

## Komitet redakcyjny:

Dr Teresa Magdalena Dudzik (redaktor naczelny)  
Prof. dr hab. Joanna Cygler (współpraca)  
Prof. dr hab. Tomasz Gołębiowski (współpraca)  
Prof. dr hab. Włodzimierz Januszkiewicz (współpraca)  
Dr Paweł Lesiak (współpraca)  
Prof. dr hab. Krystyna Michalowska-Gorywoda (współpraca)  
Prof. dr hab. Joanna Plebaniak (redaktor statystyczny)  
Mariusz Gorzka (sekretarz redakcji)

## Rada naukowa:

Prof. dr hab. Halina Brdulak — Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
Prof. Ludovít Dobrovský, Ph.D. — Uniwersytet Techniczny w Ostrawie (Czechy)  
Prof. dr hab. Danuta Kempny — Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach  
Mgr Joanna Mildner-Woś — Bombardier Transportation (ZWUS) Polska Sp. z o.o.  
Prof. Ing. Vladimír Modrák — Uniwersytet Techniczny w Koszycach (Słowacja)  
Prof. dr hab. Czesław Skowronek — Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Siedlcach  
Prof. dr hab. Michał Trocki — Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
Prof. dr hab. Jarosław Witkowski — Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

## Adres redakcji:

00-099 Warszawa, ul. Canaletta 4, pok. 305  
tel. (22) 827 80 01 w. 381, faks: (22) 827 55 67  
e-mail: [gml@pwe.com.pl](mailto:gml@pwe.com.pl)  
strona internetowa: [www.gml.pl](http://www.gml.pl)

Informacje dla autorów, zasady recenzowania i lista recenzentów są dostępne na stronie internetowej czasopiśma. Wersja drukowana miesięcznika jest wersją pierwotną. Redakcja zastrzega sobie prawo do opracowania redakcyjnego oraz dokonywania skrótów w nadesłanych artykułach.

„Gospodarka Materiałowa i Logistyka” jest czasopismem punktowym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (7 punktów).

## Wydawca:

Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne SA  
00-099 Warszawa, ul. Canaletta 4  
Strona internetowa: [www.pwe.com.pl](http://www.pwe.com.pl)

## Warunki prenumeraty:

Cena prenumeraty krajowej w 2014 r.: roczna 624 zł; półroczna 312 zł. Cena pojedynczego numeru 52 zł. Nakład wynosi poniżej 15 000 egz.

## Prenumerata u Wydawcy:

Roczna 20% taniej  
Półroczna 10% taniej  
Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne SA  
Dział Handlowy  
ul. Canaletta 4, 00-099 Warszawa, tel. (22) 827-82-07, faks (22) 827-55-67, e-mail: [bialek@pwe.com.pl](mailto:bialek@pwe.com.pl)

## Prenumerata u kolporterów:

**Poczta Polska** — infolinia: 801 333 444, <http://www.poczta-polska.pl/prenumerata>  
**Ruch** — tel. 801 800 803, (22) 717 59 59, e-mail: [prenumerata@ruch.com.pl](mailto:prenumerata@ruch.com.pl), <http://prenumerata.ruch.com.pl>  
**Kolporter** — tel. (22) 355 04 72 do 75, <http://dp.kolporter.com.pl>  
**Garmond Press** — tel. (22) 837 30 08, <http://www.garmondpress.pl/prenumerata>  
**Sigma-Not** — tel. (22) 840 30 86, e-mail: [bok\\_kol@sigma-not.pl](mailto:bok_kol@sigma-not.pl)  
**As Press** — tel. (22) 750 84 29, (22) 750 84 30;  
**GLM** — tel. (22) 649 41 61, e-mail: [prenumerata@glm.pl](mailto:prenumerata@glm.pl), <http://www.glm.pl>

Skład: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne  
Druk: Lotos Poligrafia sp. z o.o., ul. Wał Miedzeszyński 98, 04-987 Warszawa, tel. 22 872 33 66.

# Spis treści

- Filip Nowacki  
Analiza ryzyka w łańcuchu dostaw i zarządzania nim w aspekcie międzynarodowym  
*Analysis of the risk in the supply chain and its management in the international context* 2
- Adam Redmer, Marcin Kiciński, Radostaw Rybak  
Zarządzanie samochodowym taborem ciężarowym — metody  
*Freight Fleet Management — the methods* 11
- Urszula Motowidlak  
Identyfikacja potrzeb paliwowych w transporcie  
*Identification of transport fuel needs* 19
- Andrzej Wojcieszak  
Metodyka szacowania ilości pojazdów wycofanych z eksploatacji  
*The methodology for estimating the amount of end of life vehicles* 30

## Szanowni Czytelnicy i Autorzy

Archiwalne artykuły z 2013 r. już dostępne na stronie internetowej naszego pisma.  
Co miesiąc wraz z nowym numerem GML-u kolejny numer archiwalny:  
<http://www.gml.pl/archiwum>

## W najbliższych numerach:

- Smart City — miasta przyszłości
- Polityka transportowa Wielkiej Brytanii w kontekście koncepcji zrównoważonego rozwoju — deklaracje a rzeczywistość

# Analiza ryzyka w łańcuchu dostaw i zarządzania nim w aspekcie międzynarodowym<sup>1</sup>

## *Analysis of the risk in the supply chain and its management in the international context*

Przedsiębiorstwa, które prowadzą działalność międzynarodową, z uwagi na złożoność transakcji handlowych coraz częściej narażone są na negatywne konsekwencje istniejących zagrożeń niewystępujących już wyłącznie w otoczeniu lokalnym. Firmy, aby przeciwdziałać takim sytuacjom, muszą dokonać analizy ryzyka występującego w ich łańcuchu dostaw oraz opracować odpowiednie metody zarządzania nim w postaci zapobiegania oraz łagodzenia ewentualnych skutków. Ponieważ w literaturze niewiele jest opracowań dotyczących zarządzania ryzykiem międzynarodowym, a częstotliwość jego występowania zdecydowanie wzrasta, artykuł przedstawia możliwe rozwiązania, kładąc szczególny nacisk właśnie na aspekt międzynarodowy. Ryzyko występujące hipotetycznie na zewnątrz łańcucha dostaw oddziałuje bowiem na niego w coraz większym stopniu, stąd konieczność opracowania właściwych metod przeciwdziałania takim sytuacjom. Dzięki analizie poszczególnych metod zarządzania ryzykiem oraz ich wzajemnego porównania możliwe jest przedstawienie celowości ich zastosowania dla przedsiębiorstw osadzonych w międzynarodowych łańcuchach dostaw.

### **Słowa kluczowe:**

analiza ryzyka, międzynarodowe łańcuchy dostaw, ryzyko międzynarodowe, zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw.

Companies that operate internationally due to the complexity of commercial transactions are increasingly exposed to the negative consequences of existing threats that do not exist any longer only in the local environment. Enterprise in order to prevent such situations has to analyze risk in their supply chain and develop appropriate methods of its management in the form of prevention and mitigation of potential impacts. Because the literature is relatively rare in studies on international risk management, and its incidence is increasing strongly, the article presents possible solutions with an emphasis on the international aspect. As the risk that hypothetically occurs outside of the supply chain affects it interior in the increasing level, hence the need to develop appropriate methods for dealing with such situations. By analyzing various risk management methods and their mutual comparison, it is possible to show the desirability of their applications for enterprises embedded in international supply chains.

### **Key words:**

international risk, international supply chains, risk analysis, supply chain risk management.

## **Wprowadzenie**

Współczesne warunki gospodarcze, w jakich funkcjonują przedsiębiorstwa, dzięki swojej większej otwartości<sup>2</sup> zapewniają tym przedsiębiorstwom nie tylko nowe możliwości, ale również są źródłem zagrożeń. Na skutek zwiększonej współzależności pomiędzy stronami wymiany handlowej, i to nie tylko tej rozumianej lokalnie, ale również globalnie, łatwiejsze staje się przenoszenie pewnych negatywnych sytuacji występujących u jednego z podmiotów łańcucha na jego bliższych oraz dalszych kontrahentów. Zaobserwować można przede wszystkim wzrost in-

tensywności przejawów ryzyka w łańcuchu oraz sieci dostaw. Zjawisko to podlega dalszej intensyfikacji, gdy analizujemy je uwzględniając dodatkowo aspekt międzynarodowy, który wobec postępujących zmian powoli staje się nieodłącznym elementem, jaki przedsiębiorstwa muszą uwzględniać w swoich strategiach. Nawet jeśli dane przedsiębiorstwo nie decyduje się na umiędzynarodowienie swojej działalności poprzez eksport towaru do innego państwa lub też sprzedaż licencji (działania określane mianem *outward connections*), to i tak w dużym stopniu zapewne podlega internacjonalizacji, nawet nie mając tego świadomości. Importuje bowiem z zagranicy go-

towe produkty, surowce czy komponenty, korzysta z obcej siły roboczej lub nawet kapitału (czyli umiędzynarodawia się poprzez *inward connections*). Co istotne, dokonując analizy ryzyka dostaw z uwzględnieniem aspektu międzynarodowego, trzeba mieć na uwadze występowanie zjawisk, na które żadna ze stron wymiany nie ma wpływu. Im większa jest odległość geograficzna pomiędzy partnerami, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia pewnych pośrednich oraz bezpośrednich zagrożeń, które mogą wywołać określone negatywne skutki dla każdego z nich. Dlatego też przy analizie ryzyka dostaw istotne jest nie tylko zapewnienie zarządzania konsekwencjami powstałego zdarzenia, ale również wprowadzenie odpowiednich mechanizmów<sup>3</sup>, które pozwolą, jeśli nie na całkowite przerwanie zagrożenia, to przynajmniej na minimalizację jego następstw dla przedsiębiorstwa.

Celem artykułu jest analiza ryzyka dostaw oraz przedstawienie metod pozwalających na zarządzanie nim w ujęciu międzynarodowym. Już bowiem jednorazowa strata na skutek wystąpienia ryzyka może być dla przedsiębiorstwa katastrofalna w konsekwencjach, nie wspominając o ciągłych niewielkich stratach, które z pewnością przyczyniłyby się do utraty reputacji, a w efekcie nawet do zakończenia działalności. Z uwagi na relatywnie niewiele opracowań istniejących w literaturze naukowej na temat zarządzania ryzykiem międzynarodowym w łańcuchach dostaw w artykule szczególnie nacisk położono właśnie na uwzględnienie specyfiki aspektu międzynarodowego.

## Ryzyko w łańcuchu dostaw — krytyczna analiza zjawiska w ujęciu międzynarodowym

Etymologia słowa „ryzyko” ma swoje korzenie w języku włoskim, gdzie oznaczało ono „darować coś komuś”, jednak jego współczesna definicja znacznie różni się od tego pierwowzoru. Obecnie poprzez „ryzyko” rozumie się prawdopodobieństwo wystąpienia jakiegoś zjawiska, które wywoła określone konsekwencje i będzie mogło wpłynąć na osiągnięcie zakładanych przez przedsiębiorstwo lub też jednostkę celów. W kontekście omawiania „ryzyka” w literaturze często można napotkać również na niepewność, która określana jest jako trudne do przewidzenia zmiany wywołujące pewien wpływ na działanie, dlatego ryzyko z uwagi na możliwość jego kwantyfikacji w większości przypadków nazywane jest również niepewnością mierzalną.

Na skutek intensyfikacji wymiany międzynarodowej, postępującej globalizacji, przejawiającej się choćby poprzez outsourcing, wzrasta złożoność struktur łańcuchów dostaw oraz poziom ich zaawan-

sowania. Tym samym podkreśla się konieczność zarządzania ryzykiem, jakie pojawia się coraz częściej w tak rozbudowanych sieciach współzależności pomiędzy podmiotami. Poszczególne ryzyka stają się dodatkowo wzajemnie połączone. Towary produkowane są w wielu przypadkach w krajach azjatyckich, pojawiają się ryzyko walutowe, opóźnienia dostaw, zagrożenie np. ze strony piratów u wybrzeży Somalii czy też katastrofy naturalne. Zjawiska te, pomimo że występują w jednym określonym kraju, wywołują skutki dla pozostałych uczestników łańcucha dostaw, często zlokalizowanych w innych częściach świata. Można zresztą mówić nawet o nadmiernych współzależnościach w ramach całej sieci dostaw, ponieważ w przypadku tak zaawansowanych systemów konsekwencje mogą być odczuwane nawet przez podmioty bezpośrednio w żaden sposób niepowiązane, a sam rozrost sieci przyczynia się do wzrostu poziomu możliwego ryzyka.

Literatura wymienia wiele ryzyk, jakie mogą powstawać w różnych miejscach łańcucha dostaw, z różnymi ich konsekwencjami. Pomędzy istniejącymi typologiami istnieją znaczne wariacje w zależności od tego, jak dane zjawisko jest postrzegane przez konkretnego badacza. Źródłem ryzyka są określone zagrożenia, które mogą wywołać wspomniane już utrudnienia. Aby skutecznie reagować na nie oraz im przeciwdziałać, konieczne jest szerokie spojrzenie na to zagadnienie, bez ograniczania się przy tym wyłącznie do podstawowych obszarów, jakie mogą dotyczyć przedsiębiorstwa. Jeden z istniejących podziałów wydziela takie obszary powstawania ryzyka, jak:

- łańcuch wartości dostawców (np. nieterminowość i nieelastyczność dostaw oraz zmienność cen),
- łańcuch wartości firmy (błędy przy produkcji oraz awarie maszyn),
- łańcuch wartości kanałów dystrybucji (niewłaściwa organizacja transportu, wypadki, problemy z partnerami),
- łańcuch wartości nabywców (błędy w szacunkach zapotrzebowania),
- otoczenie przedsiębiorstwa (czynniki ekonomiczne, środowiskowe, polityczno-prawne).

Powyższy podział wyraźnie wskazuje, jak wiele podmiotów jest związanych w ramach nawet jednej prostej transakcji. Jeśli dodać do tego fakt, że zgodnie z istniejącymi badaniami największe zagrożenie ryzykiem występuje w obszarze kanałów dystrybucyjnych, można dojść do słusznego wniosku, że nie powinno się ograniczać analizy ryzyka wyłącznie do własnego przedsiębiorstwa, ale należy je rozszerzyć również na pozostałe jednostki, z którymi ono współpracuje.

Uwzględniając zmiany, które można zaobserwować w otoczeniu przedsiębiorstw, coraz częściej należy mówić o powstaniu nowego zjawiska czy też koncepcji, a mianowicie ryzyka, które powstaje w łańcuchu dostaw w ujęciu międzynarodowym. Jest to pojęcie stosunkowo nowe, które nie zostało jeszcze spopu-

laryzowane w literaturze naukowej. Ponieważ wzrasta presja na internacjonalizację dla przedsiębiorstw, podmioty te wchodzą w interakcje z innymi przedsiębiorstwami zagranicznymi, poszerzając w ten sposób zakres łańcucha dostaw, którego są elementem. Wzrasta przez to skala zagrożeń, jakich może oczekiwać przedsiębiorstwo, choćby z uwagi na mniejsze możliwości kontrolowania ryzyka oddalonego od centrum zarządzania działaniami przedsiębiorstwa.

Międzynarodowe ryzyko jest kreowane również przez pewne bariery, wynikające z odmienności kultur, języka, warunków klimatycznych czy nawet uwarunkowań polityczno-prawnych. Są to elementy, które znacznie trudniej jest przedsiębiorstwu przewidywać na rynkach zagranicznych lub też przeciwdziałać powstającym negatywnym zmianom w porównaniu z rynkiem lokalnym. Stąd w literaturze można spotkać się z kolejnym podziałem obszarów powstawania ryzyka na wewnętrzne oraz zewnętrzne:

- ryzyko wewnętrzne (błędy ludzkie, ryzyko finansowe, opóźnienia),
- ryzyko zewnętrzne (powstające poza łańcuchem dostaw, czyli związane z makrootoczeniem oraz mezootoczeniem).

Podział taki jest zdecydowanie bardzo praktyczny przy uwzględnieniu aspektu międzynarodowego ryzyka, a więc takiego, które może powstawać w krajowych oraz zagranicznych wycinkach łańcucha dostaw. Można jednak zaobserwować pewne słabości takiego podziału, ponieważ przy rozpatrywaniu zjawisk w kontekście wymiany międzynarodowej coraz trudniejsze staje się dokonanie podziału na ryzyko, które powstaje wewnątrz danego łańcucha dostaw oraz poza nim. Jeśli przyjąć kryterium sprawowanego wpływu nad konkretnymi działaniami, może się okazać, że duża część z pozornie wewnętrznych kontrolowanych ryzyk jest przekazywana na zewnątrz, choćby w postaci outsourcingu do przedsiębiorstw działających w innym państwie. Pomimo że w literaturze można spotkać się ze stwierdzeniem o łagodniejszym charakterze ryzyka wewnętrznego, zjawisko takie jednak nie znajduje odzwierciedlenia w doświadczeniach empirycznych. Za przykład może posłużyć wydzielenie przez koncern General Motors jednostki Delphi Corporation dostarczającej dla GM większość potrzebnych komponentów. Delphi jako jednostka niezależna miała trudności w konkuroowaniu z innymi przedsiębiorstwami, a w konsekwencji obniżenia poziomu zamówień dla GM ogłosiła bankructwo w 2005 roku. W efekcie część jednostek została ponownie włączona do struktur macierzystych GM. Takie sytuacje powodują trudność w określeniu tego, czy źródło ryzyka jest wewnętrzne, czy raczej zewnętrzne, gdyż taki podział w niektórych sytuacjach może posiadać tak naprawdę charakter czysto umowny i wyłącznie formalny. Dlatego przedsiębiorstwo musi przejawiać zainteresowanie każdym rodzajem ryzyka, jakie może wystąpić, zwłaszcza prowadząc

działalność na wielu rynkach zagranicznych. Przykładowo pozornie zewnętrzne ryzyko, jakim był pożar w fabryce Philipsa w Meksyku, został rozpatrzony jako właśnie zjawisko zewnętrzne przez Ericssona i nie podjęto żadnych środków, natomiast Nokia postrzegając to zdarzenie w taki sposób, jakby miało ono miejsce w jej własnym przedsiębiorstwie i podjęła natychmiastowe działania. Proaktywność wykazywana przez fińskie przedsiębiorstwo pozwoliła mu na rozpoczęcie rozmów na temat reakcji wobec zdarzenia, które miało miejsce zanim jeszcze nawet kontakt próbował nawiązać Philips. W efekcie w bardzo krótkim czasie ustalony został plan działania, a Philips zobowiązał się do przeorganizowania swojej produkcji w taki sposób, aby zapewnić dla Nokii dostawy ze swoich innych fabryk zlokalizowanych w Europie oraz Chinach. Ericsson niedoszłaczował za to skali zagrożenia, jakie wywołał pożar, a ponieważ wszelkie wolne moce przerobowe na rynku zostały zarezerwowane już przez Nokię, koncern nie mógł otrzymać potrzebnych do produkcji dostaw, ponosząc z tego tytułu znaczne straty finansowe.

Inna, od wymienionych wcześniej, klasyfikacja dokonuje podziału ryzyka w zależności od miejsca w łańcuchu, jakiego dotyczy, a więc dostaw, popytu, działań operacyjnych oraz bezpieczeństwa. Do takiego podziału również można zgłosić pewne zastrzeżenia choćby z uwagi na rozdzielenie pewnych czynności, które przecież mogą być współzależne, jak w przypadku firmy Dell, gdzie dostawy są silnie skorelowane z istniejącym popytem.

Szeroką klasyfikacją, która przy połączeniu z już wymienionymi, wydaje się być właściwa dla badań ryzyka międzynarodowego, jest ta przedstawiona w ramach jednej z konferencji grupy badawczej IMP (ang. *Industrial Marketing and Purchasing Group*), gdzie badacze wyróżnili:

- ryzyko powstające w otoczeniu (wywołujące wpływ na wszystkich zaangażowanych dostawców),
- ryzyko finansowe,
- ryzyko operacyjne (z uwagi na problemy jakościowe któregoś z podmiotów),
- ryzyko strategiczne (gdy dostawca nie kooperuje w taki sam odpowiedni sposób ze wszystkimi podmiotami).

Taki podział jest przydatny w analizie ryzyka międzynarodowego, ponieważ nie jest ograniczony terytorialnie<sup>4</sup>, a sam aspekt międzynarodowy jest zawarty w każdym poszczególnym rodzaju możliwego ryzyka. Należy przy tym pamiętać, że analiza ryzyka powstającego w łańcuchu dostaw przedsiębiorstwa jest zjawiskiem kompleksowym. Stąd też przy próbie jego oszacowania nie można się opierać wyłącznie na jednej z wymienionych klasyfikacji, lecz raczej korzystać z różnych metod, które w największym stopniu będą odpowiadały warunkom, w jakich funkcjonuje dane przedsiębiorstwo.

## Zarządzanie ryzykiem — możliwe działania

Przedsiębiorstwo zanim jeszcze zacznie zarządzać ryzykiem musi wcześniej dokonać jego szczegółowej analizy przy uwzględnieniu wymienionych wcześniej w artykule potencjalnych obszarów występowania. Pomimo możliwości przewidywania pewnych zagrożeń oraz zapobiegania wystąpieniu części z nich, nie jest możliwe, aby przeciwdziałać wszystkim z taką samą skutecznością. Dlatego też duże znaczenie ma procesowe podejście do zarządzania ryzykiem, a więc umiejętność odpowiedniego jego wcześniejszego oszacowania i podjęcia właściwych działań w postaci choćby unikania, przenoszenia lub też akceptowania jego skutków w sytuacji, gdy koszty zapobiegania przewyższają skutki zaniechania. Oczywiście zarządzanie ryzykiem międzynarodowym jest czynnością trudniejszą niż ma to miejsce w odniesieniu do tego powstającego lokalnie. Mniejsza jest bowiem skala oddziaływania przedsiębiorstwa na jednostki, z którymi nie ma fizycznego kontaktu z uwagi na odległość pomiędzy stronami wymiany, a możliwość kontroli oraz wprowadzania własnych rozwiązań są silnie ograniczone.

Jedną z najstarszych metod zarządzania ryzykiem, która sięga swoich początków połowy XX wieku, jest korzystanie z odpłatnego ubezpieczenia od skutków określonego zdarzenia. Obecnie metoda ta zaliczana jest do grupy przenoszenia ryzyka, czyli jego transferu. Poza wykupieniem ubezpieczenia przedsiębiorstwa zawierają w ramach umowy różnego rodzaju klauzule wyłączające. Ma to istotne znaczenie zwłaszcza z punktu widzenia przedsiębiorstw prowadzących wymianę międzynarodową w obcej walucie, gdzie nawet niewielkie wahania mogą decydować o opłacalności podejmowanego zobowiązania. Stąd metoda ta jest bardzo istotna z punktu widzenia przedsiębiorstw zarządzających ryzykiem międzynarodowym. Również stosowanie reguł Incoterms (ang. *International Commercial Terms*) jest pewną formą transferu ryzyka. Firmy określają, w którym miejscu i czasie kończy się odpowiedzialność jednego podmiotu, natomiast rozpoczyna drugiego, co jest szczególnie istotne (choćby w przypadku ewentualnych roszczeń oraz ubiegania się o stosowne odszkodowanie), gdy oba podmioty takiej umowy znajdują się w różnych krajach, w których dodatkowo obowiązują odmienne regulacje prawne. Pewną formą przeniesienia ryzyka jest także outsourcing, który jednak, jak już zostało wspomniane, wymaga od przedsiębiorstwa dodatkowej kontroli działalności prowadzonej na zewnątrz firmy, co jest utrudnione wobec jednostek znajdujących się za granicą.

Inną metodą ograniczania ryzyka jest jego minimalizowanie. Jest to możliwe poprzez aktywne oddziaływanie na prawdopodobieństwo jego wystąpienia oraz przygotowanie odpowiednich schematów

postępowania w razie jego wystąpienia. Oczywiście działanie takie jest możliwe w przypadku ryzyka międzynarodowego, jednak z uwagi na rozdzielenie pewnych działań pomiędzy kooperujące podmioty przedsiębiorstwo może napotkać spore trudności przy jego zatrzymaniu. Uwidocznił to omówiony już przykład Nokii oraz Ericssona, gdzie kluczowy okazał się czas uzyskania informacji o zdarzeniu oraz podjęcie natychmiastowych działań. Oznacza to, że dla przedsiębiorstwa nie może to być jedyna metoda zarządzania ryzykiem. Musi ona być skorelowana dodatkowo z bardzo ścisłą kontrolą, na co oczywiście może się nie zgodzić partner zagraniczny przedsiębiorstwa, który będzie pragnął zachować niezależność oraz prywatność prowadzonej przez siebie działalności.

Przedsiębiorstwo może również ignorować ryzyko na przykład wtedy, gdy działanie takie jest świadome i wynika z oszacowania potencjalnych konsekwencji ograniczania ryzyka oraz związanych z tym kosztów. Jeśli okaże się, że działanie takie jest relatywnie zbyt drogie, przedsiębiorstwo może go zaniechać. Jest to rozwiązanie o tyle ryzykowne, o ile nie zawsze można w pełni przewidzieć następstwa danej sytuacji. Pownowicie przy międzynarodowym oddzieleniu działalności z uwagi na odmienne uwarunkowania polityczno-prawne czy też ekonomiczne, przedsiębiorstwo może napotkać trudności przy szacowaniu potencjalnych konsekwencji wystąpienia zagrożenia oraz możliwych z tego tytułu kosztów. Jedną z form akceptacji ryzyka jest metoda ALARP (ang. *As Low As Reasonably Practicable*), pozwalająca na określenie poziomów ryzyka, które są nieakceptowalne, tolerowalne oraz akceptowalne. W zależności od tego, na jaki poziom tej piramidy zagrożenia wchodzi dane zdarzenie, podejmowana jest decyzja o rozpoczęciu odpowiedniej akcji lub jej braku. Także metoda FMEA (ang. *Failure Mode and Effects Analysis*) pozwala na określenie wielkości ryzyka poprzez dodanie parametru prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Obie metody trudno jednak zastosować w zarządzaniu ryzykiem międzynarodowym, gdyż niemożliwe może być dla przedsiębiorstwa szacowanie ryzyka czy też potencjalnych błędów oraz tego, jakie będą one miały rezultaty dla innego przedsiębiorstwa znajdującego się w innym państwie.

Przedsiębiorstwa mogą także zaadaptować swoje działania w odpowiedzi na potencjalne zagrożenie. Przykładowo, oczekując spadku popytu na dany produkt, firma modyfikuje swoje działania operacyjne, aby przy niższym poziomie dochodów wciąż przynosić zysk. Istotna w tej strategii działania jest szybkość przeprowadzania niezbędnych zmian w odpowiedzi na sytuację rynkową. Niezależnie od podejmowanej metody działania, wszystkie organizacje muszą być przygotowane na sytuacje kryzysowe. Jest to tym trudniejsze, im bardziej rozbudowany jest łańcuch dostaw, czyli w przypadku, gdy różne jego podmioty znajdują się w odległych geograficznie miejscach i nie

posiadają wspólnego źródła zarządzania. Jednak przedsiębiorstwo jest w stanie przewidywać pewne sytuacje, jakie mogą wystąpić na rynkach zagranicznych, dlatego istotne jest przygotowanie wspólnego planu reakcji w ramach łańcucha dostaw.

Istnieją również pewne strategie łągodzenia, zwane też redukowaniem ryzyka. W ich zakres wchodzi zwiększanie elastyczności, kontroli oraz dostępności takich elementów, jak produkt oraz dostawy. Jest to metoda szczególnie przydatna dla przedsiębiorstwa prowadzącego działania na rynkach zagranicznych. Przykładowo firma sprzedająca urządzenia klimatyzacyjne, która działa na rynku indyjskim, może oczywiście produkować ten towar w miejscu jego finalnej sprzedaży. Może też jednak wytwarzać komponenty w innym państwie (choćby swojej siedziby, albo tam, gdzie koszty są na najniższym poziomie), a w Indiach je wyłącznie składać w zakładach montażowych. Przy takim rozwiązaniu w przypadku zmiany uwarunkowań podatkowych w danym regionie Indii, przeniesienie montażu urządzeń do innego regionu nie będzie stanowiło dużego utrudnienia i przyniesie firmie wymierne korzyści w postaci ograniczenia strat (w konsekwencji pogorszenia się warunków podatkowych w danym regionie) oraz zwiększenia konkurencyjności własnej oferty (jeśli inne przedsiębiorstwa z branży pozostaną dalej w obszarze o gorszych warunkach prawnych). Są to wprawdzie działania doraźne, które jednak można odpowiednio wcześniej zaplanować w strategii zarządzania ryzykiem oraz zastosować w wymagającej tego sytuacji.

## Systemowe rozwiązania zarządzania ryzykiem

Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw (ang. *Supply Chain Risk Management*) jest działaniem procesowym obejmującym wybór odpowiedniej strategii działania, jej wdrożenie oraz monitorowanie efektów. Dodatkowym elementem jest współpraca z partnerskimi jednostkami, która sama także stanowi swoistą metodę ograniczania powstającego ryzyka. Wprowadzenie systemowego zarządzania ryzykiem jest utrudnione w przypadku międzynarodowych łańcuchów dostaw. Przedsiębiorstwo nie zawsze może bowiem wprowadzić obowiązujące u siebie systemy również w innych zlokalizowanych za granicą podmiotach sieci. Jednak dzięki nawiązywaniu partnerstwa coraz częściej spotykane są sytuacje, w których jeden z podmiotów warunkuje podpisanie umowy z innym przedsiębiorstwem przez wprowadzenie przez niego w swoich strukturach odpowiednich strategii oraz procesów zarządzania ryzykiem.

Jednym z systemowych narzędzi, które mają na celu ograniczanie ryzyka w łańcuchu dostaw, jest System Toyota Production. W ramach tego rozwiązania stosowany jest tak zwany dom TPS (ang. *Toyota Pro-*

*duction System house*) obejmujący podstawę, centrum oraz boczne filary. Podstawę tego systemu stanowią zestandaryzowane procesy, które pozwalają na ich zwiększoną przejrzystość, a w konsekwencji łatwiejsze dostrzeżenie istniejących nieprawidłowości oraz ich naprawę. Centrum oparte jest na silnej motywacji pracowników oraz ciągłym wprowadzaniu usprawnień w myśl Kaizen, czyli japońskiej filozofii postępowania. Poprzez doskonalenie metod zarządzania dzięki sugestiom własnych pracowników zwiększa się bezpieczeństwo pracy oraz obniża potencjalne ryzyko popełniania błędów. Dodatkowo obowiązuje koncepcja TPM (ang. *Total Productive Maintenance*) zapewniająca redukcję liczby błędów oraz awarii maszyn. Podwaliny filaru stanowi z kolei zarządzanie JIT (ang. *Just-in-Time*), zapewniające minimalizację kosztów przy skutecznym nadzorze nad istniejącą infrastrukturą. Koncepcja Toyoty jest wprawdzie rozwiązaniem, które dotyczy przedsiębiorstwa je wprowadzającego, jednak może ono wymagać dostosowania innych uczestników łańcucha pewnych elementów (jak zarządzanie JIT oraz TPM) własnych struktur.

Standardami zarządzania, które są znacznie częściej wprowadzane w skali międzynarodowej, są systemy jakościowe. Ponieważ poziom zachowania jakości ma bardzo istotny wpływ na powstawanie pewnego rodzaju ryzyk, wdrażanie takich rozwiązań może być korzystne z punktu widzenia SCRM. Jedną z takich metod jest kompleksowe zarządzanie jakością (ang. *Total Quality Management*) dbające o zapewnienie efektywności oraz elastyczności organizacji w odpowiedzi zarówno na potrzeby klientów zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Przedsiębiorstwa decydują się również na implementację norm ISO (ang. *International Organization for Standardization*), zapewniających zorientowanie na klienta i osiągnięcie jego zadowolenia. Przedsiębiorstwo zgodnie z międzynarodowym standardem ISO 9001 musi mieć odpowiednio zorganizowany proces produkcji, który dzięki swojej transparentności, podobnie jak miało to miejsce w przypadku innych metod, jest prostszy do kontrolowania. Informacja o posiadaniu przez dane przedsiębiorstwo standardu ISO stanowi dla kontrahentów odpowiednią gwarancję oraz dodatkowe zapewnienie o ich rzetelności. Metoda ta jest stosunkowo prosta we wprowadzaniu również dla przedsiębiorstw prowadzących działalność zagraniczną, dlatego jej zastosowanie w zarządzaniu ryzykiem międzynarodowym jest bardzo praktyczne i często spotykane w realiach biznesowych. Przedsiębiorstwa działające na wielu rynkach międzynarodowych dokładają starań również o to, aby każda z ich oddzielnych filii posiadała stosowne certyfikaty. Dlatego też przedsiębiorstwo transportowe, np. Raben Group, które jest obecne w różnych krajach, posiada oddzielne certyfikaty ISO, IFS czy też AEO, stanowiące potwierdzenie bezpieczeństwa oraz efektywności łańcucha dostaw.

Systemem, który również zajmuje się zapewnieniem bezpieczeństwa łańcucha dostaw, jest Six Sigma (ang. *Six Sigma*). Metoda ta ma na celu zapobieganie powstającym niezgodnościom poprzez dopuszczenie możliwości popełnienia 3,4 błędów na milion możliwości, co zapewnia, że 99,9997% wszystkich produktów danego przedsiębiorstwa reprezentuje właściwą jakość. Metodyka ta wywodzi się ze słusznego założenia, że podwyższenie jakości, a więc obniżenie poziomu błędów, nie prowadzi do zwiększenia poziomu kosztów, ale w długim okresie wręcz przeciwnie zapewnia ich relatywną optymalizację. Odpowiednie zorientowanie wszystkich procesów w ramach przedsiębiorstwa na ściśle określony cel pozwala na eliminację istniejących błędów oraz strat, a więc czynników, jakich firmy działające w wysoce konkurencyjnej gospodarce nie mogą akceptować. W koncepcji tej zaangażowani są wszyscy pracownicy przyczyniający się bezpośrednio do końcowego sukcesu, co jest niezwykle istotne w obliczu przeprowadzania regularnych analiz oraz kontroli mających na celu wyszukanie wszelkich występujących nieprawidłowości.

Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw może dotyczyć oczywiście różnych obszarów działalności przedsiębiorstwa. Część z wymienionych metod zapobiegania lub też unikania zagrożeń odnosi się do działalności wytwórczej, logistycznej czy też przepływu informacji. Niemniej istotna jest dla firmy zdolność równoważenia różnic pomiędzy popytem oraz podażą. Może temu służyć trójwymiarowa inżynieria współbieżna, w której trzy procesy rozwoju produktu, procesu oraz łańcucha dostaw są wzajemnie skoordynowane i pozwalają przewidywać wystąpienie pewnych zjawisk, a w konsekwencji właściwie na nie reagować. Dzięki bliskiemu partnerstwu z pozostałymi podmiotami łańcucha dostaw przedsiębiorstwo może wprowadzić dynamiczne równoważenie popytu i podaży, a więc działanie pozwalające na elastyczne oraz natychmiastowe reagowanie na zapotrzebowanie zgłaszane przez rynek, co widać znakomicie w przypadku firmy Zara, produkującej krótkie serie i posiadającej zdolność szybkiego przestawienia procesu produkcyjnego. Współpraca taka zyskuje na znaczeniu w przypadku firm prowadzących działalność międzynarodową, gdzie informacja stanowi bardzo cenny zasób i pozwala w znacznym stopniu ograniczyć ryzyko, które mogłoby nastąpić, gdyby te podmioty nie utrzymywały wzajemnych właściwych relacji.

Poza opisanymi metodami należy zwrócić szczególną uwagę na znaczenie współpracy partnerskiej w łańcuchu dostaw. Nie jest to wprawdzie systemowa forma zarządzania ryzykiem, jednak również w tej grupie metod znajduje ona zastosowanie. Poprzez nawiązywanie partnerstwa z innymi podmiotami zlokalizowanymi na rynkach zagranicznych przedsiębiorstwo może ograniczać ryzyko uzależnienia się od jednego obszaru gospodarczego i konsekwencji turbulencji, które mogłyby tam wystąpić. Nawiązanie

silnych więzi sprzyja także wprowadzaniu u partnerów kompleksowych rozwiązań i wzajemnych adaptacji, takich jak omówione wcześniej systemy zarządzania ryzykiem czy też wymaganie określonych certyfikatów. Przedsiębiorstwo oddające część ze swoich kompetencji do jednostek, z którymi współpracuje, zwiększa elastyczność swojego działania, dzięki czemu może skoncentrować się w większym stopniu na wymaganiach rynku oraz kontrolowaniu całego procesu w miejsce prostych i powtarzalnych czynności. Stworzenie takiego zintegrowanego łańcucha dostaw pozwala na zwiększenie poziomu obsługi finalnych klientów, podniesienie jakości, a przede wszystkim obniżenie kosztów jego funkcjonowania. Oczywiście przedsiębiorstwo nie może uzależnić się wyłącznie od jednego ogniwa łańcucha, ponieważ wtedy mogłoby napotkać na znaczne problemy, ale właśnie dzięki możliwości zawierania oraz utrzymywania relacji z różnymi podmiotami przedsiębiorstwo jest zdolne odpowiednio przeciwdziałać takiemu czynnikowi powstawania ryzyka.

W przypadku prowadzenia przez przedsiębiorstwo działalności międzynarodowej wszystkie sposoby zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw można uszeregować w zależności od możliwości ich zastosowania. Niektóre metody umożliwiają bezpośredni wpływ na większość lub też całość procesów, jakie zachodzą w ramach łańcucha dostaw, część natomiast umożliwia wpływ wyłącznie pośredni (zob. tab. 1). Zastosowanie reguł Incoterms w kontrakcie handlowym pomiędzy przedsiębiorstwami z tego samego łańcucha dostaw pozwala na ich proste zastosowanie oraz podjęcie ewentualnych działań w przypadku wystąpienia zagrożenia. Ściśle określone są bowiem granice odpowiedzialności każdej ze stron umowy. Metody ALARP oraz FMEA mają mniejsze zastosowanie praktyczne w zarządzaniu ryzykiem międzynarodowym, ponieważ przedsiębiorstwo może napotkać trudności w oszacowaniu ryzyka oraz jego konsekwencji dla innego podmiotu z jego łańcucha dostaw. Podobnie w przypadku metod równoważenia popytu oraz podaży możliwość zastosowania jest pośrednia, ponieważ firma nie ma wpływu na działania innego podmiotu. Oczywiście sytuacja jest odmienna w przypadku relacji partnerskich, które mogą sprawić, że wpływ ten będzie bezpośredni, jednak jak pokazują doświadczenia empiryczne niektórych przedsiębiorstw, nawet długotrwała relacja może okazać się kosztowna oraz nieskuteczna, co świadczyłoby raczej o jej wyłącznie pośrednim oddziaływaniu na ryzyko międzynarodowe<sup>5</sup>. W przypadku pozostałych metod (por. tab. 1) można mówić o bezpośrednim zastosowaniu w celu zarządzania ryzykiem międzynarodowym, ponieważ przedsiębiorstwo w prosty sposób może sprawdzić, jakie certyfikaty posiada jego kontrahent oraz to, czy wdrożył w swoich strukturach określone metody systemowego zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw.

Tabela 1

Możliwość zastosowania określonej metody zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw przez przedsiębiorstwo z uwzględnieniem aspektu międzynarodowego

Metoda zarządzania ryzykiem	Możliwość zastosowania
Incoterms	Bezpośrednio
ALARP	Pośrednio
FMEA	Pośrednio
TPS	Bezpośrednio
TQM	Bezpośrednio
ISO	Bezpośrednio
Six Sigma	Bezpośrednio
Trójwymiarowa inżynieria współbieżna	Pośrednio
Dynamiczne równoważenie popytu i podaży	Pośrednio
Współpraca partnerska	Pośrednio/bezpośrednio

Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie

Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw jest procesem niezwykle złożonym i skomplikowanym. Istnieje szereg sposobów zapobiegania mu oraz przeciwdziałania występującym zagrożeniom, dlatego każde przedsiębiorstwo powinno zrozumieć jak istot-

ne jest wprowadzenie odpowiednich metod zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw. Nawet jeśli przedsiębiorstwo nie posiadało dotychczas żadnych programów zarządzania ryzykiem, nie oznacza to, że ich nie potrzebuje, ale raczej oznacza, że miało szczęście, iż dotychczas nie poniosło tego negatywnych i kosztownych konsekwencji. Zwłaszcza w obliczu przedsiębiorstw prowadzących działalność międzynarodową, gdzie ciągłe poszukiwanie przewag konkurencyjnych oraz zmiany technologiczne są ich nieodłącznym elementem, a maksymalne ograniczenie możliwego poziomu ryzyka jest czynnością niezbędną.

Artykuł nie wyczerpuje problematyki badania zarządzania ryzykiem. Konieczne jest bowiem przeprowadzenie dalszych badań oraz empiryczne sprawdzenie, jakich rezultatów można oczekiwać poprzez wprowadzenie konkretnych metod reagowania lub przeciwdziałania istniejącym zagrożeniom. Oczywiście w mniejszym stopniu dotyczy to systemowych metod zarządzania ryzykiem, które w znacznie większym stopniu zostały przebadane, aniżeli metod takich, jak minimalizowanie czy też akceptowanie ryzyka. Zauważalny jest jednak brak empirycznego porównania efektów konkretnych metod w skali międzynarodowej, co ułatwiłoby przedsiębiorstwom podejmowanie decyzji wobec zarządzania właśnie ryzykiem międzynarodowym. Wyzwaniem pozostaje więc skuteczne przeniesienie rozważań teoretycznych na grunt praktyki biznesowej przedsiębiorstw.

## Przypisy

<sup>1</sup> Artykuł został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2012/05/D/HS4/01138. Projekt „Globalny i lokalny wymiar sieci biznesowych”, 2013–2016 (kierownik dr Milena Ratajczak-Mrozek). Autor jest członkiem zespołu badawczego.

<sup>2</sup> Na skutek likwidacji istniejących barier handlowych oraz liberalizacji handlu, wprowadzaniu nowych porozumień pomiędzy różnymi państwami czy też przyjmowaniu przez istniejące ugrupowania (jak choćby Unia Europejska) w swoje struktury nowych członków, zwiększa się stopień otwartości warunków gospodarczych dla przedsiębiorstw.

<sup>3</sup> Mechanizmy te możemy określić jako mechanizmy wczesnego ostrzeżenia o istniejącym ryzyku i prawdopodobnych jego konsekwencjach.

<sup>4</sup> Wyróżnia wprawdzie ryzyko powstające w otoczeniu, ale nie dokonuje ścisłego podziału na ryzyko wewnętrzne i zewnętrzne.

<sup>5</sup> Land Rover współpracował ze spółką UPF-Thompson przez 50 lat. Pomimo tego, w momencie, gdy firma KPMG przejęła UPF-Thompson, Land Rover otrzymał natychmiastowe wezwanie do wykupienia długu wynoszącego 49 mln funtów lub też podpisania nowego kontraktu na dostawy części na znacznie mniej korzystnych od dotychczasowych warunkach.

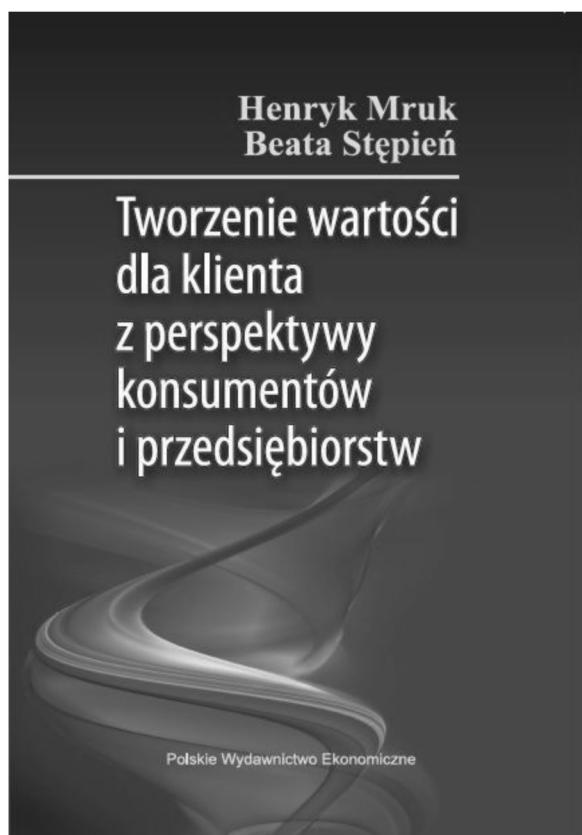
## Literatura

- Brdulak, H. (2007). Zarządzanie ryzykiem a zarządzanie wiedzą w sieci dostaw. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (11), 2–7.
- Giunipero, L.C., Eltantawy, R.A. (2004). Securing the upstream supply chain: a risk management approach. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34 (9), 698–713.
- Harland, C., Powell, P., Caldwell, N., Zheng, J., Woerndl, M., Xu, S. (2003). *Supply network risks arising from e-business: findings from empirical research*. Referat wygłoszony na: 19th IMP conference, Lugano.
- Hoffmann, P., Schiele H., Song, M., Krabbendam, K. (2011). *Supply risk management from a transaction cost and social exchange theory perspective*, Referat wygłoszony na: 27th IMP conference, Glasgow.
- Jakubczyk, J., Pisz, I. (2013). Przykład analizy zagrożeń w funkcjonowaniu łańcucha dostaw. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (4), 23–31.
- Khan, O., Burnes, B. (2007). Risk and supply chain management: creating a research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 18 (2), 197–216.
- Konecka, S. (2007). Ryzyko a relacje w sieciach dostaw. *Logistyka*, (1), 14–17.
- Manuj, I., Mentzer, J.T. (2008). Global supply chain risk management strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38 (3), 192–223.



- Maternowska, M. (2006). Wybrane aspekty zarządzania ryzykiem w łańcuchach dostaw. *Logistyka*, (1), 14–20.
- Nowicka, K. (2011). Współpraca partnerska w łańcuchu dostaw. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (6), 2–8.
- Olson, D.L., Wu, D.D. (2010). A review of enterprise risk management in supply chain. *Kybernetes*, 39 (5), 694–706.
- Punniyamoorthy, M., Thamaraiselvan, N., Manikandan, L. (2013) Assessment of supply chain risk: scale development and validation. *Benchmarking: An International Journal*, 20 (1), 79–106.
- Tummala, R., Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*, 16 (6), 474–483.
- Waters, D. (2011). *Supply chain risk management: vulnerability and resilience in logistics*. London: Kogan Page.
- Welch, L.S. (2004). International entrepreneurship and internationalization: common threads. W: L.P. Dana (eds.), *Handbook of Research on International Entrepreneurship*. Northampton: Edward Elgar.
- Wieteska, G. (2011a). Przeniesienie jako jedna z metod postępowania wobec ryzyka pojawiającego się w relacjach dostawca-odbiorca na rynku przedsiębiorstw. *Logistyka*, (2), 2–6.
- Wieteska, G. (2011b) *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw na rynku B2B*. Warszawa: Difin.
- Wieteska, G. (2011c). Znaczenie działań ograniczających ryzyko w relacjach dostawca-odbiorca na rynku B2B. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (4), 11–18.

## PWE poleca



Książka obejmuje wiedzę o tworzeniu, komunikowaniu i dostarczaniu wartości dla klienta, pokazaną od strony zarówno przedsiębiorstwa, jak i klienta.

Autorzy przedstawili:

- istotę wartości i jej postrzeganie z perspektywy rynku międzynarodowego,
- tworzenie wartości dla klienta z punktu widzenia przedsiębiorstw międzynarodowych,
- wartość i system zarządzania wartością dla klienta w świetle badań,
- opinie konsumentów o działalności marketingowej polskich i międzynarodowych przedsiębiorstw,
- kreowanie i zarządzanie wartością na rynku mebli dla klientów instytucjonalnych,
- wartość dla pacjenta na rynku farmaceutycznym,
- wartość na rynku produktów kosmetycznych,
- wartość na rynku produktów żywnościowych.

[www.pwe.com.pl](http://www.pwe.com.pl)

**nowości**

**zip**

ZARZĄDZANIE  
I INŻYNIERIA  
PRODUKCJI

Ryszard Knosala  
Anna Boratyńska-Sala  
Magdalena Jurczyk-Bunkowska  
Aleksander Moczala

## Zarządzanie innowacjami



Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne

**zip**

ZARZĄDZANIE  
I INŻYNIERIA  
PRODUKCJI

Marek Wirkus  
Henryk Roszkowski  
Ewa Dostatni  
Wacław Gierulski

## Zarządzanie projektem



Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne

Księgarnia internetowa  
**[www.pwe.com.pl](http://www.pwe.com.pl)**

# Zarządzanie samochodowym taborem ciężarowym — metody

## *Freight Fleet Management — the methods*

Niniejszy artykuł jest drugim z cyklu trzech artykułów, jakie autorzy pragną dedykować tematyce zarządzania samochodowym taborem ciężarowym. Artykuł ten prezentuje pięć ilościowych (optymalizacyjnych) metod rozwiązywania wybranych problemów zarządzania taborem wraz z definicjami każdego z owych problemów oraz opisem sposobów rozwiązywania. W artykule zaprezentowano szczegółowo liniowy model matematyczny problemu *Make or Buy*, nieliniowy model problemu liczebności/kompozycji taboru, liniowy model problemu wymiany taboru z dyskontowaniem, liniowy model problemu przydziału kierowców/pojazdów do zadań oraz liniowy, oparty na teorii grafów, model problemu marszrutyzacji (VRP). Niniejszy artykuł będzie kontynuowany w kolejnym, poświęconym kwestii praktycznych przykładów zastosowania zaprezentowanych metod.

### **Słowa kluczowe:**

transport, tabor, *Make or Buy*, liczebność, wymiana.

The paper is the second one from the series of three papers that the authors dedicate to the freight fleet management topic. The paper presents five quantitative (optimization) methods of solving selected fleet management problems. All the selected management problems are carefully defined and dedicated to them solution methods are roughly characterized, as well. Mathematical models of the selected problems are presented in details, including: the linear model of a *Make or Buy* problem, the non-linear model of a fleet sizing/composition problem, the linear model of a replacement problem including discounting aspect, the linear model of an assignment of drivers/vehicles to transportation tasks, and the linear, graph theory based model of a VRP problem. The paper will be continued in a next one dedicated to fleet management case studies.

### **Key words:**

transport, fleet, *Make or Buy*, fleet sizing, replacement.

## Wprowadzenie

Zarządzanie taborem samochodowym, jak wykazali autorzy we wcześniejszym artykule (Redmer, Kiciński i Rybak, 2013), to zagadnienie realizowane na wszystkich poziomach zarządzania (strategicznym, taktycznym i operacyjnym), w wielu obszarach (eksploatacji, użytkowania i obsługiwanego), na wielu stanowiskach menedżerskich (najczęściej specjaliści ds. floty samochodowej, menedżera floty samochodowej, kierownika działu transportu, specjalisty ds. administracji flotą samochodową i wielu innych), a także obejmujące wiele różnorodnych zadań (najczęściej raportowanie i sprawozdawczość, zarządzanie eksploatacją floty samochodowej, kontrolę stanu technicznego pojazdów, rozliczanie szkód komunikacyjnych, optymalizowanie i analizowanie kosztów związanych z taborem i bardzo wiele innych). Stąd też zagadnieniu temu poświęca się bardzo dużo uwagi zarówno w literaturze krajowej, jak i zagranicznej, co również omówiono w artykule (Redmer, Kiciński i Rybak, 2013).

Najogólniej, techniki (metody) zarządzania taborem ciężarowym można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- Intuicyjne (Kacprzak, 2012; Szaban, 2012), niemające podbudowy naukowej/analizacyjnej, w których decyzje podejmowane są pod wpływem emocji decydenta i zależą m.in. od takich czynników, jak: doświadczenie zawodowe, wiek, płeć. W efekcie, często obciążone są dużym ryzykiem.
- Jakościowe („miękkie”, często subiektywne, słabo mierzalne).
- Ilościowe („twarde”, w dużym stopniu obiektywne, bazujące na faktach, danych).

## Przegląd metod zarządzania taborem na przykładzie wybranych problemów

### *Make or Buy* (tabor własny czy obcy?)

Problem *Make or Buy* (MoB) definiowany jest jako: *Ustalenie, czy korzystniejsze jest wykonanie danej rzeczy/czynności wewnątrz firmy, czy jej zakup u zewnętrznego dostawcy. Wymaga to uwzględnienia dwóch rodzajów czynników: jakościowych i ilościowych (koszty; Business dictionary, 2013).*

Metody rozwiązania problemu MoB można podzielić na jakościowe (Dębińska-Cyran i Gubała, 2005; Min, 1998; Trocki, 2001; Twaróg, 2004) i ilościowe (Dębińska-Cyran i Gubała, 2005; Hines, 2004; Jacobs i Chase, 2010; Romanow, 2003). Obie grupy metod bazują na tych samych podstawach, tj. oszacowaniu i porównaniu jakości (mierzonej punktowo) lub kosztów całkowitych pełnej realizacji zapotrzebowania na dane działanie (np. przewozy), w ramach opcji *make* i opcji *buy* w założonym okresie (najczęściej jednego roku).

Takie podejście prowadzi jednak do rozwiązań skrajnych, to znaczy albo opcji *make*, albo opcji *buy*. By możliwe było znalezienie rozwiązania pośredniego, tj. łączącego opcje *make* i *buy*, konieczne jest uwzględnienie sezonowości popytu na przewozy i/lub różnych typów owego popytu (tj. różnych rodzajów przewozów i tym samym różnych grup pojazdów obsługujących owe przewozy, np. pojazdy małe, średnie, duże, pojazdy uniwersalne i specjalizowane, transport krajowy i międzynarodowy).

$$K_C(\%P_W^{MAX}) = \sum_{i=1}^I \left[ \text{Min}\{P^{MAX} \cdot \%P_W^{MAX}, P_i\} \cdot k_W^w + \left[ \frac{\text{Min}\{P^{MAX} \cdot \%P_W^{MAX}, P_i\}}{W_w} \right] \cdot k_W^d + \right. \\ \left. + \text{Min}\{P_i - P^{MAX} \cdot \%P_W^{MAX}, 0\} \cdot k_O \right]$$

gdzie:

$K_C(\%P_W^{MAX})$  — koszty całkowite zaspokojenia potrzeb przewozowych przedsiębiorstwa w okresie analizy *I* dla danej wartości  $\%P_W^{MAX}$  [PLN/... np. rok],

$P_i$  — wielkość potrzeb przewozowych (popytu) występująca w *i*-tym podokresie okresu analizy *I*;  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  [km, t, tkm, palety, m<sup>3</sup>, litry, kursy, .../... np. miesiąc],

$P^{MAX}$  — maksymalna wielkość potrzeb przewozowych (popytu) występująca w okresie analizy *I*;  $P^{MAX} = \text{Max}\{P_i\}$  [km, t, tkm, palety, m<sup>3</sup>, litry, kursy, .../... np. miesiąc],

$\%P_W^{MAX}$  — odsetek maksymalnych potrzeb przewozowych realizowany taborem „własnym” przedsiębiorstwa (opcja MAKE) — ZMIENNA DECYZYJNA [%],

$W_w$  — przeciętna wydajność rzeczywista taboru „własnego”, jednego pojazdu, wyrażona w tych samych jednostkach miary co wielkość potrzeb przewozowych (opcja MAKE) [km, t, tkm, palet, m<sup>3</sup>, litr, kurs, .../... np. miesiąc],

$k_W^w$  — koszty jednostkowe wykorzystania (zmiennie) taboru „własnego” (opcja MAKE) [PLN/km, t, tkm, paletę, m<sup>3</sup>, litr, kurs, ...],

$k_W^d$  — koszty pełnej dostępności (stałe) taboru „własnego”, jednego pojazdu, w całym okresie analizy *I* (opcja MAKE) [PLN/... np. rok],

$k_O$  — koszty jednostkowe zakupu usługi transportowej na rynku, realizacji potrzeb przewozowych taborem obcym (opcja BUY) [PLN/km, t, tkm, paletę, m<sup>3</sup>, litr, kurs, ...],

[...] — symbol zaokrąglenia w górę do najbliższej liczby całkowitej,

$\text{Min}\{\dots\}$  — minimalna wartość elementów zbioru wymienionych po przecinkach.

## Liczebność/kompozycja taboru

Problem liczebności taboru definiowany jest jako: *Ustalenie, z jak wielu pojazdów powinien składać się tabor przedsiębiorstwa, by mogło ono sprostać zmieniającemu się obciążeniu pracami przewozowymi* (Gould, 1969). Przy czym, w przypadku kompozycji taboru konieczne jest również wskazanie typów pojazdów mających znaleźć się w taborze (Etezadi i Beasley, 1983).

W ramach opcji *make* powinno się uwzględniać koszty dostępności i wykorzystania niezbędnych zasobów (w tym taboru). Koszty dostępności zasobów obejmują: amortyzację (ekonomiczną), cenę zaangażowanego kapitału, wynagrodzenia kierowców, ubezpieczenia, opłaty i inne koszty „stałe”. Koszty wykorzystania zasobów obejmują: paliwo, pozostałe materiały eksploatacyjne, ogumienie, przeglądy, remonty i konserwacje oraz inne koszty „zmienne”. W części zmiennej kosztów opcji *make*, oraz w ramach kosztów opcji *buy* obliczenia powinny uwzględniać zmienność w czasie obciążeń transportowych, czyli liczby przewozów wykonanych w ramach każdej z opcji w poszczególnych podokresach analizy.

W efekcie ogólny wzór na oszacowanie całkowitych kosztów realizacji przewozów w okresie analizy *I* (złożonym z podokresów *i*, np. miesięcy  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ ), przy założonym odsetku potrzeb przewozowych realizowanych we własnym zakresie  $\%P_W^{MAX}$  można przedstawić następująco (Redmer, 2014):

Istnieje bardzo wiele metod rozwiązania problemu liczebności/kompozycji taboru bazujących na bardzo różnych technikach optymalizacji. Można zatem wyróżnić metody oparte o: programowanie liniowe (przykładowo jedna z pierwszych historycznie metod ustalania liczebności taboru zaproponowana przez G. Dantzigą i R. Fulkersona w 1954 roku); programowanie nieliniowe (Hall, Sriskandarajah i Genesharajah, 2001); programowanie dynamiczne (Fa-

gerholt, 1999); teorię kolejek (Parikh, 1977; Żak, Sawicki i Redmer, 1999); symulację (Koo, Jang i Suh, 2005; Petering, 2011); modele sieciowe (Beaujon i Turnquist, 1991; Wu, Hartman i Wilson, 2005), czy zarządzanie zapasami (Du i Hall, 1997). Osobną i bardzo liczną grupę metod stanowią metody łączące problem liczebności/kompozycji taboru z problemem jego marszrutyzacji (ang. *Vehicle Routing Problem* — VRP), sprowadzające tym samym analizy do poziomu taktyczno-operacyjnego. Są to najczęściej metody przybliżone, heurystyczne (Ball, Golden Assad i Bodin, 1983; Golden, Assad, Levy i Gheysens, 1984; Renaud i Boctor, 2002) lub metaheurystyczne (Yepes i Medina, 2006; Osman i Salhi, 1996; Gendreau, Laporte, Musaraganyi i Taillard, 1999).

W większości przypadków metody ustalania liczebności/kompozycji taboru bazują na dopasowaniu podaży do popytu, gdzie podaż definiowana jest liczbą i wydajnością pojazdów w taborze. W przypadku kompozycji taboru często z uwzględnieniem poszczególnych typów pojazdów i obsługiwanych przez nie rodzajów przewozów (typów popytu). Celem takiego dopasowania jest najczęściej obsłużenie całego popytu przy minimalnych kosztach lub maksymalnym stopniu wykorzystania taboru.

W efekcie ogólny wzór na oszacowanie takiej liczby pojazdów poszczególnych typów  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ ), która maksymalizuje ich wykorzystanie oraz pozwala na pełne zaspokojenie popytu (podzielonego na  $I$  typów;  $i = 1, 2, 3, \dots, I$ ), można przedstawić następująco:

$$K_p(l_j) = \sum_{i=1}^I \left[ \text{Min} \left\{ 1, \frac{P_i}{\sum_{j=1}^J \left( W_j \cdot l_j \cdot zW_{ij} \cdot \frac{P_i}{\sum_{i=1}^I (P_i \cdot zW_{ij})} \right)} \right\} \cdot \frac{P_i}{\sum_{i=1}^I P_i} \right]$$

przy ograniczeniu:

$$\sum_{j=1}^J (W_j \cdot l_j) \geq \sum_{i=1}^I P_i$$

gdzie:

- $K_p(l_j)$  — stopień wykorzystania rzeczywistej wydajności taboru złożonego z pojazdów typu  $j$  w liczbie  $l_j$  [-],
- $l_j$  — liczba pojazdów typu  $j$  w taborze — ZMIENNA DECYZYJNA [-],
- $P_i$  — wielkość potrzeb przewozowych (popytu) typu  $i$  w przyjętym okresie analizy;  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  [km, t, tkm, palety, m<sup>3</sup>, litry, kursy, .../... np. rok],
- $W_j$  — przeciętna wydajność rzeczywista jednego pojazdu typu  $j$  w przyjętym okresie analizy, wyrażona w tych samych jednostkach miary co wielkość potrzeb przewozowych [km, t, tkm, paletę, m<sup>3</sup>, litr, kurs, .../... np. rok],
- $zW_{ij}$  — zakres wydajności pojazdu typu  $j$  określający jego możliwości przewozowe w odniesieniu do poszczególnych rodzajów popytu  $i$ ;  $zW_{ij} \in \{0, 1\}$  — wartość binarna lub  $zW_{ij} \in \langle 0, 1 \rangle$  [-],
- $\text{Min}\{\dots\}$  — minimalna wartość elementów zbioru wymienionych po przecinkach.

## Wymiana taboru

Problem wymiany taboru definiowany jest jako: *Ustalenie optymalnego okresu eksploatacji lub optymalnego poziomu skumulowanej/sumarycznej pracy wykonanej przez pojazd(y) do momentu wymiany*. Wymiana jest zatem jednym z dwóch sposobów przywracania pojazdom ich własności użytkowych, przywracania określonego stanu technicznego, drugim

sposobem jest naprawa, w tym naprawa główna (Jardine, 1973).

Metody rozwiązania problemu wymiany taboru można podzielić na prewencyjne (Glasser, 1969) i w momencie wystąpienia uszkodzenia (Eilon, King i Hutchinson, 1966). Przy czym w przypadku metod prewencyjnych konieczne jest ustalenie momentu wymiany. Tu z kolei można wyróżnić również dwie grupy metod, tj. metody wymiany zależnej od wieku

(Glasser, 1969) oraz wymiany grupowej (Nakagawa, 1984). W odniesieniu do pojazdów samochodowych, w tym ciężarowych, stosuje się metody wymiany przewencyjnej zależnej od wieku, który może być wyznaczany również skumulowaną ilością wykonanej przez pojazd(y) pracy, np. liczbą kilometrów.

Niezależnie od tego, czy zmienną jest wiek (okres eksploatacji), czy przebieg pojazdów, w większości metod planowania wymiany taboru podstawowym celem owego planowania pozostaje minimalizacja, najczęściej zdyskontowanych, kosztów eksploatacji. Porównuje się (poszukuje mini-

mum sumy) dwie krzywe opisujące przebieg, malejących wraz z czasem eksploatacji, kosztów dostępności (często tylko amortyzacji) i kosztów wykorzystania pojazdów (Britten 1971; Christer i Goodbody, 1980). Ważne jest jednak, by w przypadku pojazdów ciężarowych analizować jednostkowe (na kilometr), nie zaś okresowe (roczne) koszty eksploatacji (Redmer, 2009).

W efekcie, ogólny wzór na oszacowanie jednostkowych, zdyskontowanych kosztów eksploatacji pojazdu w zależności od długości okresu eksploatacji ( $t_p$ ) można przedstawić następująco:

$$K_J(t_p) = \frac{\sum_{i=1}^I \frac{P_i - WKB \cdot SA_i \cdot SP + KE_{S_i}(t) + KE_{Z_i}(t) \cdot IU_i(t) + PP_i(t=t_p) - S_i(t=t_p)}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^I IU_i(t)}$$

gdzie:

- $K_J(t_p)$  — zdyskontowane koszty jednostkowe eksploatacji pojazdu wymienianego w wieku  $t_p$  [PLN/km],  
 $i$  — okres analizy (np. miesiąc, rok);  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  [jednostka czasu — j.c. ],  
 $t$  — bieżący wiek pojazdu;  $t \in \langle \text{wiek początkowy pojazdu}, t_p \rangle$  [j.c. ],  
 $t_p$  — wiek pojazdu w chwili wymiany — ZMIENNA DECYZYJNA [j.c. ],  
 $P_i$  — całkowite koszty pozyskania pojazdu ponoszone w kolejnych okresach analizy  $i$ , np. raty leasingowe [PLN/j.c. ],  
 $PP_i(t=t_p)$  — pozostałe koszty pozyskania pojazdu w wieku  $t = t_p$ , ponoszone w ostatnim okresie jego eksploatacji  $i$ , w chwili wymiany [PLN] — koszty takie wystąpią, np. gdy okres eksploatacji będzie krótszy, niż okres spłat zobowiązań finansowych związanych z pozyskaniem pojazdu,  
 $WKB$  — wartość księgową brutto pojazdu (cena zakupu netto) [PLN], stanowiąca podstawę naliczania odpisów amortyzacyjnych,  
 $SA_i$  — stopa amortyzacji pojazdu w kolejnych okresach analizy  $i$  [-/j.c. ],  
 $SP$  — stopa podatkowa obowiązująca dane przedsiębiorstwo [-],  
 $KE_{S_i}(t)$  — koszty stałe eksploatacji pojazdu w wieku  $t$  ponoszone w kolejnych okresach analizy  $i$  [PLN/j.c. ], obejmujące np. następujące składniki:
  - podatek drogowy,
  - ubezpieczenia (OC, AC, NNW i inne),
  - opłaty środowiskowe,
  - stałe zezwolenia i licencje (np. opłacane w układzie półrocznym, rocznym lub dwuletnim — karnety TIR, winiety, zezwolenia na wjazd do wybranych państw, licencje na przewozy międzynarodowe, certyfikaty określające klasę ekologii pojazdu itp.), $KE_{Z_i}(t)$  — jednostkowe koszty zmienne eksploatacji pojazdu w wieku  $t$  ponoszone w kolejnych okresach analizy  $i$  [PLN/km], obejmujące np. następujące składniki:
  - paliwo i inne materiały eksploatacyjne,
  - prace obsługowo-naprawcze (w tym: zakup części zamiennych i innych materiałów wykorzystywanych w procesie obsługowo-naprawczym oraz robocizna związana z realizacją tych procesów),
  - ogumienie,
  - zezwolenia jednorazowe (np. na realizację danego przewozu — karnety TIR, winiety, zezwolenia na wjazd do danego kraju, odprawy celne, opłaty graniczne, opłaty spedycyjne),
  - parkingi,
  - telefony wykonane przez kierowców,
  - opłaty za przejazd daną drogą (np. opłaty autostradowe), $IU_i(t)$  — intensywność użytkowania (przebieg) pojazdu w wieku  $t$  w kolejnych okresach analizy  $i$  [km/j.c. ],  
 $S_i(t=t_p)$  — wartość rynkowa (sprzedaży) lub złomowa netto pojazdu w wieku  $t = t_p$ , odzyskiwana w ostatnim okresie jego eksploatacji  $i$ , w chwili wymiany [PLN],  
 $r$  — stopa procentowa — cena kapitału [-/j.c. ].

## Przydział pojazdów/kierowców do zadań

Problem przydziału do zadań (ang. *Assignment Problem* — AP) definiowany jest jako: *Ustalenie optymalnego przypisania skończonej liczby posiadanych zasobów do realizacji skończonej liczby celów (zadań), czyli w skrócie optymalnej alokacji zasobów* (Burkard, Dell'Amico i Martello, 2009; Hillier i Lieberman, 2010; Sikora, 2008). Zagadnienie przydziału może być rozwiązywane zarówno w odniesieniu do kierowców, czy też innych pracowników przedsiębiorstwa, jak również pojazdów samochodowych (ang. *Fleet Assignment Problem* — FAP; T'kindt i Billaut, 2006), np. przydzielanych do realizacji określonych zadań przewozowych, czy też obsługowych (w tym przypadku wykonywanych na nich; Zwierzchowski, Zak i Kiciński, 2003).

Problem przydziału należy do grupy problemów kombinatorycznych. Zasadniczo sformułowania matematyczne problemu przydziału podzielić można na trzy grupy (Burkard, Dell'Amico i Martello, 2009; Cela 1998): liniowe (ang. *Linear Assignment Problem* — LAP), kwadratowe (ang. *Quadratic Assignment Problem* — QAP) oraz wieloindeksowe (ang. *Multi-index Assignment Problem* — MAP). Problemy liniowe mogą być rozwiązywane z wykorzystaniem tzw. algorytmu węgierskiego (Burkard, Dell'Amico i Martello, 2009) lub jego rozwinięcia (Pilot i Pilot, 1999). W przypadku dużej złożoności obliczeniowej wskazane jest wykorzystanie metod przybliżonych. Przykładem mogą tu być algorytmy genetyczne (Milosavljevic, Teodorovic, Papić i Pavkovic, 1996) oraz zbiory rozmyte (Vukadinovic, Teodorovic i Pavkovic, 1999). W literaturze spotkać można sformułowania problemu przydziału służące np. do ustalania liczebności pracowników w przedsiębiorstwie transportowym (Żak, Redmer i Sawicki, 2001), bądź też planowania tras przewozu (ang. *Vehicle Routing Problem* — VRP) wraz z harmonogramowaniem pracy pojazdów (ang. *Vehicle/Fleet Scheduling Problem* — V/FSP) (Bodin, Golden, Assad i Ball, 1983; Yang, Jaillet i Mahmassani, 1999).

W większości przypadków metody przydziału bazują na określonym, z punktu widzenia przyjętego kryterium, dopasowaniu zasobów pojazdów/kierowców do z góry zdefiniowanych zadań. W przypadku pojazdów brane są pod uwagę ich parametry techniczne (np. ładowność). Jeśli chodzi natomiast o kierowców, to często uwzględnia się kwalifikacje, wymagane okresy przerwy w pracy, urlopy. Celem dopasowania jest najczęściej taki przydział pojazdów/kierowców, by zrealizować wszystkie zadania przy minimalnych kosztach.

W efekcie ogólny model matematyczny przydziału pojazdów/kierowców  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) do zadań  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) można przedstawić następująco (Hillier i Lieberman, 2010):

$$K_C(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \text{ dla } j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \text{ dla } i = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \forall \{i, j\} : i \neq j$$

gdzie:

$K_C(x_{ij})$  — „koszty” całkowite przydziału pojazdów/kierowców do zadań [np. PLN, godzina, ...],

$x_{ij}$  — wielkość określająca przydział  $i$ -tego pojazdu/kierowcy do  $j$ -tego zadania, przy czym  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  — ZMIENNA DECYZYJNA [–],

$c_{ij}$  — „koszt” przydziału  $i$ -tego pojazdu/kierowcy do realizacji  $j$ -tego zadania. [np. PLN, godzina, ...].

## Planowanie tras pojazdów

Problem planowania tras — marszrutyzacji (ang. *Vehicle Routing Problem* — VRP), będący rozwinięciem klasycznego problemu komiwojażera (ang. *Traveling Salesman Problem* — TSP), definiowany jest jako: *Ustalenie optymalnego układu tras przejazdu (punktów na trasach) taboru o określonej liczebności w celu obsłużenia określonej grupy klientów* (Barnhart i Laporte, 2007; Golden, 1975; Kara i Bektas, 2003; Laporte, 1992; Toth i Vigo, 2002). Najczęściej za kryterium optymalizacji przyjmuje się minimalizację całkowitej transportochłonności, która może być wyrażana np.: odległościowo, cenowo (kosztowo) lub czasowo (Caric i Gold, 2008).

Od 1959 roku, kiedy to G. Dantzig i R. Ramster sformułowali matematycznie problem w odniesieniu do floty przewożącej paliwa płynne z terminala (bazy) do stacji paliw, powstało wiele odmian modelu VRP uwzględniających szereg jego specyficznych ograniczeń (cech), np. (Golden, Raghavan i Vasil, 2008; Ropke i Pisinger, 2005): pojemność środków transportu (ang. *Capacitated Vehicle Routing Problem* — CVRP), możliwość obsługi jednego klienta przez kilka pojazdów (ang. *Split Delivery VRP*), możliwość zwrotów i wysyłki towarów przez klientów (ang. *VRP with Backhauls* oraz *VRP with Pick-Up and Delivering* — problem rozwózkowo-zwózkowy), okna czasowe odbioru/dostawy towaru (ang. *Vehicle Routing Problem with Time Windows* — VRPTW),

czy też wiele punktów nadania, magazynów (ang. *Multi Depot Vehicle Routing Problem* — MDVRP).

Problem marszrutyzacji zaliczany jest do problemów NP-trudnych optymalizacji kombinatorycznej (ang. *NP-hard problems*). Metody rozwiązania tego problemu podzielić można na dwie zasadnicze grupy: metody dokładne, pozwalające uzyskać rozwiązania optymalne, oraz metody przybliżone. Do pierwszej grupy zalicza się: uniwersalny algorytm podziału i ograniczeń (ang. *Branch and Bound* — B&B), wykorzystany przez M.L. Fishera (Fisher, 1994) oraz podziału i cięcia (ang. *Branch and Cut*), zaimplementowany przez R. Fukasawę i in. (Fukasawa i in., 2004) do problemu CVRP. Z uwagi na złożoność obliczeniową problemów planowania tras metody dokładne stosowane są do problemów o mniejszej instancji, liczbie punktów dostawy (klientów). Stąd też znacznie większe znaczenie mają w tej chwili metody przybliżone, które w stosunkowo krótkim czasie pozwalają uzyskać wyniki bliskie rozwiązaniom optymalnym. Do metod przybliżonych zaliczyć można algorytmy dwufazowe (ang. *2-Phase Algorithm*), np.: algorytm M.L. Fishera i R. Jaikumara (Fisher i Jaikumar, 1981), algorytm E.D. Taillarda (Taillard, 1993), czy też algorytm PETAL (Ryan, Hjorring i Glover, 1993). Osobną grupę metod przybliżonych stanowią heurystyki, np.: algorytm oszczędny G. Clarke'a i J. W. Wrighta (Clarke i Wright, 1964; ang. *Savings Algorithm*) oraz jego modyfikacje (Altingkemer i Gavish, 1991; Desrochers i Verhoog, 1989; np. ang. *Matching Based Savings Algorithm*), jak również algorytm poprawy wielu tras (Thomson i Psaraftis, 1993; ang. *Multi-Route Improvement Algorithm*). Szeroką grupę stanowią podejścia z wykorzystaniem metaheurystyk, np. algorytm ANT (Bullnheimer, Hartl i Strauss, 1997), algorytmów genetycznych/ewolucyjnych (ang. *Genetic/Evolutionary Algorithms*; Alba i Dorronsoro, 2004; Berger i Barkaoui, 2003), przeszukiwania tabu (ang. *Tabu Search*; Cordeau, Laporte i Mercier, 2001; Rego, 2001), czy też symulowanego wyżarzania (ang. *Simulated Annealing*; Czarnas, Czech i Gocyla, 2004).

W większości przypadków metody marszrutyzacji bazują na dopasowaniu tras przejazdów (najczęściej taboru homogenicznego, choć niekoniecznie), do lokalizacji klientów. Często z uwzględnieniem szeregu ograniczeń, jak wielkość (ładowność, pojemność) pojazdów (w przypadku taboru niehomogenicznego), jak również wymagane godziny realizacji dostaw, czy też odbioru ładunków do/od klientów (ang. *Time Windows*). Celem takiego dopasowania jest w wielu przypadkach obsłużenie całego popytu (wszystkich klientów) przy minimalnych kosztach lub maksymalnym stopniu wykorzystania taboru.

Jeżeli przyjąć, że graf,  $G = (V, E)$ , gdzie  $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$  jest zbiorem wierzchołków reprezentujących lokalizacje poszczególnych klientów  $i \in V \setminus \{0\}$  o popycie  $q_i$  i bazy ( $V = 0$ ) oraz, że dla każdej krawędzi

(drogi)  $e \in E = \{(i, j); i, j \in V, i < j\}$  można zdefiniować koszty  $c_{ij}$  lub  $c_e$ , to dla jednorodnej floty  $m$  pojazdów o ładowności (pojemności) pojedynczego pojazdu  $Q$ , typową postacią matematyczną problemu VRP można zapisać następująco (Laporte, Nobert i Desrochers, 1985):

$$K_C(x_e) = \sum_{e \in E} c_e \cdot x_e$$

przy ograniczeniach:

$$\begin{aligned} \sum_{e \in \partial(i)} x_e &= 2, \quad i \in V \setminus \{0\}, \\ \sum_{e \in \partial(0)} x_e &= 2m, \\ \sum_{e \in \partial(S)} x_e &\geq 2r(S), \quad S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset \end{aligned}$$

gdzie:

$K_C(x_e)$  — „koszty” całkowite realizacji optymalnego układu tras przejazdu homogenicznego taboru złożonego z  $m$  pojazdów [np. PLN, godzina, km, ...],

$x_e$  — wielkość określająca, czy dana droga  $e$  należy do trasy (wartość 1, w przypadku tras jednopunktowych — jeden klient na trasie lub 2 w przypadku tras wielopunktowych — dwóch lub więcej klientów na trasie), czy też nie (wartość 0), przy czym  $x_e \in \{0, 1\}$  dla  $e \notin \partial(0)$  oraz  $x_e \in \{0, 1, 2\}$  dla  $e \in \partial(0)$  — ZMIENNA DECYZYJNA [-],

$c_e$  — „koszt” przejazdu drogą  $e$  pomiędzy punktami (klientami)  $i$  a  $j$  [zł, km, godziny, ...],

$m$  — liczba pojazdów (tras) [-],

$r(S)$  — minimalna liczba pojazdów potrzebna do obsługi podzbioru klientów  $S$  [-]. Wielkość ta może zostać określona np. przy skojarzeniu zagadnienia z problemem pakowania (ang. *Bin Packing Problem* — BPP), gdzie zgłaszane przez  $S$  klientów sumaryczne zapotrzebowanie nie może przekraczać ładowności (pojemności)  $Q$ , przy czym  $S \subset V, \partial(S) = \{(i, j) : i \in S, j \notin S \cup i \notin S, j \in S\}$ , co można zapisać  $\partial(i)$ . W przybliżeniu  $r(S)$  można wyznaczyć z zależności:

$$r(S) = \left\lceil \frac{\sum_{i \in S} q_i}{Q} \right\rceil$$

gdzie:

$q_i$  — wielkość popytu klienta (w lokalizacji)  $i$  [np. tony, szt., m<sup>3</sup>, palety],

$Q$  — ładowność (pojemność) pojedynczego pojazdu [np. tony, szt., m<sup>3</sup>, palety].



## Podsumowanie

Jak pokazano, metod zarządzania ciężarowym taborem samochodowym jest bardzo wiele i są one bardzo różnorodne. W artykule skupiono się na metodach ilościowych oraz wybranych przykładach problemów zarządzania taborem, do których mają one zastosowanie. Przywołane metody pokazano w wersjach podstawowych, bardzo uproszczonych, jednak odnoszących się *stricte* do istoty poszczególnych problemów. Trzeba jednak podkreślić, że praktyczne zastosowanie dowolnej z pokazanych metod wymaga

szeregu dostosowań do konkretnych warunków, konkretnego przypadku. Przykładem takiego dostosowania i w efekcie praktycznego zastosowania wybranych, ilościowych metod zarządzania taborem ciężarowym poświęcony będzie kolejny, trzeci i ostatni, artykuł autorów („Zarządzanie samochodowym taborem ciężarowym — przykłady”), stanowiący kontynuację artykułu niniejszego oraz wcześniejszego („Zarządzanie samochodowym taborem ciężarowym — istota i zakres”, który ukazał się w czasopiśmie *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* 2013, nr 7, s. 13–20).

## Literatura

- Alba, E., Dorronsoro, B. (2004). *Solving the Vehicle Routing Problem by Using Cellular Genetic Algorithms*. Referat wygłoszony na: Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (EvoCOP'04, LNCS 3004. Portugalia: Springer-Verlag, 11–20).
- Altinkemer, K., Gavish, B. (1991). Parallel Savings Based Heuristic for the Delivery Problem. *Operations Research*, (39), 456–469.
- Ball, M.O., Golden, B.L., Assad, A.A., Bodin, L.D. (1983). Planning for truck fleet size in the presence of common-carrier option. *Decision Science*, (14), 103–120.
- Barnhart, C., Laporte, G. (red.). (2007). *Handbook in Operation Research and Management Science* (14). Elsevier.
- Beaujon, G.J., Turnquist, M.J. (1991). A model for fleet sizing and vehicle allocation. *Transportation Science*, (25) (1), 19–45.
- Berger, J., Barkaoui, M. (2003). A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem. W: E. Cantú-Paz (red.), *GECCO-03. LNCS 2723* (646–656). Chicago: Springer-Verlag.
- Bodin, L.D., Golden, B.L., Assad, A.A., Ball, M. (1983). Routing and Scheduling of Vehicle and Crews, the State of the Art. *Computers and Operations Research*, (10), 69–211.
- Britten, A.A. (1971). *Decision making in vehicle management*. United Kingdom: Local Government Operational Research Unit of the Royal Institute of Public Administration (Raport nr S. 15).
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F., Strauss, C. (1997). *Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem*. Referat wygłoszony na: 2nd International Conference on Metaheuristics, Sophia-Antipolis.
- Burkard, R., Dell'Amico, M., Martello, S. (2009). *Assignment problems*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Caric, T., Gold, H. (2008). *Vehicle routing problem*. Vienna: In-Teh, Croatian branch of I-Tech Education and Publishing KG.
- Cela, E. (1998). *The Quadratic Assignment Problem. Theory and Algorithms*. Dordrecht: Springer Science and Business Media.
- Christ, A.H., Goodbody, W. (1980). Equipment replacement in an unsteady economy. *Journal of the Operational Research Society*, 31 (6), 497–506.
- Clarke, G., Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12 (4), 568–581.
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, (52), 928–936.
- Czarnas, P., Czech, Z.J., Gocyla, P. (2004). Parallel Simulated Annealing for Bicriterion Optimization Problems. W: R. Wyrzykowski, J. Dongarra, M. Paprzycki, J. Waśniewski (red.), *Parallel Processing and Applied Mathematics LNCS 3019* (233–240). Springer-Verlags.
- Dantzig, G., Fulkerson, R. (1954). Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule. *Naval Research Logistics Quarterly*, (1), 217–222.
- Desrochers, M., Verhoog, T.W. (1989). *A Matching Based Savings Algorithm for the Vehicle Routing Problem*. Montréal: École des Hautes Études Commerciales de Montréal (Les Cahiers du GERAD G-89-04).
- Dębińska-Cyran, I. Gubała, M. (2005). *Podstawy zarządzania transportem w przykładach*. Poznań: Wydawnictwo ILiM.
- Du, Y., Hall, R. (1997). Fleet sizing and empty equipment redistribution for center-terminal transportation networks. *Management Science*, 43 (2), 145–157.
- Eilon, S., King, J.R., Hutchinson, D.E. (1966). A study in equipment replacement. *Operational Research Quarterly*, 17 (1), 59–71.
- Etezadi, T., Beasley, J.E. (1983). Vehicle fleet composition. *Journal of Operational Research Society*, (34), 87–91.
- Fagerholt, K. (1999). Optimal fleet design in a ship routing problem. *International Transactions in Operational Research*, (6), 453–464.
- Fisher, M.L. (1994). Optimal Solution of Vehicle Routing Problems Using Minimum K-trees. *Operations Research*, (42), 626–642.
- Fisher, M.L., Jaikumar, R. (1981). A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing. *Networks*, (11), 109–124.
- Fukasawa, R., Lygaard, J., de Aragao, M.P., Reis, M., Uchoa, E., Werneck, R.F. (2004). Robust Branch-and-Cut-and-Price for the Capacitated Vehicle Routing Problem. W: D. Bienstock, G. Nemhauser (red.): *IPCO 2004, LNCS 3064* (1–15). Springer-Verlag.
- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, Ch., Taillard, E.D. (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, (26), 1153–1173.
- Glasser, G.J. (1969). Planned replacement: Some theory and its application. *Journal of Quality Technology*, 1 (2), 110–119.
- Golden, B., Raghavan, S., Wasil E. (red.). (2008). *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*. New York: Springer Science and Business Media.
- Golden, B., Assad, A.A., Levy, L., Gheysens, F.J. (1984). The fleet size and mix vehicle routing problem. *Computers Operations Research*, (11), 49–65.
- Golden, B.L. (1975). *Vehicle routing problems: formulations and heuristic solution techniques*. Massachusetts: Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology (Raport nr 113).
- Gould, J. (1969). The size and composition of a road transport fleet. *Operational Research Quarterly*, (20), 81–92.
- Hall, N.G., Sriskandarajah, C., Genesharajah, T. (2001). Operational decisions in AGV-served flowshop loops: fleet sizing and decomposition. *Annals of Operations Research*, 107 (1–4), 189–209.

- Hillier, F., Lieberman, G. (2010). *Introduction to operations research*. New York: McGraw-Hill.
- Hines, T. (2004). *Supply Chain Strategies*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Jacobs, F.R., Chase, R.B. (2010). *Operations and Supply Management. The Core*. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Jardine, A.K.S. (1973). *Maintenance, replacement and reliability*. London: Pitman Publishing.
- Kacprzak, M. (2012). Wpływ wybranych czynników na wykorzystanie intuicji w procesie decyzyjnym. W: A. Grzegorzczak (red.), *Procesy decyzyjne w warunkach niepewności* (49–65). Warszawa: Wyższa Szkoła Promocji.
- Kara, I., Bektaş, T. (2003). *Integer linear programming formulation of the generalized vehicle routing problem*. Referat wygłoszony na: 5th EURO/INFORMS Joint International Meeting. Istanbul.
- Koo, P.-H., Jang, J., Suh, J. (2005). Estimation of part waiting time and fleet sizing in AGV systems. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16 (3), 211–228.
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, (59), 345–358.
- Laporte, G., Nobert, Y., Desrochers, M. (1985). Optimal routing under capacity and distance restrictions. *Operations Research*, (33), 1050–1073.
- Milosavljevic, N., Teodorovic, D., Papic, V., Pavkovic, G. (1996). A Fuzzy Approach to the Vehicle Assignment Problem. *Transportation Planning and Technology*, 20 (1), 33–47.
- Min, H. (1998). A personal-computer assisted decision support system for private versus common carrier selection. *Transportation Research Part E*, 34 (3), 229–241.
- Nakagawa, T. (1984). A summary of discrete replacement policies. *European Journal of Operational Research*, (17), 382–392.
- Osman, I., Salhi, S. (1996). Local search strategies for the vehicle fleet mix problem. W: V.J. Rayward-Smith, I.H. Osman, C.R. Reeves, G.D. Smith (red.), *Modern Heuristic Search Methods*. (131–153), New York: Wiley.
- Parikh, S.C. (1977). On a fleet sizing and allocation problem. *Management Science*, 23 (9), 972–977.
- Petering, M.E.H. (2011). Decision support for yard capacity, fleet composition, truck substitutability, and scalability issues at seaport container terminals. *Transportation Research Part E*, (47), 85–103.
- Pilot, C., Pilot, S. (1999). A model for allocated versus actual costs in assignment and transportation problems. *European Journal of Operational Research*, 112 (3), 570–581.
- Redmer, A. (2009). Optimisation of the exploitation period of individual vehicles in freight transportation companies. *Transportation Research Part E*, 45 (6), 978–987 (DOI number: 10.1016/j. tre. 2009.04.015).
- Redmer, A. (w druku). *Zarządzanie strategiczne taborem samochodowym — tabor własny czy obcy?* LogForum.
- Redmer, A., Kiciński, M., Rybak, R. (2013). Zarządzanie samochodowym taborem ciężarowym — istota i zakres. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, 7, 13–20.
- Rego, C. (2001). Node Ejection Chains for the Vehicle Routing Problem: Sequential and Parallel Algorithms. *Parallel-Computing*, (27), 201–222.
- Renaud, J., Boctor, F.F. (2002). A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, (140), 618–628.
- Romanow, P. (2003). *Zarządzanie transportem przedsiębiorstw przemysłowych*. Poznań: Wydawnictwo WSL.
- Ropke, S., Pisinger, D. (2005). *A general heuristics for vehicle routing problems*. Copenhagen: Department of Computer Science, University of Copenhagen.
- Ryan, D.M., Hjorring, C., Glover, F. (1993). Extensions of the Petal Method for Vehicle Routing. *Journal of the Operational Research Society*, (44), 289–296.
- Sikora, S. (red.). (2008). *Badania operacyjne*. Warszawa: PWE.
- Szaban, J.M. (2012). Problemy współczesnego zarządzania. *Współczesne Zarządzanie*, (4), 11–20.
- T'kindt, V., Billaut, J.-C. (2006). *Multicriteria Scheduling. Theory, Models and Algorithms*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Taillard, É.D. (1993). *Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems*. Networks, (23), 661–673.
- Thompson, P.M., Psaraftis, H.N. (1993). Cyclic Transfer Algorithms for the Multivehicle Routing and Scheduling Problems. *Operations Research*, (41), 935–946.
- Toth, P., Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Trocki, M. (2001). *Outsourcing*. Warszawa: PWE.
- Twaróg, J. (2004). Logistyczne wskaźniki oceny transportu w przedsiębiorstwie produkcyjnym. *Logistyka*, (2), 27–30.
- Vukadinovic, K., Teodorovic, D., Pavkovic, G. (1999). An Application of Neurofuzzy Modeling: The Vehicle Assignment Problem. *European Journal of Operational Research*, 114 (3), 474–488.
- Wu, P., Hartmann, J.C., Wilson, G.R. (2005). An integrated model and solution approach for fleet sizing with heterogeneous assets. *Transportation Science*, (39), 87–103.
- Yang, J., Jaillet, P., Mahmassani, H.S. (1999). On-Line Algorithms for Truck Fleet Assignment and Scheduling under Real-Time Information. *Transportation Research Record*, 1667 (1), 107–113.
- Yepes, V., Medina, J. (2006). Economic Heuristic Optimization for Heterogeneous Fleet VRPHESTW. *Journal of Transportation Engineering*, 132 (4), 303–311.
- Zwierzchowski, S., Żak, J., Kiciński, M. (2003). *Opracowanie metody zarządzania obsługiwaniem pojazdów ciężarowych*. Poznań: Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska (Raport nr 51-977/2003).
- Żak, J., Redmer, A., Sawicki, P. (2001). Optymalizacja wielokryterialna liczebności pracowników w przedsiębiorstwie transportowym. *Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej*, (28), 445–454.
- Żak, J., Sawicki, P., Redmer, A. (1999). *Multiobjective optimization of the fleet size in the freight transportation company*. Referat wygłoszony na: Conference proceedings of 15th Triennial Conference IFORS'99, Beijing (China).

<http://www.businessdictionary.com> (01.09.2013).

# Identyfikacja potrzeb paliwowych w transporcie

## *Identification of transport fuel needs*

Uwzględniając zmiany społeczno-gospodarcze oraz kierunki polityki Unii Europejskiej, można zauważyć wciąż obecne problemy z wprowadzeniem sektora transportu na bardziej zrównoważoną ścieżkę. Szybko zwiększający się popyt na transport drogowy przyczynia się do wzrostu konsumpcji paliw ropopochodnych, w przeważającej większości oleju napędowego. Sektor transportu już teraz odpowiada za przeszło połowę światowej konsumpcji ropy i udział ten rośnie. Poprawa efektywności energetycznej i wykorzystania paliw w transporcie okazała się bowiem niewystarczająca wobec zwiększającej się liczby samochodów oraz wzrostu pracy przewozowej. Na podstawie scenariuszy i wielu studiów przypadku można stwierdzić, że w perspektywie średniookresowej bilans paliwowy w sektorze transportu w 90% zdominowany będzie przez surowce ropopochodne. Obowiązujące w nadchodzących dziesięcioleciach globalne trendy energetyczne i klimatyczne wyznaczają kluczowe wyzwanie stojące przed systemem transportowym — sprostanie ciągle rosnącemu zapotrzebowaniu na energię.

### **Słowa kluczowe:**

transport, zużycie energii, paliwa transportowe.

Taking into account the socio-economic changes and policies of the European Union, you will still see current problems with the introduction of the transport sector on a more sustainable path. Rapidly increasing demand for road transport contributes to increased consumption of petroleum-based fuels, the vast majority of diesel. The transport sector is already responsible for more than half the world's oil consumption and the share is growing. Improvement of energy efficiency in transport fuel use was in fact insufficient for the increasing number of vehicles and the increase in transport performance. On the basis of a numerous scenarios and case studies it can be concluded that in the medium term balance of fuel in the transport sector in 90% will be dominated by the petroleum resources. Binding in the coming decades global trends in energy and climate determine the key challenge for transport system. The aim is namely to meet the constantly growing demand for energy.

### **Key words:**

transport, energy, transport fuels.

## Wprowadzenie

Rozwój społeczno-gospodarczy oraz współpraca podmiotów gospodarczych funkcjonujących w różnych obszarach geograficznych implikują wzrost potrzeb przewozowych, których realizacja dokonywana jest przez poszczególne gałęzie transportu. Prawidłowo funkcjonujący transport jest jednym z głównych elementów sprawnej logistyki. Systematycznie zwiększa się zapotrzebowanie na różne formy przemieszczania osób i towarów, co generuje wzrost potrzeb energetycznych w transporcie, których głównym źródłem są paliwa kopalne. W 2011 roku 94% energii zużytej w sektorze transportu Unii Europejskiej (UE) pochodziło z ropy naftowej, a transport był jej największym, zużywającym 55% ogółu dostaw, użytkownikiem. Rosnący popyt i koszty wydobycia ropy

naftowej mają istotny wpływ na poziom i zmienność cen tego surowca, co stanowi zagrożenie dla rozwoju konkurencyjnego i zasobooszczędnego europejskiego systemu transportu. Ponadto silna dominacja transportu drogowego w realizacji zadań przewozowych nie jest zgodna z założeniami strategii zrównoważonego rozwoju transportu. Odchodzenie od ropy naftowej jest więc nieuniknione. Przekształcenie transportu w bardziej ekologiczny, efektywny, bezpieczny i niezawodny system będzie wymagało wdrożenia odpowiednich działań interwencyjnych. Jednym z nich jest wsparcie działań na rzecz rozwoju rynku paliw alternatywnych i inwestycje w ich infrastrukturę.

Celem artykułu jest analiza rozwoju transportu w UE ze wskazaniem na bieżące i średniookresowe prognozy potrzeb paliwowych w badanym sektorze.

## Transport jako ogniwo łańcucha dostaw

W systemach logistycznych transport odgrywa bardzo istotną rolę. Jest on jednym z podstawowych ogniw łańcucha logistycznego. Transport, definiowany jako zespół czynności polegających na przemieszczaniu dóbr materialnych w przestrzeni przy użyciu odpowiednich środków technicznych, tworzy wartość dodaną dzięki użyteczności miejsca i czasu (Baran, Maciejczak, Pietrzak, Rokicki i Wicki, 2008). Z ekonomicznego punktu widzenia jest to wykonywanie zadań przewozowych za odpłatnością, których wynikiem ma być przewóz ludzi i materiałów oraz świadczenie usług dodatkowych, które są powiązane z tymi przewozami. Od dobrej pracy transportu zależy jest sprawne funkcjonowanie systemu społeczno-ekonomicznego kraju jako całości. Usługi transportowe włączone do kategorii systemów transportowych mają istotny wpływ na działanie wszystkich sektorów gospodarki państwa. Każdy wytworzony produkt zarówno o charakterze konsumpcyjnym, jak i zaopatrzeniowym nabiera wartości wówczas, kiedy w odpowiednim miejscu, czasie i w dobrym stanie zostanie dostarczony użytkownikowi. Transport, poza sprawnością i niezawodnością fizycznych przepływów w całym łańcuchu dostaw, generuje znaczące koszty (Ficoń, 2005). Wysoki wskaźnik zależności między tempem wzrostu działalności transportowej a stopą wzrostu PKB w krajach Wspólnoty potwierdza znaczenie tego sektora w rozwoju gospodarczym i aktywności społecznej, co przedstawiono na rys. 1.

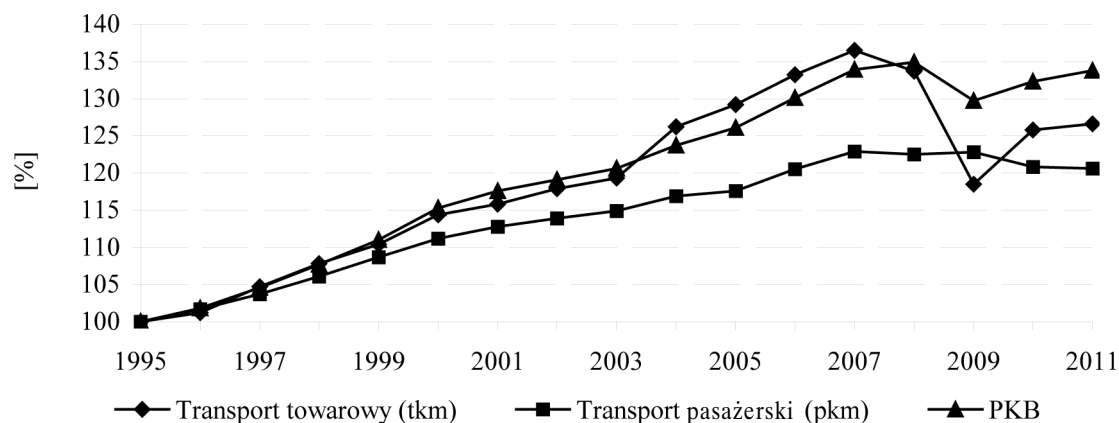
Jak wynika z rysunku 1, tempo wzrostu transportu w UE jest w dużym stopniu zgodne z tempem wzrostu gospodarczego. W latach 1995–2011 średnioroczna wartość tego wskaźnika wynosiła 1,35. Nowe uwarunkowania polityczno-gospodarcze, wzrost wymiany handlowej oraz postępujący proces globalizacji wa-

runkują większy stopień zależności między wzrostem PKB a rozwojem przewozów towarowych. W latach 1995–2007 popyt na usługi transportu towarowego w krajach UE 27 zwiększył się o ponad 1/3 w stosunku do pracy przewozowej (wyrażonej w tonokilometrach) zrealizowanej w 1995 roku. Zmiany koniunktury gospodarczej na rynkach światowych odnotowane w latach 2008–2011 potwierdziły silną korelację między poziomem wzrostu gospodarczego a tempem rozwoju transportu, szczególnie w odniesieniu do transportu towarowego.

Coraz bardziej złożone łańcuchy dostaw wymuszają dostosowywanie się transportu do wzrastających potrzeb przewozowych, przyczyniając się jednocześnie do ciągłego doskonalenia tej dziedziny gospodarki. Szacuje się, że w procesach logistycznych około 80% wszystkich funkcji logistycznych stanowi transport (Zielaskiewicz, 2009). Ważnym zagadnieniem jest więc analiza rozwoju poszczególnych rodzajów transportu stanowiących integralne elementy systemu transportowego. Miejsce poszczególnych gałęzi transportu w systemie transportowym państwa wyznacza z jednej strony wielkość potrzeb gospodarki i społeczeństwa oraz wydajność infrastruktury każdego rodzaju transportu, z drugiej zaś strony świadome kształtowanie potencjałów infrastrukturalnych, znajdujące odbicie w strukturze gałęziowej transportu (Zielaskiewicz i Nowak, 2010). Rozwój transportu towarowego według rodzajów uwarunkowany jest również rozwiązaniami stosowanymi w gospodarce. Takie czynniki, jak m.in.: koncentracja produkcji w niewielkich ośrodkach w celu osiągnięcia ekonomii skali, dostawy „od drzwi do drzwi” lub „dokładnie na czas”, przyczyniły się do silnego i trwałego popytu na transport drogowy (Komisja Wspólnot Europejskich, 2006), co przedstawiono na rysunku 2. Wzrost znaczenia transportu samochodowego jest również następstwem zmniejszania się w ostatnich latach udzia-

Rysunek 1

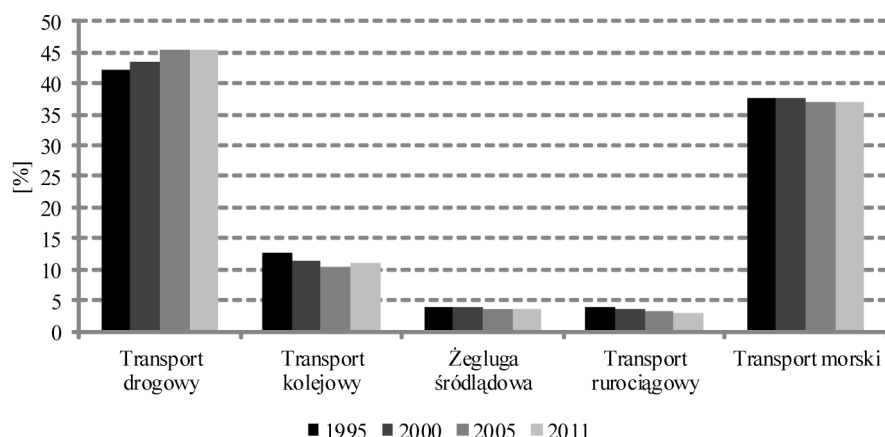
Rozwój działalności transportowej w UE 27 w latach 1995–2011 (1995 = 100, PKB wg cen z 2000 r.)



Źródło: opracowano na podstawie European Commission, 2013b.

Rysunek 2

Struktura pracy przewozowej w transporcie towarowym według rodzajów transportu w UE 27 w latach 1995–2011



Źródło: opracowano na podstawie European Commission, 2013b.

tu przewozów masowych w przewozach ładunków oraz zmiany relacji i odległości przewozu. Transport samochodowy odgrywa ważną rolę w przewozie dóbr na krótkie i średnie odległości.

Z analizy struktury pracy przewozowej wykonywanej przez poszczególne gałęzie transportu zaprezentowanej na rysunku 2 wynika, że transport samochodowy w krajach Wspólnoty odgrywa dominującą rolę w przewozie ładunków. W 2011 roku 45,3% pracy przewozowej w transporcie towarowym zrealizowane zostało przez środki transportu samochodowego. W porównaniu z latami poprzednimi wartość ta systematycznie wzrastała do 2010 roku, głównie kosztem spadku przewozów transportem kolejowym. W 2011 roku przewozy towarowe zmniejszyły swój udział w strukturze gałęziowej w stosunku do 2010 roku o 0,5 punktu procentowego. Wartości wskaźników w zakresie struktury przewozowej dla pozostałych gałęzi transportu były raczej stabilne. Wzrost obrotów

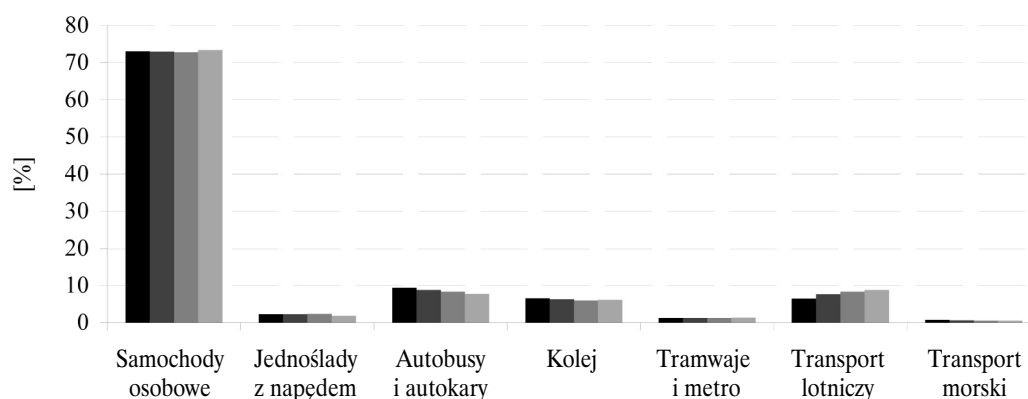
w handlu międzynarodowym nie spowodował zwiększenia udziału transportu lotniczego w przewozie ładunków. W badanym okresie jego udział w strukturze przewozowej towarów wynosił 0,1%.

Obserwując rozwój społeczny możemy zauważyć, że wzrasta świadomość społeczeństwa w zakresie ochrony i kształtowania środowiska naturalnego. Nie ma to jednak, jak na razie, wyraźnego przełożenia na zmianę modelu podróżowania (rys. 3).

Analiza danych przedstawionych na rysunku 3 wskazuje, że w przewozach pasażerskich wykorzystanie bardziej przyjaznych środowisku środków transportu stopniowo zmniejszało się. W latach 1995–2011 ponad 3/4 pracy przewozowej w ruchu pasażerskim zrealizowane zostało z wykorzystaniem indywidualnych środków transportu samochodowego. W przewozach długodystansowych obserwujemy wyraźną dynamikę wzrostu wykorzystania transportu lotniczego.

Rysunek 3

Struktura przewozów pasażerskich w UE 27 w latach 1995–2011



Źródło: opracowano na podstawie European Commission, 2013b.

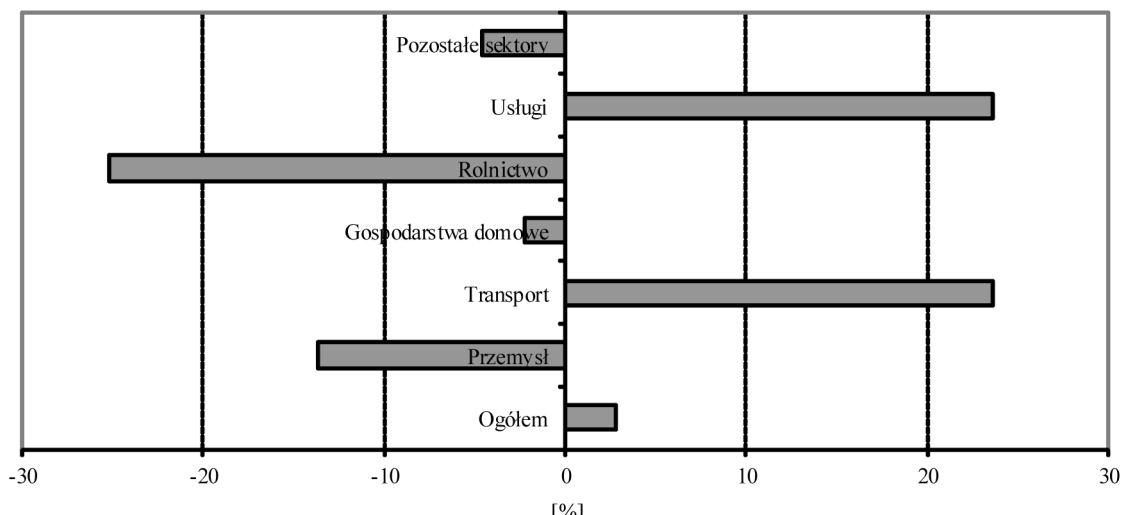
Analiza działalności transportowej w UE w latach 1995–2011 według rodzajów transportu i opracowane na najbliższe dekady prognozy (European Commission, 2008) aktywności gałęziowej transportu przewidują nadal wyraźną dominację transportu drogowego, szybki rozwój przewozów lotniczych oraz umiarkowane ożywienie w transporcie kolejowym. Kierunki rozwoju systemów transportowych mają bezpośredni wpływ na kształtowanie potrzeb energetycznych sektora transportu. Prawie całkowite uzależnienie tego sektora od produktów naftowych generuje kilka istotnych problemów. Pierwszy z nich dotyczy bezpieczeństwa dostaw ropy w celu realizacji rosnących potrzeb przewozowych. Drugi to wzrost obaw o zmiany klimatyczne w połączeniu z już istniejącymi problemami zanieczyszczenia środowiska, zatłoczenia i hałasu.

## Charakterystyka potrzeb energetycznych w transporcie

Transport jest jednym z najważniejszych sektorów gospodarki, którego działanie powoduje wzrost zapotrzebowania na energię (rys. 4).

Rysunek 4

Zmiany całkowitego zużycia energii w UE 27 w latach 1995–2011



Źródło: opracowano na podstawie [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables) (12.10.2013).

W 2011 roku całkowite zużycie energii przez transport (z uwzględnieniem międzynarodowego transportu morskiego) wynosiło ok. 412 Mtoe, tj. o prawie 1/4 więcej w stosunku do konsumpcji energii przez ten sektor w 1995 roku. W badanym okresie wysoką dynamikę wzrostu zapotrzebowania na energię odnotowano również dla rozwijającego się sektora usług. W pozostałych sektorach gospodarki wystąpiła tendencja spadkowa.

Zmiany, jakie odnotowano w zakresie potrzeb energetycznych poszczególnych sektorów gospodarki, miały swoje odzwierciedlenie w strukturze całkowitego zużycia energii, co przedstawiono na rysunku 5. Dążenie UE do stworzenia konkurencyjnej i zasobooszczędnej gospodarki w sektorze transportu nie przyniosło oczekiwanych rezultatów. Udział transportu w całkowitym zużyciu energii w UE 27 zwiększył się z 28% w 1995 roku do 33% w 2011 roku. Od 1998 roku sektor ten stał się największym odbiorcą energii w UE 27. Przewiduje się, że rosnący udział transportu w całkowitym zużyciu energii w UE utrzyma się również w kolejnych dekadach.

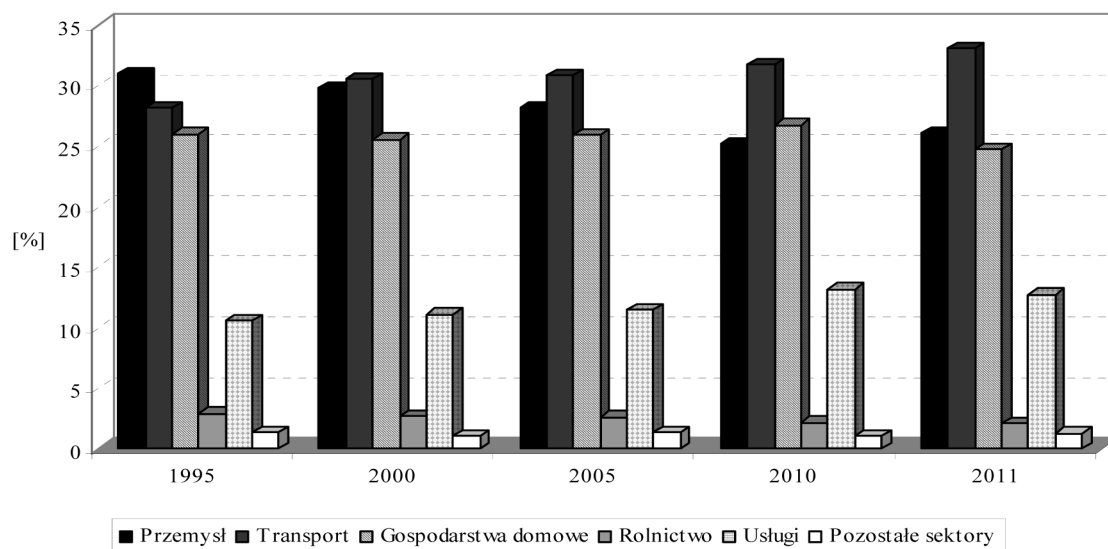
W latach 1995–2011 poprawa efektywności energetycznej w transporcie była niewystarczająca w stosunku do tempa wzrostu zapotrzebowania na usługi przewozowe. Analiza zużycia energii w transporcie w stosunku do wzrostu PKB pokazuje nieznaczne oznaki relatywnego rozdzielenia zależności między zapotrzebowaniem na energię w transporcie a wzrostem gospodarczym (rys. 6). W latach 2000–2007 zużycie energii w transporcie w UE 27 wzrastało przeciętnie o 1,4% rocznie, podczas gdy tempo wzrostu PKB było wyższe i wy-

nosiło 2,1% rocznie. Od 2008 roku na skutek recesji gospodarczej zmiany te miały charakter ujemny.

Można jednak stwierdzić, że w badanym okresie efektywność energetyczna w sektorze transportu nieznacznie się poprawiła. Zyski z tego tytułu nie zostały jednak w całości wykorzystane do zmniejszenia całkowitego zużycia paliwa i okazały się niewystarczające, aby zrównoważyć rozwój systemów transportowych (rys. 7).

Rysunek 5

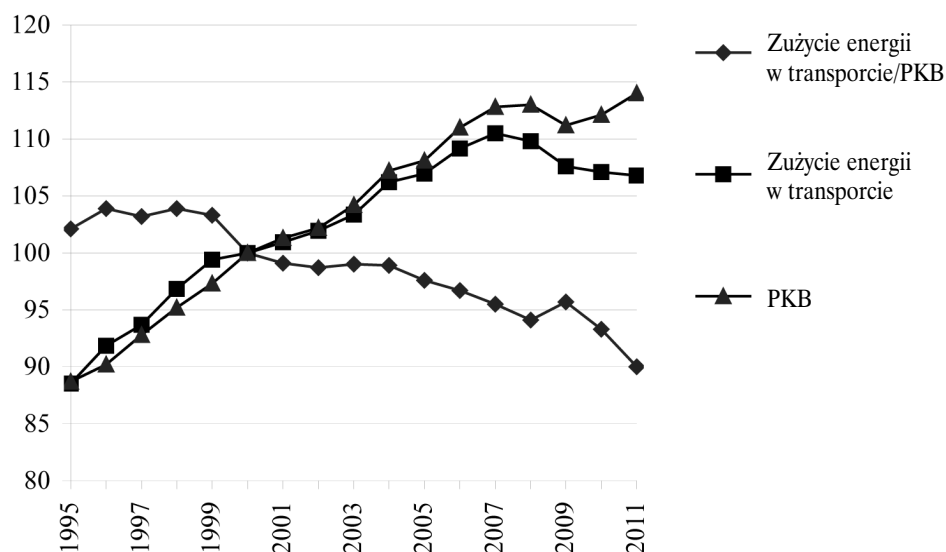
Struktura zużycia energii w poszczególnych sektorach gospodarki w UE 27 w latach 1995–2011



Źródło: opracowano na podstawie [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables) (12.10.2013).

Rysunek 6

Zużycie energii w transporcie z wyłączeniem transportu morskiego i rurociągowego (2000=100)



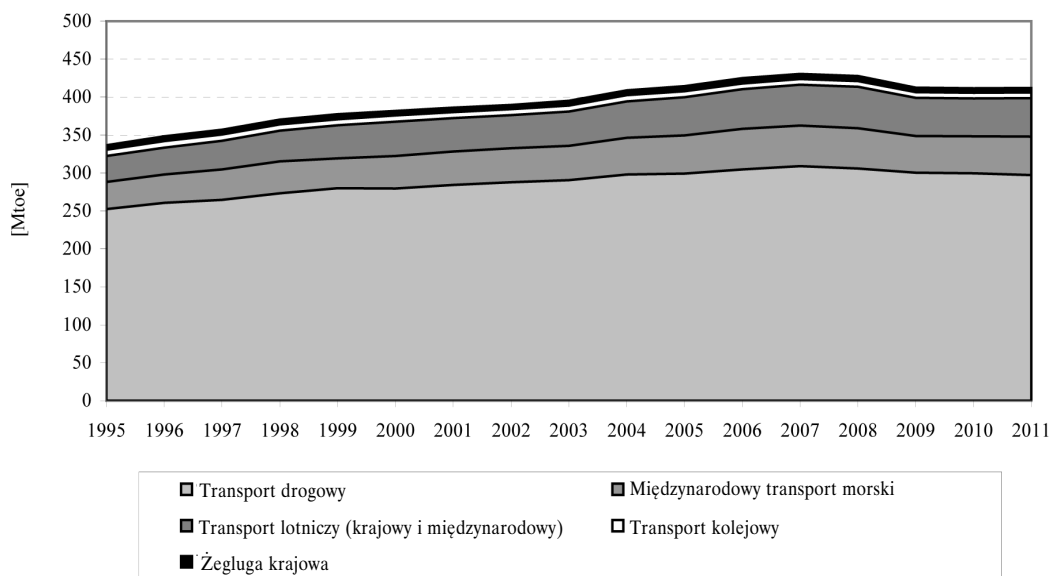
Źródło: opracowano na podstawie <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00100&plugin=1> (20.10.2013).

Z danych przedstawionych na rysunku 7 wynika, że rozwój transportu drogowego wiązał się z systematycznym wzrostem zapotrzebowania na energię. W porównaniu z rokiem 1995 zużycie energii w tym sektorze wzrosło o ponad 25% i stanowiło w 2011 roku 72,2% całkowitego zużycia energii w transporcie UE. Największą dynamikę wzrostu zużycia energii w badanym okresie wykazywały transport lotniczy oraz transport morski. W 2011 roku zużycie energii

w tych sektorach było odpowiednio o 50% i 42% większe niż w 1995 roku. Zwiększył się również ich udział w całkowitym zużyciu energii w transporcie, który wynosił w 2011 roku 12,4% (transport morski) oraz 12,3% (transport lotniczy). Przewozy kolejowe natomiast zmniejszyły swój udział w transportowym bilansie paliwowym z 2,4% w 1995 roku do 1,7% w 2011 roku. Według prognoz trend spadkowy utrzyma się w kolejnych latach na skutek zmniejszającego

Rysunek 7

Zużycie energii w poszczególnych gałęziach transportu w UE 27



Źródło: opracowano na podstawie danych European Commission, 2013a.

się udziału kolei w przewozach towarowych oraz wzrostu poziomu elektryfikacji kolei. W 2030 roku sektor ten ma być odpowiedzialny za ok. 1% całkowitych potrzeb energetycznych transportu. 1,5% całkowitego zużycia energii w transporcie w 2011 r. stanowiła żegluga śródlądowa. Udział ten ma mieć raczej stabilny charakter w przyszłości, co potwierdza niewielkie wykorzystanie tego rodzaju transportu w realizacji usług przewozowych.

Transport drogowy jako największy konsument energii w transporcie był najmniej wrażliwy na skutki recesji gospodarczej. W latach 2007–2011 całkowite zapotrzebowanie na energię w tej gałęzi transportu zmniejszyło się o 3,9%. Natomiast największy spadek zużycia energii w tym okresie odnotowano w żegludzie krajowej (10,2%), następnie w lotnictwie (5,7%) i transporcie kolejowym (5,3%). Redukcja energii w żegludzie morskiej w latach 2007–2011 wynosiła 4,8%, przy czym w 2009 roku zapotrzebowanie na energię spadło aż o 10% w stosunku do roku 2008. Reasumując, między 2007 a 2011 rokiem całkowita konsumpcja energii w transporcie zmniejszyła się o 4,3%.

### Kierunki aktywności w transporcie drogowym

Struktura zużycia paliw przez poszczególne rodzaje środków transportu drogowego jest odzwierciedleniem zmian społeczno-gospodarczych w UE. Wzrost mobilności mieszkańców Europy spowodował, że samochody osobowe są w największym stopniu odpowiedzialne za potrzeby energetyczne tej gałęzi trans-

portu mimo rozwoju przewozów towarowych oraz poprawy efektywności energetycznej aut osobowych. W latach 1990–2000 zużycie energii przez samochody osobowe miało raczej stabilny charakter i stanowiło 60,6% całkowitych potrzeb energetycznych transportu drogowego. Od 2000 roku na skutek wzrostu wymiany handlowej oraz rozszerzenia UE odnotowano wysoką dynamikę wzrostu przewozów towarowych, co spowodowało zmiany w strukturze zużycia energii w transporcie samochodowym. Udział samochodów osobowych w całkowitym zużyciu energii przez transport drogowy zmniejszył się do 57,1% w 2008 roku. Zużycie paliw przez samochody ciężarowe zwiększyło swój udział z 34,5% w 1990 roku do 37,3% w 2008 roku w całkowitym zużyciu energii przez tę gałąź transportu. W okresie 1990–2008 zużycie energii przez autobusy i motocykle miało raczej stabilny charakter i wynosiło w 2008 roku odpowiednio 1,5% oraz 3,3% całkowitych potrzeb energetycznych transportu drogowego.

Prognozowany dalszy wzrost przewozów towarowych będzie skutkował kolejnymi zmianami w strukturze zużycia energii przez transport samochodowy. Mimo szybszego tempa zmian w zakresie poprawy efektywności energetycznej napędów samochodów ciężarowych ich udział w całkowitym zapotrzebowaniu na paliwo w transporcie drogowym ma wynosić 45,5% w 2030 roku. Wzrost udziału drogowego transportu towarowego w przewozach przy jednoczesnym spadku znaczenia towarowych przewozów kolejowych i żegluga śródlądowej spowoduje więc pogorszenie średniej energochłonności w transporcie towarowym. Do 2030 roku zmniejszenie energochłonności przez ten rodzaj transportu ma wynosić średnio 0,4% rocznie.



Jednocześnie zużycie energii przez samochody osobowe ma się zmniejszyć do 50,4% całkowitych potrzeb paliwowych transportu samochodowego w 2030 roku. Poprawa efektywności energetycznej w transporcie osobowym jest wypadkową kilku czynników, tj. wzrostu cen paliw, bardziej ekonomicznej jazdy oraz osiągnięć technologicznych w zakresie bardziej wydajnych silników. Działania te jednak nie równoważą spadku zapotrzebowania na energię przez transport drogowy. W latach 1990–2000 poprawa efektywności energetycznej samochodów osobowych następowała w zwolnionym tempie, co w dużym stopniu uwarunkowane było tendencjami obowiązyującymi na rynku samochodowym. W sprzedaży dominowały większe, mocniejsze i bardziej komfortowe samochody (na przykład z klimatyzacją), które zużywając więcej energii na jednostkę działalności, „konsumowały” rezultaty poprawy efektywności silników w zakresie wydajności energetycznej. Od 2000 roku nastąpiła znaczna poprawa w zakresie efektywności energetycznej w prywatnym transporcie osobowym. Zużycie paliwa w 2011 roku wynosiło średnio 8,9 l/100 km, podczas gdy w 2000 kształtowało się ono na poziomie 11 l/100 km. W badanym okresie wzrost efektywności energetycznej wynosił więc 1,0% rocznie, podczas gdy w latach 1990–2000 0,35%.

Prognozy opracowane przez Międzynarodową Agencję Energetyczną przewidują dalszy spadek jednostkowego zużycia energii w wysokości 1,25% rocznie do 2030 r., z czego wynika, że średnie zużycie paliwa przez samochody osobowe będzie wynosiło 7,5 l/100 km w 2030 roku. Zaobserwowane kierunki zmian mają spowodować zmniejszenie energochłonności w transporcie osobowym o 0,84% średnio rocznie do 2030 roku.

Jednocześnie przewiduje się, że zmniejszenie wykorzystania „obłożenia” aut osobowych z 2,38 w 2009 roku do 2,17 pasażer/samochód w 2030 roku oraz znaczne rozszerzenie sprzedaży samochodów w UE

przyczyni się do spowolnienia tempa spadku jednostkowego zużycia energii w transporcie osobowym.

Opisane powyżej prawidłowości są przejawem paradoksu W. S. Jevonsa. Zasadniczym aspektem jego koncepcji jest określenie zależności pomiędzy wzrostem efektywności wykorzystania zasobów naturalnych i jednocześnie towarzyszącemu temu ciągłemu wzrostowi ich wydobywania i konsumpcji. Innymi słowy, postęp technologiczny związany ze wzrostem efektywności wykorzystywania danego zasobu prowadzi zwykle do zwiększenia konsumpcji tego zasobu (Pieńkowski, 2012). Sektor transportu jest tego doskonałym przykładem.

## „Koszyk paliwowy” w transporcie

Analizując trendy oraz scenariusze zachowań na rynku przewozów jako całości, można zauważyć, iż miały one istotny wpływ na zmiany w asortymencie paliw zużywanych przez sektor transportu w UE 27 (rys. 8).

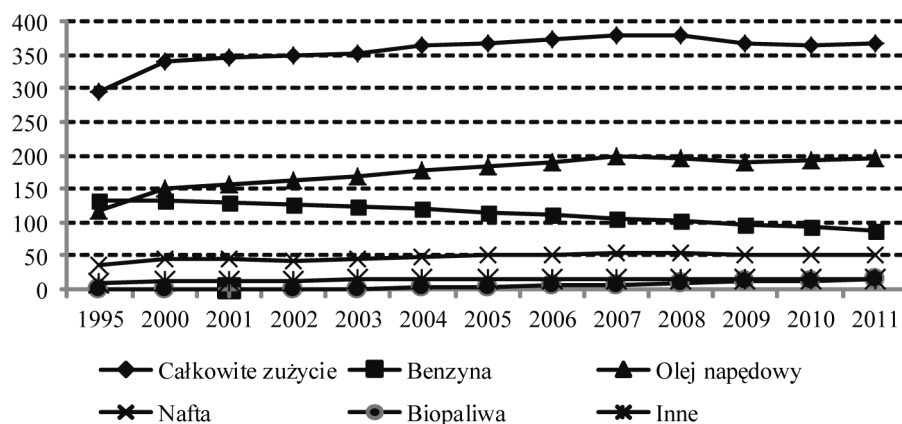
W latach 1995–2011 odnotowano spadek zużycia benzyn silnikowych z 44,8% do 24% w całkowitym zapotrzebowaniu transportu na paliwa. W tym samym okresie udział oleju napędowego zwiększył się z 40,4% w 1995 r. do 54% w roku 2011.

Przyrosty odnotowano również w przypadku ropy, biopaliw oraz innych nośników energii. W 2011 r. olej napędowy był głównym paliwem zużywanym w transporcie we wszystkich państwach członkowskich UE, z wyjątkiem Grecji, Cypru i Malty. Największy udział zużycia biopaliw w całkowitym zużyciu paliw w transporcie w 2010 r. odnotowano w Słowacji (6%), w Austrii (5%) i w Polsce (5%).

Opisane kierunki zmian w strukturze asortymentowej paliw transportowych potwierdzają dominację paliw ropopochodnych. Przewiduje się, że zapotrzebowanie na ropę naftową dla celów transportowych będzie o 20% wyższe w 2030 niż w 2010. Aktywność

Rysunek 8

Zużycie paliw według rodzaju w sektorze transportu w UE 27



Źródło: opracowano na podstawie European Commission, 2013a.

transportu natomiast ma wzrosnąć w tym okresie o 45%. „Koszyk paliwowy” w sektorze transportu zdominowany będzie w 90% przez produkty naftowe. Wzrost udziału biopaliw w całkowitym zużyciu paliw w transporcie spowoduje spadek udziału paliw ropopochodnych w transporcie tylko o 6 punktów procentowych w porównaniu z 2010 rokiem. Wykorzystanie energii elektrycznej przewidziane jest głównie w transporcie kolejowym w wyniku wzrostu stopnia elektryfikacji kolei oraz zwiększenia aktywności kolei dużych prędkości. Układ zasilania elektrycznego w pociągach jest bowiem o 25% bardziej energooszczędny na jednostkę działalności transportowej niż diesel. Pociągi elektryczne dużych prędkości zużywają więcej energii niż konwencjonalne, ale zwykle mają wyższy wskaźnik obciążenia. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, prognozowany jest znaczny spadek zużycia oleju napędowego w transporcie kolejowym, a także zmniejszenie zużycia innych nośników energii.

Struktura „koszyka paliwowego” w sektorze transportu kształtowana jest głównie przez potrzeby energetyczne transportu samochodowego (tab. 1).

niesieniu do aut napędzanych benzyną zmiany te miały przeciwny kierunek. Przewiduje się, że samochody z silnikiem diesla będą zwiększały swój udział w rynku, co spowoduje dalszy wzrost zapotrzebowania na olej napędowy przy jednoczesnym spadku zużycia benzyny. W 2030 roku udział tych paliw w transporcie drogowym ma wynosić odpowiednio 60,5% oraz 29,3%. W zakresie wykorzystania paliw alternatywnych w transporcie osobowym odnotowano niewielki 1% wzrost w badanym okresie. Jedynym państwem członkowskim, w którym paliwa alternatywne w przewozach osobowych stanowiły znaczący udział w całkowitych potrzebach paliwowych transportu osobowego, była Polska (16% w 2011 r.). Poziom ten osiągnięto dzięki dużej popularności wykorzystania LPG oraz zwiększonemu zastosowaniu biopaliw w transporcie, co uwarunkowane było przede wszystkim aspektami ekonomicznymi. Technologie odnawialnych źródeł energii, do których należą m.in. biopaliwa transportowe, stanowią istotny element w realizacji założeń zrównoważonego rozwoju w transporcie oraz w poprawie bezpieczeństwa ener-

Tabela 1

Struktura wykorzystania paliw w transporcie w UE 27 (%)

Wyszczególnienie		1990	1995	2000	2005	2007	2008	2009	2010	2011
Transport drogowy	benzyna	43,1	40,4	34,7	27,8	24,8	23,8	23,8	22,5	21,1
	olej napędowy	31,3	33,9	37,3	42,4	44,3	44,2	44,7	45,6	45,8
	bioetanol	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
	biodiesel	0,0	0,0	0,1	0,3	0,9	1,5	2,1	2,3	2,7
	gaz ziemny	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
	LPG	0,8	0,8	1,2	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9
Transport kolejowy	energia elektryczna	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	olej napędowy	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Transport lotniczy	nafta	9,4	10,3	12,0	12,3	12,6	12,9	12,4	12,2	12,0
Transport wodny	benzyna	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	olej napędowy	4,0	4,0	3,5	3,1	2,7	2,7	2,6	2,8	2,8
	mazut — ciężki olej opałowy	8,5	7,9	8,8	10,4	10,9	10,9	10,1	10,0	10,6

Źródło: opracowano na podstawie <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps> (09.08.2013).

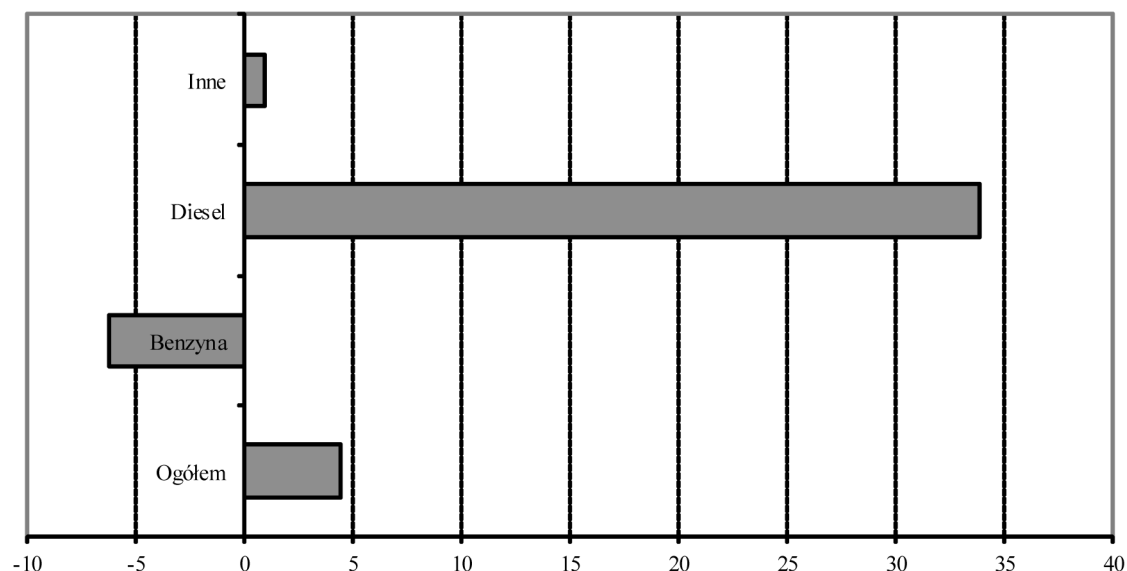
Pojazdy transportu drogowego oparte są na silnikach spalinowych, głównie zasilanych benzyną i olejem napędowym. W latach 1990–2011 udział samochodów z silnikiem benzynowym w transporcie drogowym ogółem zmniejszył się z 57,9% do 38,5%, co skutkowało spadkiem zapotrzebowania na benzynę. Tendencja ta jest wynikiem relacji cen nośników energii, co sprzyja penetracji rynku przez samochody wysokoprężne. Kierunek tych zmian można zaobserwować również w odniesieniu do samochodów osobowych (rys. 9).

Udział samochodów osobowych z napędem diesla zwiększył się z 26,5% w 2005 r. do 33,8% w 2011 r. w ogólnej liczbie aut osobowych. W od-

tycznego (Motowidlak, 2013). Uwzględniając założenia polityki transportowej UE szacuje się, że udział biopaliw w zużyciu paliw płynnych w transporcie drogowym będzie stopniowo się zwiększał (9,4% w 2030 roku), przy czym 75% rynku biopaliw transportowych będzie stanowił biodiesel. Gwarancją bezpieczeństwa dostaw energii w transporcie stanowi jednak znaczne zróżnicowanie źródeł poszczególnych paliw alternatywnych oraz uzyskanie zaufania konsumentów do ich stosowania w pojazdach (Motowidlak, 2012). Przewiduje się, że bez odpowiednich mechanizmów wsparcia i wytycznych polityki UE udział samochodów hybrydowych i z napędem plug-in może osiągnąć tylko 3%,

Rysunek 9

Zmiana liczby samochodów osobowych z uwzględnieniem rodzaju napędu w UE 27 w latach 2005–2011



Źródło: opracowano na podstawie European Commission, 2013a.

przy czym udział samochodów elektrycznych ma być nieduży. W transporcie drogowym energia elektryczna w całkowitym zużyciu paliw w tej gałęzi transportu nie będzie miała więc istotnego znaczenia dla zmniejszenia stopnia niezależności od surowców ropopochodnych.

Przyjęte w Białej Księdze kierunki działań w zakresie stworzenia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu mają przyczynić się do stworzenia zrównoważonej strategii w zakresie paliw alternatywnych (Komisja Europejska, 2013a), obejmującej również rozwój stosownej infrastruktury (Komisja Europejska, 2013b). W dłuższej perspektywie czasowej wykorzystanie paliw alternatywnych w poszczególnych gałęziach transportu ma zwiększyć stopień dywersyfikacji potrzeb paliwowych w transporcie i przyczynić się do zmniejszenia negatywnych skutków oddziaływania transportu na środowisko.

## Podsumowanie

Rozwój społeczno-gospodarczy oraz współpraca podmiotów gospodarczych funkcjonujących w różnych obszarach geograficznych implikują wzrost potrzeb przewozowych, których realizacja dokonywana jest przez poszczególne gałęzie transportu. Dzięki swoim zaletom, przede wszystkim szybkości, powszechnej dostępności środków transportu, możliwości bezpośredniego przewozu ładunków i osób, a także korzystnemu rozmieszczeniu infrastruktury

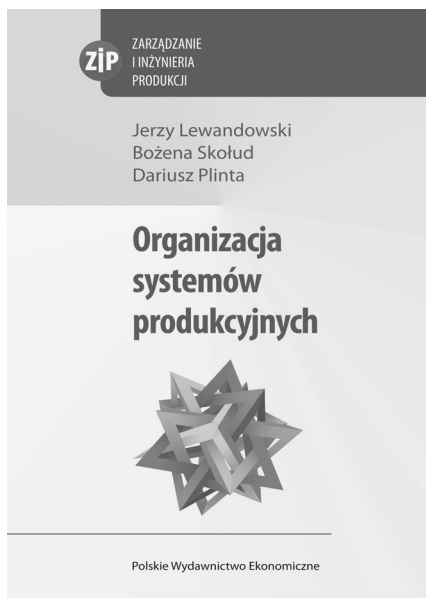
w przestrzeni, transport drogowy stanowi współcześnie dominującą i najważniejszą gałąź transportu. Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że transport drogowy zyskał obecnie szczególnie status w życiu codziennym społeczeństwa. Kierunki rozwoju systemów transportowych mają bezpośredni wpływ na kształtowanie potrzeb energetycznych sektora transportu.

Ropa pozostaje paliwem dominującym w bilansie energetycznym sektora transportu. Zastępowanie produktów ropopochodnych innymi paliwami oraz poprawa efektywności zużycia paliw w transporcie są niewystarczające dla utrwalenia się zdecydowanych zmian w zakresie potrzeb paliwowych zgłaszanych przez ten sektor gospodarki. Przewiduje się, że w okresie objętym prognozą konsumpcja paliw ropopochodnych dla celów transportowych będzie o 20% wyższa. Z uwagi na ograniczone tempo upowszechnienia technologii niskoemisyjnych w badanym okresie, „koszyk paliwowy” w sektorze transportu zdominowany będzie w 2030 roku w 90% przez produkty naftowe. Perspektywy dalszego wzrostu popytu na surowce ropopochodne, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału w rynku samochodów z silnikiem diesla, wskazują na potrzebę podjęcia aktywnych działań w zakresie stworzenia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu. Dążenie państw UE do zwiększenia upowszechnienia zaawansowanych technologicznie pojazdów mogłoby odegrać ważną rolę w obniżaniu ich kosztów poprzez szybsze tempo przyswajania technologii i efekt skali.

## Literatura:

- Baran, J., Maciejszczak, M., Pietrzak, M., Rokicki, T. i Wicki, L. (2008). *Logistyka. Wybrane zagadnienia*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- European Commission (2008). *European energy and transport. Trends to 2030 — Update 2007*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission (2013a). *Energy, transport and environment indicators*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission (2013b). *EU energy and transport in figures*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps> (09.08.2013).
- Eurostat: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables) (12.10.2013).
- Ficoń, K. (2005). *Zarys mikrologistyki*. Warszawa — Gdynia: BEL Studio Sp. z o.o.
- Komisja Europejska (2013a). *Czysta energia dla transportu: europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych*. Bruksela: KE.
- Komisja Europejska (2013b). *Wniosek Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozmieszczenia infrastruktury paliw alternatywnych*. Bruksela: KE.
- Komisja Wspólnot Europejskich (2006). *Utrzymać Europę w ruchu — zrównoważona mobilność dla naszego kontynentu. Przegląd średnio-okresowy Białej Księgi Komisji Europejskiej dotyczącej transportu z 2001 r.* Bruksela: KE.
- Motowidlak, U. (2012). Wykorzystanie paliw alternatywnych w transporcie. *Handel Wewnętrzny, Trendy i Wyzwania zrównoważonego rozwoju w XXI wieku*. (1), 156–165.
- Motowidlak, U. (2013). Uwarunkowania funkcjonowania i rozwoju światowego rynku biopaliw transportowych. *Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (3), 819–831.
- Pieńkowski D. (2012). Paradoxs Jevons'a a konsumpcja energii w Unii Europejskiej. *Problemy Ekorozwoju*, 7 (1), 105–116.
- Zielaskiewicz H. (2009). Transport jako ogniwo łańcucha logistycznego i jego oddziaływanie na środowisko naturalne. *Logistyka*, (4), 28–32.
- Zielaskiewicz H. i Nowak I. (2010). Kształtowanie sieci transportowej z uwzględnieniem zasad internalizacji. *Logistyka*, (1), 21–27.

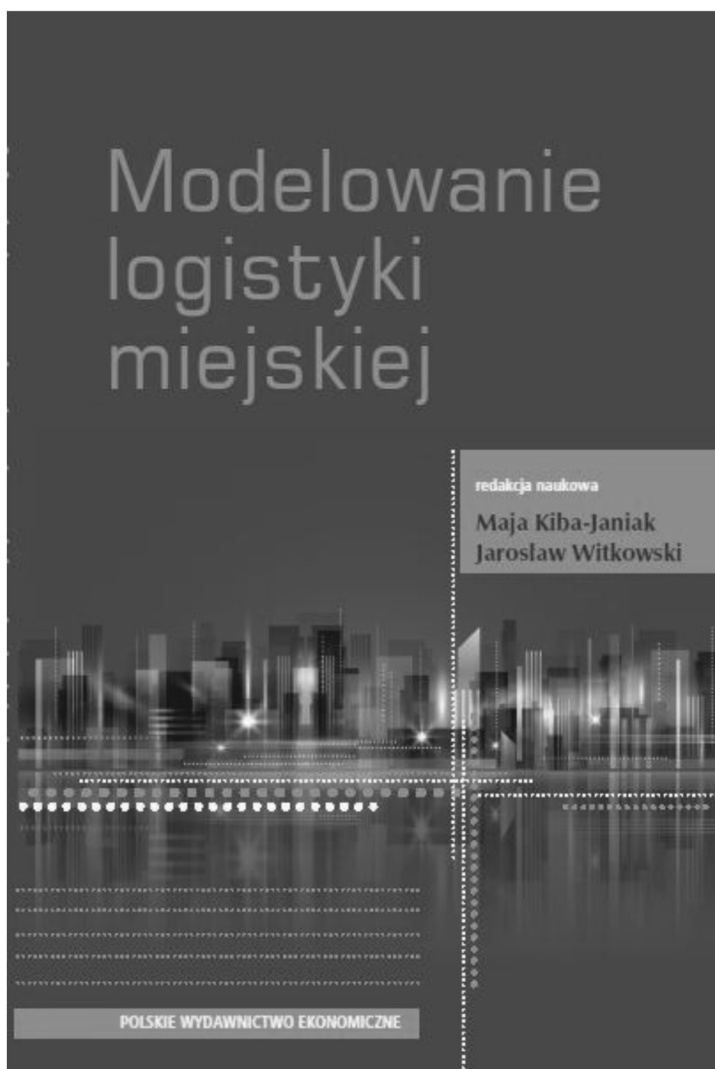
**NOWOŚĆ**



Podręcznik obejmuje wiedzę dotyczącą produkcji jako jednego z bardziej złożonych systemów organizacyjnych, charakteryzujących się określoną specyfiką, zwłaszcza w zmieniającym się i pełnym wyzwań otoczeniu. Istotny wpływ na zarządzanie produkcją w takich warunkach ma dobrze przygotowana organizacja systemów produkcyjnych, w której uwzględnia się m. in. skuteczne, a zarazem nowoczesne metody i narzędzia usprawniania procesu produkcyjnego oraz dostrzega niebagatelne znaczenie kapitału ludzkiego i ochronę środowiska naturalnego. Złożoność funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych oznacza zatem, że menedżerowie odpowiedzialni za: projektowanie, techniczne i organizacyjne przygotowanie produkcji, wytwarzanie, marketing, sprzedaż wyrobu, muszą mieć wysokie kompetencje i być skoncentrowani na rynku, wartościach, które ceni klient, a także na stałym doskonaleniu jakości i organizacji pracy.

[www.pwe.com.pl](http://www.pwe.com.pl)

**Polecamy!**



Modelowanie logistyki miejskiej to książka, w której autorzy przybliżyli możliwość wykorzystania teorii i doświadczeń praktycznych z zakresu logistyki do zarządzania infrastrukturą miejską. Pokazali, w jaki sposób, dzięki nowoczesnym rozwiązaniom logistycznym, można zwiększyć efektywność funkcjonowania miasta jako całości i poszczególnych jego elementów, a co za tym idzie poprawić jakość życia mieszkańców.

W książce przedstawiono:

- istotę i cele modelowania logistyki miejskiej,
- autorski model referencyjny logistyki miejskiej w kontekście poprawy jakości życia mieszkańców,
- walidację modelu logistyki miejskiej w wybranych miastach Polski,
- warunki skutecznego wdrożenia modelu referencyjnego logistyki miejskiej.

Książka jest przeznaczona dla studentów uczelni ekonomicznych i technicznych, specjalizujących się w logistyce lub gospodarce przestrzennej. Powinna także zainteresować władze samorządowe oraz specjalistów zajmujących się funkcjonowaniem infrastruktury miejskiej.

W skład zespołu autorów weszli pracownicy naukowo-dydaktyczni Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Uniwersytetu Zielonogórskiego i Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego. Autorzy od lat zajmują się zagadnieniami z zakresu logistyki, strategii rozwoju miast oraz zarządzania projektami.

Najtaniej w księgarni internetowej:

**[www.pwe.com.pl](http://www.pwe.com.pl)**

# Metodyka szacowania ilości pojazdów wycofanych z eksploatacji

## *The methodology for estimating the amount of end of life vehicles*

Dynamiczny wzrost liczby rejestrowanych w Polsce samochodów osobowych, jak również ich struktura wiekowa, w której znaczny udział mają pojazdy stare i wyeksploatowane, przyczyniający się do corocznego wzrostu liczby pojazdów wycofanych z eksploatacji. Problem recyklingu samochodów osobowych w Polsce jest bardzo aktualnym zagadnieniem ze względów ekonomicznych, ekologicznych i bezpieczeństwa. Średni cykl życia samochodu osobowego w naszym kraju wynosi od 12 do 15 lat. Samochody, które osiągnęły ten pułap, są bardzo pożądanym surowcem dla przemysłu szeroko związanego z działalnością mającą na celu odzysk i recykling. Liczba samochodów osobowych poruszających się po polskich drogach z roku na rok się zwiększa, jednak tempo wzrostu obserwowane w ostatniej dekadzie jest wyjątkowe. Zamieszczone w treści artykułu dane świadczą, że w najbliższym czasie bardzo duża grupa aut będzie wycofana z użytkowania i przeznaczona do recyklingu. Celem artykułu jest określenie prawdopodobnej liczby samochodów wycofanych z eksploatacji i poddanych demontażowi.

### **Słowa kluczowe:**

recykling, pojazd wycofany z eksploatacji, wiek pojazdu

Very intensive increase the number of registered passenger cars in Poland, as well as their age structure, in which a significant share of the vehicles are old and worn, contributing to the annual increase in the number of end of life vehicles. The problem of recycling of cars in Poland is a hot issue for economic, environmental and security. The average life cycle of a passenger car in the country ranges from 12 to 15 years. Cars that have reached this limit, they are very desirable raw material for the industry widely associated with the activities aimed at the recovery and recycling. Number of cars on Polish roads from year to year increases, but the rate of growth observed over the past decade is unique. The data in the article suggest that in the near future a large group of cars will be withdrawn from use and suitable for recycling. The purpose of this article is to determine the likely number of cars taken out of service and dismantled subjects.

### **Key words:**

recycling, end-of-life vehicles, age of vehicle

## Wprowadzenie

Po obecnym kryzysie finansowym (gospodarczym?) należy oczekiwać, że bardzo poważnie wzrośnie w naszym kraju liczba pojazdów wycofanych z eksploatacji (PWE), która trafi do stacji demontażu (SD). Import używanych (starych) samochodów osobowych z krajów zachodnich przestanie się opłacać, zaś Polacy, śladem mieszkańców Europy Zachodniej, chętniej będą szukać samochodów dużo młodszych i nowocześniejszych. Taki scenariusz w większym stopniu pozwoli wykorzystać istniejący potencjał krajowego systemu recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji oraz umożliwi jego transformację w kierunku zwiększenia wydajności, ekonomicznej opłacalności oraz stosowania innowacyjnych metod demontażu PWE w celu właściwego zagospodarowania pozyskanych surowców, odpowiedniego postępowania z odpadami niebezpiecznymi oraz osiągnięcia zakładanych przez prawo wskaźników recyklingu i odzysku.

Liczba samochodów osobowych poruszających się po polskich drogach z roku na rok się zwiększa, jednak tempo wzrostu obserwowane w ostatnich sześciu

latach jest wyjątkowe. W latach 2006–2011 liczba samochodów zarejestrowanych w Polsce, według oficjalnych danych, wzrosła o 4 741 261 szt., tj. o 26,2% (tab. 1). Zgodnie z danymi zaprezentowanymi w opracowaniu „Transport — wyniki działalności w 2011 roku” [2012] liczba samochodów zarejestrowanych w Polsce na koniec 2011 r. osiągnęła poziom 18,1 mln sztuk i była większa o 4,9% niż w 2010 roku. W latach 2006–2011 średni wzrost liczby samochodów w skali roku wynosił 5,2%.

Uwolnienie rynku, zniesienie barier ograniczających możliwość zwiększenia opłacalności importu samochodów z zagranicy spowodowały, że co roku Polacy sprowadzają do kraju niemal milion aut. Od początku 2006 do końca 2011 roku wprowadzono na krajowy rynek prawie 5 mln samochodów używanych, co jest zjawiskiem dotychczas nienotowanym w Europie. Jak wynika z danych Instytutu Badań Rynku Motoryzacyjnego SAMAR, wśród importowanych do Polski samochodów osobowych w latach 2006–2011 pojazdy w wieku powyżej 10 lat zawsze w tym okresie stanowiły ponad 40% wszystkich sprowadzonych samochodów (tab. 2).

Tabela 1

Samochody osobowe zarejestrowane na terytorium Polski w latach 2006–2011

Wyszczególnienie	Lata					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>POLSKA</b>	<b>13 384 229</b>	<b>14 588 739</b>	<b>16 079 533</b>	<b>16 494 650</b>	<b>17 239 800</b>	<b>18 125 490</b>
<b>województwa</b>						
dolnośląskie	1 004 325	1 097 216	1 207 407	1 246 585	1 309 416	1 389 180
kujawsko-pomorskie	660 650	733 835	848 694	883 039	925 833	968 176
lubelskie	693 834	752 034	827 473	860 850	905 627	953 255
lubuskie	374 936	405 857	440 571	448 660	469 676	498 286
łódzkie	875 848	953 960	1 050 445	1 090 803	1 139 985	1 200 899
małopolskie	1 137 029	1 233 550	1 339 852	1 374 994	1 438 973	1 507 550
mazowieckie	2 078 355	2 284 761	2 518 855	2 521 971	2 619 414	2 737 901
opolskie	401 004	429 564	463 352	472 048	493 369	519 597
podkarpackie	670 999	719 541	780 988	803 877	841 186	888 492
podlaskie	377 419	405 727	435 951	450 109	469 392	491 784
pomorskie	780 160	852 915	941 108	966 076	1 011 122	1 066 477
śląskie	1 617 341	1 740 697	1 898 957	1 950 557	2 041 565	2 144 926
świętokrzyskie	411 592	451 084	502 322	517 005	539 730	563 220
warmińsko-mazurskie	431 025	474 314	528 346	551 880	578 306	607 807
wielkopolskie	1 361 940	1 483 061	1 645 531	1 677 765	1 745 603	1 834 083
zachodniopomorskie	507 772	570 623	649 681	678 431	710 603	753 857

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Tabela 2

Liczba oraz struktura wiekowa samochodów używanych importowanych do Polski w latach 2006–2011

Wiek samochodu	Lata					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
OGÓŁEM	816 789	994 564	1 103 970	693 324	718 286	665 314
do 4 lat [szt.]	54 970	100 451	149 776	81 662	79 522	64 476
do 4 lat [%]	6,7	10,1	13,6	11,8	11,1	9,8
4 < 10 [szt.]	281 547	394 842	478 951	323 678	329 755	284 789
4 < 10 [%]	34,5	39,7	43,4	46,7	45,9	43,5
> 10 [szt.]	480 272	489 325	465 881	287 647	308 583	305 751
> 10 [%]	58,8	49,2	42,1	41,5	43,0	46,7
nieustalony [szt.]	b.d	9 945	10 362	337	426	289
nieustalony [%]	b.d	1,0	0,9	–	0,1	–

Źródło: opracowanie własne na podstawie: „Analiza Rynku Motoryzacyjnego w Polsce” oraz danych SAMAR.

Tabela 3

Liczba samochodów osobowych, które zostały zarejestrowane po raz pierwszy w Polsce w latach 2006–2011, oraz ich średni wiek

Lata					
2006	2007	2008	2009	2010	2011
Liczba samochodów osobowych, które zostały zarejestrowane po raz pierwszy w Polsce					
b.d	1 290 000	1 501 729	1 101 570	1 460 925	1 375 571
Współczynnik chłonności: liczba nowych samochodów zarejestrowanych po raz pierwszy w danym roku na 1000 mieszkańców					
–	7,2	8,3	7,1	8,2	7,1
Średni wiek samochodów osobowych, które zostały zarejestrowane po raz pierwszy w Polsce					
b.d	b.d	7,51	7,17	6,0	6,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie: „Sprawozdanie Rzeczypospolitej Polskiej na temat osiągniętych poziomów ponownego użycia i odzysku oraz ponownego użycia i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji”.

Import samochodów używanych do Polski wyniósł średnio 5,3% w stosunku do ogółu pojazdów zarejestrowanych (tab. 4). Natomiast poziom eksportu z Polski samochodów używanych jest obecnie bardzo niski i wynosi mniej niż 1% w porównaniu z ogółem pojazdów zarejestrowanych (tab. 5). Ponieważ liczba importowanych samochodów używanych jest stosunkowo wysoka, dane te koniecznie muszą być brane pod uwagę podczas szacunków PWE.

z 22,5% w 2010 r. do 24,3% w 2011 r.), nieznacznie wzrósł również udział samochodów osobowych na inne źródła energii, w tym głównie na gaz płynny LPG z 14,4% w 2010 r. do 14,6% w roku 2011.

Przeciętne auto w Polsce ma około 16 lat, podczas gdy w innych krajach UE tylko 8 lat<sup>1</sup>. Udział samochodów osobowych w wieku do 5 lat utrzymał się na zbliżonym poziomie, jak przed rokiem i wyniósł 10,7%. Wzrósł jednocześnie udział pojazdów w wieku 16 lat

Tabela 4

Stosunek importowanych samochodów osobowych oraz stosunek rejestracji nowych samochodów osobowych do ogółu zarejestrowanych samochodów osobowych

Lata					
2006	2007	2008	2009	2010	2011
Stosunek importowanych samochodów osobowych do ogółu zarejestrowanych samochodów osobowych					
6,1	6,8	6,9	4,2	4,2	3,7
Stosunek rejestracji nowych samochodów osobowych do ogółu zarejestrowanych samochodów osobowych					
b.d	8,8	9,3	6,7	8,5	7,6

Źródło: opracowanie własne.

Z drugiej strony liczba eksportowanych z kraju samochodów używanych jest tak niska, że dane dotyczące eksportu nie mają większego znaczenia i nie muszą być uwzględnione w ocenie i szacunkach dotyczących perspektywicznej liczby PWE (tab. 5).

i starszych z 43,9% w 2010 r. do 45,8% w roku 2011 (tab. 6)<sup>2</sup>.

W 2011 roku na 1000 mieszkańców przypadały 474 samochody w porównaniu z 451 w roku poprzednim (wzrost o 5%) (tab. 7). W związku z systematycznym

Tabela 5

Wielkość eksportu samochodów używanych z Polski oraz ich średni wiek w latach 2006–2011

Lata					
2006	2007	2008	2009	2010	2011
Liczba pojazdów zbytych za granicę					
b.d	12 710	6 020	8 270	12 206	18 178
Średni wiek pojazdów zbytych za granicę					
b.d	b.d	14,36	10,96	10,0	10,0
Stosunek samochodów osobowych zbytych za granicę do ogółu zarejestrowanych samochodów osobowych					
b.d	0,09	0,04	0,05	0,07	0,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie: „Sprawozdanie Rzeczypospolitej Polskiej na temat osiągniętych poziomów ponownego użycia i odzysku oraz ponownego użycia i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji”.

W 2011 roku zaobserwowano zmiany w strukturze samochodów osobowych zarówno pod względem masy całkowitej pojazdów, jak i grup wiekowych oraz rodzajów stosowanego paliwa. W ogólnej liczbie zarejestrowanych samochodów osobowych wzrósł udział samochodów o masie 1900 kg i większej z 14,1% w 2010 r. do 15,7% w roku 2011. Pojazdy o DMC do 1399 stanowiły 33,3% (w 2010 r. — 35,3%).

Pod względem rodzajów stosowanego paliwa zmniejszył się udział samochodów z silnikami benzynowymi z 61,0% w 2010 r. do 59,2% w 2011 r. na korzyść pojazdów z silnikami wysokoprężnymi (wzrost

przyrostem liczby pojazdów wskaźnik motoryzacji osiągnął średnią unijną (w 2010 średnia dla 27 krajów UE wynosiła 473 samochody osobowe na 1000 mieszkańców).

Zamieszczone wyżej dane świadczą o tym, że w najbliższym czasie bardzo duża grupa samochodów będzie wycofana z użytkowania i przeznaczona do recyklingu. Pozyskane części i odpady należy racjonalnie zagospodarować, aby nie stanowiły zagrożenia dla środowiska przyrodniczego<sup>3</sup>.

Interesujące dane dotyczące grupy samochodów osobowych w wieku przekraczającym 30 lat podaje GUS (Transport. Wyniki działalności w 2011). We-



Tabela 6

Struktura wiekowa pojazdów osobowych zarejestrowanych w Polsce w latach 2006–2011

	Lata											
	2006		2007		2008		2009		2010		2011	
<b>POLSKA</b>	<b>13 384 229</b>		<b>14 588 739</b>		<b>16 079 533</b>		<b>16 494 650</b>		<b>17 239 800</b>		<b>18 125 490</b>	
<b>struktura</b>	<b>szt.</b>	<b>%</b>	<b>szt.</b>	<b>%</b>	<b>szt.</b>	<b>%</b>	<b>szt.</b>	<b>%</b>	<b>szt.</b>	<b>%</b>	<b>szt.</b>	<b>%</b>
do 2	652 453	4,9	684 430	4,7	838 834	5,2	832 504	5,0	772 974	4,5	668 440	3,8
3–5	880 165	6,6	1 009 495	6,9	1 101 054	6,8	1 098 171	6,7	1 143 109	6,3	1 239 298	6,9
6–10	3 368 548	25,2	3 255 369	22,3	3 202 169	19,9	3 048 493	18,5	2 907 921	16,9	2 182 514	12,0
11–15	3 428 743	25,6	3 895 575	26,7	4 435 291	27,6	4 614 201	28,0	4 892 671	28,4	7 884 187	31,5
16–20	1 937 961	14,5	2 326 393	15,9	2 699 360	16,8	2 911 471	17,6	3 254 615	18,9	3 563 559	19,7
21–30	2 572 438	19,2	2 722 319	18,6	2 876 709	17,9	2 819 429	17,1	2 872 231	16,7	2 047 834	16,8
31 i starsze	543 921	4,0	695 158	4,8	926 116	5,8	1 170 381	7,1	1 444 279	8,4	1 687 172	9,3
Średnia wieku	14		14,3		14,8		15,1		15,5		ok. 16	

Źródło: opracowanie własne na podstawie roczników statystycznych RP (wyd. GUS).

Tabela 7

Samochody osobowe w Polsce w przeliczeniu na 1000 ludności Polski w latach 2006–2011

Wyszczególnienie	Lata					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>POLSKA</b>	<b>351</b>	<b>383</b>	<b>422</b>	<b>432</b>	<b>451</b>	<b>474</b>
<b>województwa</b>						
dolnośląskie	348	381	420	433	455	476
kujawsko-pomorskie	320	355	410	427	447	461
lubelskie	319	347	383	399	421	439
lubuskie	372	402	437	444	465	487
łódzkie	341	373	412	429	450	474
małopolskie	348	376	408	417	435	450
mazowieckie	402	440	484	483	500	518
opolskie	358	414	449	458	480	512
podkarpackie	320	343	372	382	400	417
podlaskie	316	340	366	378	395	409
pomorskie	354	386	424	433	451	467
śląskie	346	374	409	420	440	464
świętokrzyskie	322	354	395	407	426	418
warmińsko-mazurskie	302	333	370	387	405	417
wielkopolskie	403	438	484	492	510	531
zachodniopomorskie	300	337	384	401	420	438

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

dług raportu grupa ta liczy ok. 1,6 mln samochodów (tab. 6). Jest wielce prawdopodobne, że liczba ta nie jest jednak do końca prawdziwa, co potwierdzają informacje pochodzące z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK). Według tych danych w tej grupie istnieje wiele aut, które już dawno nie jeżdżą po polskich drogach, a nie zostały wyrejestrowane przez ich właścicieli. W grupie tej mogą się również znajdować samochody o podwójnych rejestracjach, do tej pory nieusunięte z systemu.

Jak wynika z dostępnych danych w latach 2006–2011 legalnie wyrejestrowano co najmniej milion pojazdów (1 051 067 — dane za lata 2008–2011), z czego do demontażu w SD trafiły 1 277 074 pojazdy (dane za lata 2006–2011; tab. 8). Liczba wyrejestrowanych pojazdów w roku 2011 nie odzwierciedla

faktycznego stanu, ponieważ nie wiadomo ile pojazdów nie zostało wyrejestrowanych i przejętych przez tzw. „szarą strefę”.

We Wspólnocie Europejskiej, zgodnie z dyrektywą 2000/53/WE 85% pojazdu (masy), musi być odzyskane i ponownie wykorzystane do 2006 r. i 95% w 2015 roku. W 2011 r. w Polsce współczynniki recyklingu i odzysku wynosiły odpowiednio 89,5% i 91,5% (tab. 9). W Polsce wskaźniki odzysku i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji są stosunkowo wysokie, dorównują wartością innym krajom europejskim (tab. 10). Producenci samochodów są zobowiązani do przyjęcia z powrotem, demontażu i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji, jak również do pokrycia kosztów tych działań zgodnie z wymogami określonymi w dyrektywie 2000/53/WE.

Tabela 8

Liczba samochodów osobowych wyrejestrowanych i przekazanych do stacji demontażu oraz współczynnik demontażu w Polsce w latach 2006–2011

Lata					
2006	2007	2008	2009	2010	2011
Liczba pojazdów wyrejestrowanych <sup>4</sup>					
b.d	b.d	214 221	239 346	265 588	331 912
Liczba pojazdów wyrejestrowanych ze względu na demontaż					
150 987	171 258	189 871	210 218	259 588	295 152
Średni wiek pojazdu wyrejestrowanego ze względu na demontaż					
b.d	b.d	18,46	18,44	18,00	18,20
Stosunek pojazdów wyrejestrowanych ze względu na demontaż do ogólnej liczby pojazdów wyrejestrowanych					
—	—	88,63	87,83	97,74	88,92
Współczynnik demontażu <sup>5</sup>					
1,13	1,17	1,31	1,27	1,50	1,63

Opracowane w 2004 r. prognozy wykazywały, że w 2006 r. liczba złomowanych samochodów w Polsce będzie wynosiła ok. 540 tys. sztuk, w 2010 r. — ok. 700 tys. sztuk, a w 2014 r. — ok. 950 tys. sztuk. Prognozy te znacznie odbiegają od rzeczywistego poziomu demontażu.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: „Sprawozdanie Rzeczypospolitej Polskiej na temat osiągniętych poziomów ponownego użycia i odzysku oraz ponownego użycia i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji”.

Tabela 9

Wielkość współczynnika recyklingu i demontażu PWE w Polsce w latach 2006–2011

Wyszczególnienie	Lata					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
współczynnik recyklingu	84,74	72,74	79,48	87,13	88,80	89,5
współczynnik odzysku	85,80	76,99	80,13	88,00	89,80	91,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie: „Sprawozdanie Rzeczypospolitej Polskiej na temat osiągniętych poziomów ponownego użycia i odzysku oraz ponownego użycia i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji”.

Tabela 10

Pojazdy wycofane z eksploatacji w krajach europejskich w latach 2006–2010 (szt.)

Wyszczególnienie	Lata				
	2006	2007	2008	2009	2010
1	2	3	4	5	6
Belgia	131 043	127 949	141 521	140 993	170 562
Bułgaria	45 127	23 433	38 600	55 330	69 287
Czechy	56 582	72 941	147 259	155 425	145 447
Dania	102 202	99 391	101 042	96 830	100 480
Niemcy	499 756	456 436	417 534	1 778 593	500 193
Estonia	11 035	12 664	13 843	7 528	7 268
Irlandia	—	112 243	127 612	152 445	158 237
Grecja	29 689	47 414	35 201	115 670	95 162
Hiszpania	954 715	881 164	748 071	952 367	839 637
Francja	930 000	946 497	1 109 876	1 570 593	1 583 283
Włochy	1 379 000	1 692 136	1 203 184	1 610 137	1 246 546
Cypr	1 032	2 136	14 274	17 303	13 219
Łotwa	6 288	11 882	10 968	10 590	10 640
Litwa	13 877	15 906	19 534	19 656	23 351
Luksemburg	4 864	3 536	2 865	6 908	6 303
Węgry	20 976	43 433	37 196	26 020	15 907
Holandia	192 224	166 004	152 175	191 980	232 448
Austria	87 277	62 042	63 975	87 364	82 144
Polska	150 987	171 258	189 871	210 218	259 576
	2,48% <sup>6</sup>	2,60%	2,97%	2,31%	3,48%

1	2	3	4	5	6
Portugalia	25 641	90 509	107 746	107 946	107 419
Rumunia	21 234	36 363	51 577	55 875	190 790
Słowenia	9	8 409	6 780	7 043	6 807
Słowacja	15 069	28 487	39 769	67 795	35 174
Finlandia	14 945	15 792	103 000	96 270	119 000
Szwecja	283 450	228 646	150 197	133 589	170 658
Wielka Brytania	995 569	1 138 496	1 210 294	1 327 517	1 157 438
Lichtenstein	–	82	91	72	107
Norwegia	105 324	95 128	130 018	95 000	112 537
<b>OGÓLEM</b>	6 076 915	6 590 377	6 394 073	9 097 067	7 459 620
<b>Średnia<sup>7</sup></b>	217 033	235 371	228 360	324 895	266 415
Średnia wyrażona w % dla 28 krajów to 3,57%					

Jeśli przyjąć, że średnia europejska to 100 wówczas PWE w Polsce osiągnęły następujące: 2006 r. — 69,45; 2007 r. — 72,83; 2008 r. — 83,19; 2009 r. — 64,70; 2010 r. — 97,48.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat.

Liczba PWE w danym kraju zależy od wielu czynników, z których do najistotniejszych należy zaliczyć:

- liczbę pojazdów będących już w eksploatacji;
- ich strukturę wiekową;
- liczbę importowanych pojazdów używanych oraz ich strukturę wiekową;
- wielkość eksportu samochodów używanych.

Jednak podstawą szacunków liczby pojazdów wycofanych z eksploatacji jest park samochodowy i jego rozwój. Historyczne dane można uzyskać ze statystyk rejestracyjnych. Oszacowanie przyszłego parku samochodowego jest często oparte na sytuacji gospodarczej, współczynnikach demograficznych, dochodach ludności, PKB *per capita* oraz poziomie nasyceńia rynku samochodami.

W roku 2011 w krajach UE wycofano z użytku 11,2 miliona pojazdów. Średnio dwie trzecie wycofanych pojazdów, czyli 7,5 mln, przetworzono w oficjalnej sieci recyklingu. Pozostała część, czyli 3,7 mln samochodów wycofanych z eksploatacji, nie trafiła po wyrejestrowaniu do recyklingu. Część z nich została wyeksportowana poza kraje Unii Europejskiej. Dotyczy to zwłaszcza pojazdów wycofanych z eksploatacji w Niemczech, gdzie utylizacji podlega zaledwie 40% (w 2011 było to 500 000 szt.) PWE, a ponad 700 tys. samochodów jest wywożona poza granice kraju, z czego większość do krajów Europy Środkowo-wschodniej.

Podstawową metodą obliczania ilości PWE jest bilans samochodów na podstawie danych statystycznych prezentowanych w równaniu 1. Ilość samochodów wycofanych z eksploatacji może być wyrażona jako:

$$R(F)_t = F_{t-1} - F_t + N_t + I_t - E_t$$

gdzie:

$R(F)_t$  — liczba samochodów wycofanych z eksploatacji w roku  $t$ ,

$F_t$  — park samochodowy w roku  $t$ ,

$N_t$  — liczba nowych rejestracji w roku  $t$ ,

$I_t$  — liczba importowanych aut używanych w roku  $t$ ,  $a$ ,

$E_t$  — liczba samochodów wyeksportowanych w roku  $t$ .

Liczba samochodów wycofanych z użytkowania może być również obliczana w oparciu o dane z rozkładu wieku samochodów będących aktualnie w eksploatacji. Na podstawie średniego wieku pojazdów, liczba samochodów wycofanych z użytkowania może być wyrażona jako:

$$R(A)_t = F_{t-1} - \left( \frac{F_t * ft - N_t - \pi * I_t}{1 + ft - 1} \right)$$

gdzie:

$R(A)_t$  — liczba samochodów wycofanych z eksploatacji w roku  $t$ ,

$F_t$  — park samochodowy w roku  $t$ ,

$N_t$  — liczba nowych rejestracji w roku  $t$ ,

$I_t$  — liczba importowanych aut używanych w roku  $t$ ,

$ft$  — średni wiek samochodów w parku w roku  $t$ ,

$\pi$  — średni wiek importowanych samochodów używanych.

Również rozkład struktury wiekowej samochodów może być wykorzystany jako podstawa do oszacowania liczby samochodów przeznaczonych do wycofania z eksploatacji. W Polsce w latach 2006–2012 średni wiek PWE miał tendencję malejącą/rosnącą. Cykl życia (żywołność) poszczególnych roczników samochodów można opisać matematycznie używając w tym celu wzoru bazującego na rozkładzie Weibulla.

$$F(T) = e - \left( \frac{T - \theta}{\lambda} \right)^k \text{ lub } F(T) = 1 \text{ dla } T \leq \theta$$

gdzie:

$T$  jest to wiek samochodów,  $F(T)$  jest funkcją życia dającą część samochodów z rocznika  $v$  nadal w eksploatacji w roku  $t$ , ( $T = t - v$ ).  $\lambda > 0$  (skala wzdłuż osi  $y$ ),  $k > 0$  (kształt) i  $\theta$  (lokalizacja wzdłuż osi  $x$ ) to parametry opisujące rozkład Weibulla. W kalibracji modelu zakłada się, że  $\theta = 0$ . Oznacza to, że model dopuszcza wycofanie samochodu z eksploatacji już w pierwszym roku jego użytkowania, np. z powodu wypadków samochodowych lub innych przyczyn określonych

nych w przepisach prawnych. Zakładając, że kształt rozkładu Weibulla pozostaje taki sam w ciągu ostatnich dziesięcioleci, a ilość nowych rejestracji średnio wzrastała liniowo w tym samym okresie (dwukrotnie w ciągu ostatnich 30 lat), liczba samochodów wycofanych z eksploatacji może być wyrażona jako:

$$R(S)_t = \sum_{i=t-n}^t a_{i,t} * (N_i + \sum_{j=i}^{i+m} b_{j,i} * l_j)$$

gdzie:

- $R(S)_t$  — liczba samochodów usuniętych z eksploatacji w roku  $t$ ,  
 $a_{i,t}$  — udział samochodów zarejestrowanych w roku  $i$ , które są złomowane w roku  $t$  (obliczona z równania.  $3 z \lambda = 20,1$  oraz  $k = 6,94$ ),  
 $b_{j,i}$  — udział samochodów używanych, które są sprowadzane w  $j$  roku i pierwotnie zarejestrowane w roku  $i$ ,  
 $n$  — liczba lat, podczas których wszystkie samochody zarejestrowane w danym roku będą złomowane,  
 $m$  — liczba lat, w którym wszystkie samochody osobowe sprowadzone w danym roku zostały pierwotnie zarejestrowane<sup>8</sup>.

Dotychczasową liczbę SWE w Polsce w latach 2006–2011 prezentuje rysunek 1.

Z prezentowanych danych wejściowych wynika, że ilości te powinny znacząco wzrosnąć w najbliższych latach. Podobnego zdania są pracownicy Politechniki Poznańskiej, którzy uważają, że *szacunki liczby pojazdów podlegającej ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji wskazują, że w kraju powinno się wycofywać z eksploatacji rocznie ok. 5% istniejącego parku samochodowego*. W odniesieniu do danych z 2011 r. w przypadku naszego kraju liczba PWE z przeznaczeniem do demontażu oscylowałaby w granicach 900 tys. szt./rok. Można też założyć, że demontażowi w SD należałoby poddać 10% pojazdów z grupy wiekowej powyżej 16 lat. Wówczas liczba PWE wyniosłaby ponad 700 tys. szt./rok.

## Przypisy

<sup>1</sup> Taka sytuacja wpływa przede wszystkim na bezpieczeństwo. Większość aut w wieku powyżej 15 lat zdecydowanie odbiega od idealnego stanu technicznego, co może determinować wzrost wypadków na drogach. Choć w Polsce nie prowadzi się oficjalnych statystyk na ten temat to, jak twierdzą eksperci, zły stan techniczny pojazdów jest przyczyną około 8 proc. wszystkich wypadków drogowych.

<sup>2</sup> Największy odsetek stanowią samochody stare, ponad 16 letnie (ponad 40%). Dla porównania samochody stosunkowo nowe, do 5 lat, stanowią jedynie 10,8%. „Boom” na młodsze samochody nadejdzie nieuchronnie, ponieważ właściciele starych samochodów z czasem będą zmuszeni wymienić swoje wyeksploatowane auta.

<sup>3</sup> Średni cykl życia pojazdu wynosi od 12 do 15 lat. Samochody, które osiągnęły ten pułap, są potencjalnymi kandydatami do recyklingu.

<sup>4</sup> Wyrejestrowanie pojazdu jest możliwe wyłącznie w przypadkach przewidzianych ustawą o ruchu drogowym. Pojazd może zostać wyrejestrowany tylko na wniosek jego właściciela w przypadku, gdy: 1. pojazd (w tym także pojazd niekompletny) został przekazany do przedsiębiorcy prowadzącego stację demontażu lub punkt zbierania pojazdów; 2. kradzieży pojazdu, jeżeli właściciel złożył stosowne oświadczenie pod odpowiedzialnością karną za fałszywe zeznania; 3. wywozu pojazdu z kraju, jeżeli pojazd został zarejestrowany za granicą lub sprzedany za granicę; 4. zniszczenia (kasacji) pojazdu za granicą; 5. udokumentowania trwałej i zupełnej utraty posiadania pojazdu bez zmiany w zakresie prawa własności.

<sup>5</sup> Współczynnik demontażu — stosunek pojazdów wyrejestrowanych ze względu na demontaż do ogólnej liczby pojazdów zarejestrowanych.

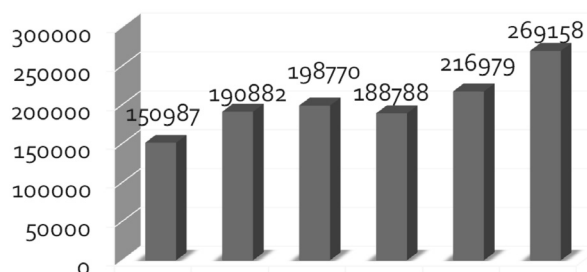
<sup>6</sup> Udział procentowy PWE zdemontowanych na terenie kraju w stosunku do ogółu PWE zdemontowanych w Europie.

<sup>7</sup> Średnia PWE dla 28 krajów. Wartość w % oznacza wartość średniej w stosunku do ogółu PWE zdemontowanych w krajach europejskich.

<sup>8</sup> D-E1 P-Heiskanen et al.pdf — Aalto University Wiki.

Rysunek 1

Pojazdy wycofane z eksploatacji przekazane do SD (szt.)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: „Sprawozdanie Rzeczypospolitej Polskiej na temat osiągniętych poziomów ponownego użycia i odzysku oraz ponownego użycia i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji”.

Otrzymane wyniki wskazują, że w obu przypadkach nastąpił znaczący wzrost ilościowy PWE poddanych demontażowi w funkcjonującej na obszarze kraju sieci SD. Wzrost ten zawarty był w granicach 240–300%. Uzyskanie takich wyników w zakresie demontażu PWE stawiałoby nasz kraj w europejskiej czołówce (4–5 lokata wg danych z 2011 r.). Zwiększenie liczby PWE skutkowałoby również automatycznym wzrostem znaczenia naszego kraju w europejskim systemie demontażu PWE. Demontaż w granicach 700 tys.–900 tys. szt./rok oznacza 9,5–12,0 % udział w całości rynku (aktualnie jest to ok. 3,5%).

Szybki wzrost liczby nowych samochodów w Polsce, jak również struktura wiekowa pojazdów, w której znaczny udział mają pojazdy wyeksploatowane, przyczyniają się do wzrostu liczby pojazdów „złomowanych”. Większość elementów wycofanych z eksploatacji pojazdów ma wartość surowcową. Niezbędny jest więc recykling tych materiałów, pozwalający na odzyskanie z nich składników użytecznych oraz wytwarzanie nowych wyrobów. W związku z ogólną sytuacją gospodarczą trudno jest dziś szacować ilość PWE przeznaczoną do demontażu w najbliższych lat.