzez ustalenie stopnia zgodności poszczególnych projektów z zasadami rozwoju zrównoważonego,
- przyczynianie się do zmiany stylu życia, tak by był on bardziej wstrzemięźliwy i ekologiczny,
- wsparcie dla zrównoważonej mobilności pieszej lub rowerowej na krótkich odcinkach,
- unikanie niepotrzebnego transportu,
- przegląd zarządzania logistyką i produkcją w systemie dokładnie na czas,
- promowanie telepracy,
- zmniejszenie zatorów na drogach poprzez optymalizację wykorzystania środków transportu i priorytetowe traktowanie transportu publicznego,
- wsparcie badań naukowych oraz innowacyjnego rozwoju materiałów rozwiązań technologicznych służących ograniczeniu zanieczyszczeń ruchu i transportu drogowego,
- przeprowadzanie bardziej zastrzonych kontroli okresowych w tych krajach, gdzie park samo-

chodowy jest przestarzały i powoduje więcej zanieczyszczeń.

W celu zmniejszenia wpływu oddziaływania hałasu emitowanego przez środki transportu, można by wprowadzić [4]:

- ograniczenie w ruchu nocnym pojazdów prywatnych na obszarach mieszkalnych,
- spowalnicze ruchu na nawierzchniach ulic,
- poprawę jakości asfaltu,
- ekrany dźwiękochłonne na obszarach o największej gęstości ruchu,
- rzeczywiście odstraszać kary dla pojazdów przekraczających dopuszczalny poziom emisji hałasu, ze szczególnym uwzględnieniem pojazdów silnikowych dwu- i trzykołowych,
- testy poziomu hałasu przeprowadzone w warunkach bardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków użytkowania pojazdów,
- częstsze wizyty lekarskie dla osób najbardziej narażonych na ryzyko hałasu,
- skuteczne działania na rzecz usprawnienia ruchu drogowego ze szczególnym uwzględnieniem rozpowszechniania pasów ruchu i ulic dla transportu publicznego,
- szczególne przepisy i odpowiednie udogodnienia dla osób pracujących na drogach, które wdychają zanieczyszczone powietrze lub są stale narażone na hałas.

Równocześnie oceny wpływu cyklu życia powinny być stosowane w wypadku pośrednich emisji związanych z transportem, których czynnikami są [4]:

- produkcja i transport paliwa,
- produkcja pojazdu,
- ulice i parkingi.

#### 4. Badania wyszczególnionych etapów

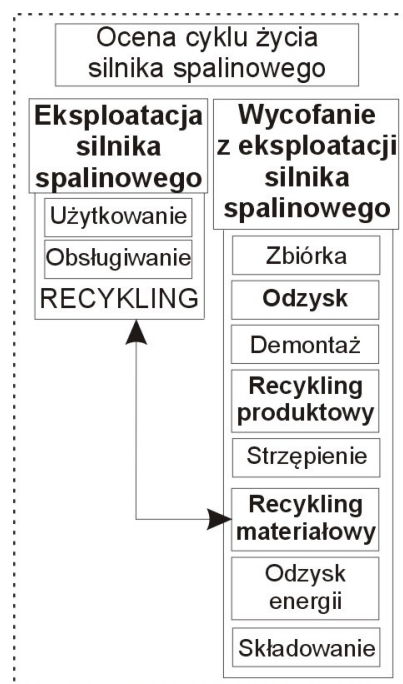
W prowadzonych badaniach oddziaływania transportu w mieście przeprowadzono analizę oddziaływania silników spalinowych wykorzystywanych jako jednostki napędowe w środkach transportu publicznego na środowisko naturalne.

Badania ograniczono do dwóch etapów cyklu życia, to jest etapu eksploatacji silników spalinowych i etapu wycofania z eksploatacji silnika spalinowego. Poszczególne etapy zostały podzielone na mniejsze etapy, które przeanalizowano pod kątem realizacji w mieście idei zrównoważonej mobilności. Struktura analizowanych etapów została pokazana na rysunku 3.

#### 5. Etap - eksploatacja

Analiza etapu eksploatacji silników spalinowych została przeprowadzona na przykładzie rzeczywistej struktury transportu. Badane silniki spalinowe wykorzystywane są jako jednostki napędowe w środkach transportu wykorzystywanych do przewozu osób na terenie miasta o średniej wielkości, to

znaczy miasta o liczbie mieszkańców nie przekraczającej 50tys.

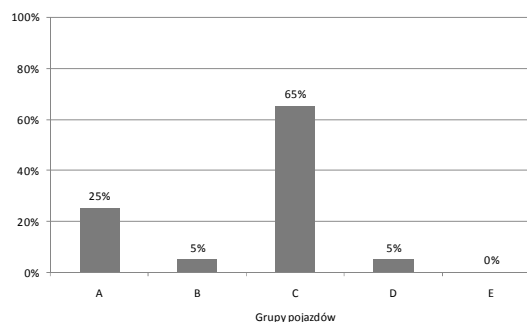


Rys. 3. Cykl życia silnika spalinowego  
Fig. 3. Combustion engine life cycle

Środki transportu podzielono na poszczególne grupy na podstawie kryterium spełniania określonej normy emisji spalin, Euro. Wyszczególniono pięć grup pojazdów tj.

- A – grupa pierwsza, pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 0,
- B – grupa druga, pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 1,
- C – grupa trzecia, pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 2,
- D – grupa czwarta, pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 3,
- E – grupa piąta, pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 4.

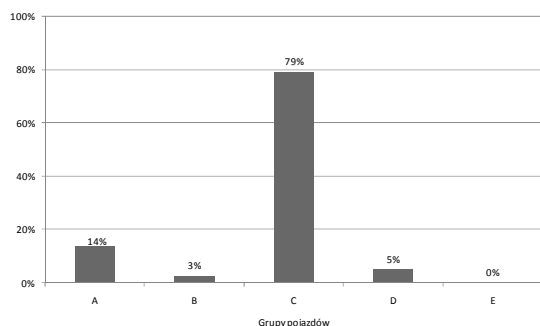
Na podstawie przypisania poszczególnych środków transportu do wymienionych grup uzyskaliśmy następującą strukturę (rys. 4).



Rys. 4. Struktura środków transportu  
Fig. 4. The structure of transportation means

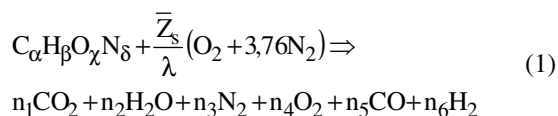
W strukturze środków transportu ponad połowę stanowią pojazdy spełniające normę emisji spalin Euro 2 (65%). Następną grupę stanowią pojazdy spełniające normę Euro 0 (25%) i Euro 2 i 3 (5%). W przedsiębiorstwie nie są eksploatowane pojazdy spełniające normę Euro 4.

Przeprowadzona została też analiza procentowa wykorzystania poszczególnych grup pojazdów wg norm emisji spalin w pierwszym kwartale 2010 roku (rys. 5). Przedsiębiorstwo użytkowało przeważnie pojazdy grupy C (79%), czyli spełniające normę Euro 2. W następnej kolejności pojazdy grupy A (14%), D (5%) oraz B (3%).



Rys. 5. Wykorzystanie środków transportu  
Fig. 5. The use of transportation means

Na podstawie informacji o przebiegach pojazdów z poszczególnych grup wykonano obliczenia poziomu emisji składników spalin. W tym celu posłużono się równaniami opisującymi przebieg reakcji chemicznych zachodzących w trakcie utleniania paliwa [5, 6]



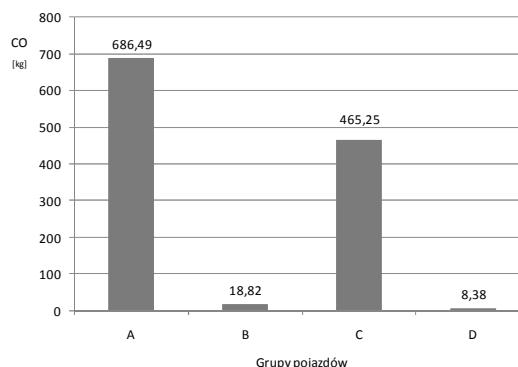
gdzie:  $Z_s$  – stechiometryczny iloraz liczby moli powietrza i paliwa,  $\alpha, \beta, \chi, \delta$  - współczynniki określające liczbę atomów węgla, wodoru, tlenu i azotu,  $n_i$  – liczba moli poszczególnych składników spalin,  $\lambda$  - nadmiaru powietrza.

Uwzględniono również normy emisji spalin dla danej grupy pojazdów. Średnią emisję drogową każdego analizowanego składnika spalin wyznaczono na podstawie ogólnej zależności [5, 7]

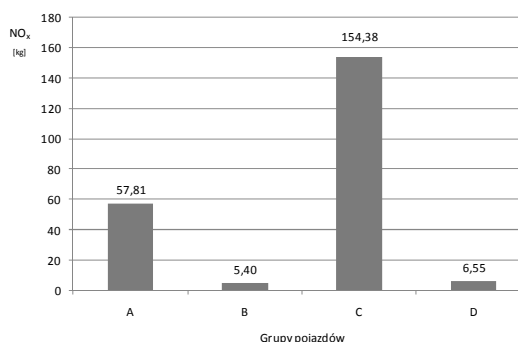
$$E_n = f(m, s, L, U) \quad (2)$$

gdzie:  $E_n$  – średnia emisja drogową,  $n$  – rodzaj składnika spalin ( $CO, NO_x, CO_2$ ),  $m$  – masa zużytego paliwa [kg],  $s$  – długość drogi, jaką pokonał pojazd z danej grupy [km],  $L$  – limit emisji związany ze spełnioną normą emisji spalin [g/km],  $U$  – okres eksploatacji (pierwszy kwartał 2010 roku).

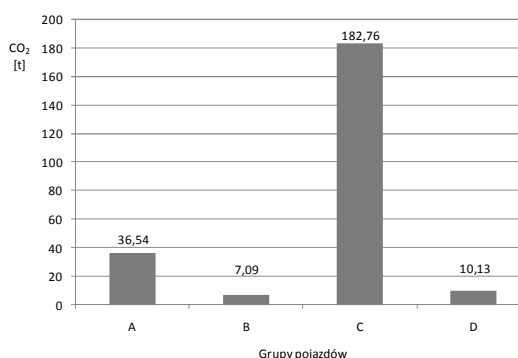
Obliczone wartości poziomu emisji  $CO, NO_x$  i  $CO_2$  dla pojazdów z poszczególnych grup dla kwartalnego okresu eksploatacji przedstawiono na rysunkach 6, 7 i 8.



Rys. 6. Średnia emisja CO dla pojazdów z danej grupy  
Fig. 6. Average of CO emission for vehicles from given group



Rys. 7. Średnia emisja  $NO_x$  dla pojazdów z danej grupy  
Fig. 7. Average of  $NO_x$  emission for vehicles from given group



Rys. 8. Średnia emisja  $CO_2$  dla pojazdów z danej grupy  
Fig. 8. Average of  $CO_2$  emission for vehicles from given group

## 6. Etap – wycofanie z eksploatacji

Wpływ na środowisko występuje również na etapie zagospodarowywania silnika wycofanego z eksploatacji. Powstały odpad w postaci silnika wycofanego z eksploatacji należy, zagospodarować w sposób bezpieczny i przyjazny dla życia i zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego. Zagospodarowanie to ma polegać na maksymalnym wykorzystaniu pochodzących z tego silnika elementów i materiałów w eksploatacji i przemyśle, bardzo ograniczonego wykorzystania w energetyce aż do sporadycznego składowania pozostałości na składowisku odpadów. W ramach postępowania z odpadami, mamy do czynienia z odzyskiem oraz z unieszkodliwianiem.

Proces unieszkodliwiania polega na bezpiecznym dla środowiska zagospodarowaniu odpadów, których nie można ponownie wykorzystać. Powstałe odpady są poddawane procesom przekształceń biologicznych, fizycznych lub chemicznych, w celu doprowadzenia ich do stanu, w który nie stwarzają zagrożenia dla życia, zdrowia ludzi lub środowiska. W przypadku wyeksploatowanych silników proces unieszkodliwiania nie znajduje zastosowania ponieważ wygenerowane odpady można ponownie wykorzystać lub przetworzyć. Znajduje natomiast zastosowanie proces odzysku.

Odzysk zgodnie z definicją zawartą w ustawie o odpadach, określa odzysk jako wszelkie działania niestwarzające zagrożenia dla życia, zdrowia ludzi lub dla środowiska, prowadzące do wykorzystania odpadów w całości lub w części, lub do odzyskania z odpadów substancji, materiałów bądź energii i ich wykorzystania [8]. Zgodnie z definicją odzysk można podzielić na dwie podstawowe formy odzysku tj. recykling i odzysk energii.

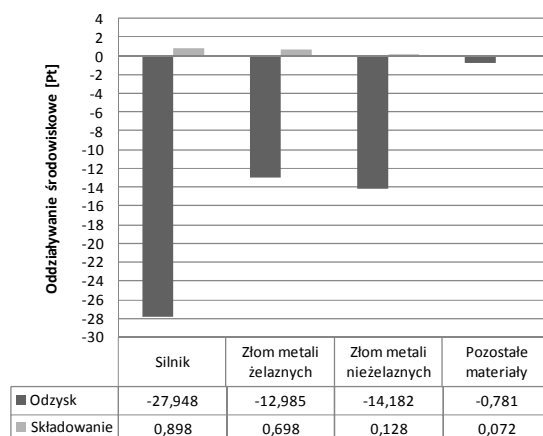
Analiza porównawcza procesu odzysku i składowania odpadów na składowisku odpadów w odniesieniu do wycofanego z eksploatacji silnika spalinowego pokazuje, że proces odzysku prowadzi do uzyskania korzyści środowiskowych a składowanie wpływa negatywnie na środowisko. Uzyskane wyniki z przeprowadzenia odzysku i składowania z podziałem na poszczególne grupy materiałowe przedstawiono na rysunku 9.

Największe korzyści środowiskowe na poziomie -14,182Pt i -12,948Pt uzyskano po przeprowadzeniu procesu odzysku złomu metali nieżelaznych i żelaznych. Natomiast odzysk pozostałych materiałów doprowadził do uzyskania korzyści środowiskowych na poziomie -0,781Pt. Odzyskanie poszczególnych materiałów z silnika wycofanego z eksploatacji jest źródłem korzyści środowiskowych na poziomie -27,948Pt, podczas gdy składowanie tych materiałów jako odpady na składowisku odpadów wywiera negatywny wpływ na środowisko na poziomie 0,898Pt.

Warunkiem koniecznym uzyskania tak dużych korzyści środowiskowych jest poprawne przepro-

wadzenie procesu odzysku elementów i materiałów z silników wycofanych z eksploatacji. Natomiast prawidłowe przeprowadzenie procesu odzysku wymaga wprowadzenia i zastosowania procesu demontażu.

Demontaż określany jest jako proces rozłożenia wyrobu na pojedyncze elementy lub podzespoły, którego celem może być wymiana uszkodzonego elementu, odzyskanie wartościowych elementów i materiałów z wyrobów przeznaczonych do recyklingu lub wydobyć z nich materiałów szkodliwych dla środowiska [9].



Rys. 9. Poziomy oddziaływań generowanych podczas odzysku i składowaniu odpadów

Fig. 9. Levels of interactions generated during recovery and disposal

## 7. Wnioski

Badania wpływu silników spalinowych na etapie ich eksploatacji pozwalają wyznaczyć ich wpływ na środowisko. Wpływ ten określany jest na podstawie emitowanych do środowiska szkodliwych składników zawartych w spalinach samochodowych.

Natomiast badanie etapu wycofania z eksploatacji silników pozwalają wyznaczyć wpływ na środowisko samego procesu zagospodarowania wyeksploatowanych silników jak i wpływ odzyskanych w tym procesie materiałów i elementów.

Połączenie tych dwóch etapów wyróżnionych z cyklu życia silnika spalinowego umożliwi przeprowadzenie badań dwuetapowego oddziaływania silnika na środowisko naturalne. Ponadto możliwe jest też przeprowadzenie badań odnośnie realizacji procesu wdrożenia idei zrównoważonej mobilności, która zakłada zmniejszenie popytu na realizację transportu poprzez wykorzystanie indywidualnego transportu samochodowego na korzyść transportu publicznego, rowerowego lub do poruszania się pieszo.

---

## Nomenclature/Skróty i oznaczenia

LCA Life Cycle Assessment/*ekologiczna ocena cyklu życia*

---

## Bibliography/Literatura

- [1] Kulczycka J.: Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA) nową techniką zarządzania środowiskowego. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2001.
- [2] PN-EN ISO 14040, wrzesień 2000, Zarządzanie środowiskiem, Ocena cyklu życia, Zasady i struktura. PN-EN ISO 14041, maj 2002, Zarządzanie środowiskiem, Ocena cyklu życia, Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru. PN-EN ISO 14042, sierpień 2002, Zarządzanie środowiskiem, Ocena cyklu życia, Ocena wpływu cyklu życia. PN-EN ISO 14043, sierpień 2002, Zarządzanie środowiskiem, Ocena cyklu życia, Interpretacja cyklu życia. Polski Komitet Normalizacji.
- [3] Komisja Wspólnot Europejskich. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie Ekologicznego transportu, Bruksela, 08.07.2008, KOM(2008), SEK(2008) 2206.
- [4] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2009/C317/04. Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie: Emisji z transportu drogowego – konkretne środki służące przezwyciężeniu zastoju.
- [5] Piątkowski P., Heese T., Kaczorkiewicz M., Boguski A., Zdoliński P., Kasperska E., Chamier-Gliszczyński N.: Implementacja założeń zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego podczas realizacji działań w ramach projektu CiViTAS renaissance na przykładzie miasta Szczecinek. *Logistyka* 2/2010.
- [6] Teodorczyk A.: Teoria silników spalinowych. WKŁ, Warszawa 2007.
- [7] Chłopek Z.: Ochrona środowiska naturalnego. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [8] Ustawa o odpadach z dnia 27.04.2001 (Dz. U. Nr 62, poz. 628).
- [9] Łebkowski P.: Model planowania demontażu maszyn i urządzeń. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. Tribologia, niezawodność, eksploatacja, diagnostyka, bezpieczeństwo*, Polska Akademia Nauk, Komitet Budowy Maszyn, Instytut Technologii Eksploatacji, vol. 37, z. 4 (132), str. 151-162, Radom 2002.

Mr Chamier-Gliszczyński Norbert, DEng. – assistant professor in the Koszalin University of Technology.

*Dr inż. Norbert Chamier-Gliszczyński – adiunkt na Politechnice Koszalińskiej.*

Photo of Autor

