

## ŚRODOWISKOWE ASPEKTY EKSPLOATACJI ŚRODKÓW TRANSPORTU. ETAP WYCOFANIE Z EKSPLOATACJI ŚRODKÓW TRANSPORTU

### ENVIRONMENTAL ASPECTS OF MAINTENANCE OF TRANSPORT MEANS. END-OF LIFE STAGE OF TRANSPORT MEANS

Artykuł zawiera rozwinięcie koncepcji analizy wpływu na środowisko obiektów technicznych w postaci środków transportu. Podano w nim przykład analizy środowiskowej ostatniego etapu cyklu życia, którym jest etap wycofanie z eksploatacji zużytego środka transportu. W celu przeprowadzenia szczegółowej analizy całego etapy zbudowano system recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji, w którym wyróżniono proces odzysku elementów i materiałów z samochodu wycofanego z eksploatacji. Założenia tego procesu wykorzystano w przeprowadzonych badaniach doświadczalnych w stacji demontażu. Równocześnie otrzymane wyniki z badań doświadczalnych porównano z wynikami badań optymalizacyjnych odzysku elementów i materiałów z samochodów wycofanych z eksploatacji.

**Słowa kluczowe:** samochód wycofany z eksploatacji (SWE), system recyklingu, demontaż.

The present article includes a development of the concepts of the environmental impact of technical objects in the form of means of transport. It includes an example of an environmental analysis of the final stage of the life cycle, i.e. end-of life transport means. For the purpose of a detailed analysis of the whole stage, a recycling system was built of end-of life vehicles, which includes the recovery process of components and materials from an end-of life vehicle. The guidelines for this process were used in experimental tests that were carried out in a disassembly stations. At the same time, the results obtained from the experimental tests were compared with the result of optimization examinations of the recovery of components and materials from end-of life vehicles.

**Keywords:** End-of Life Vehicle (ELV), recycling system, disassembly, dismantling.

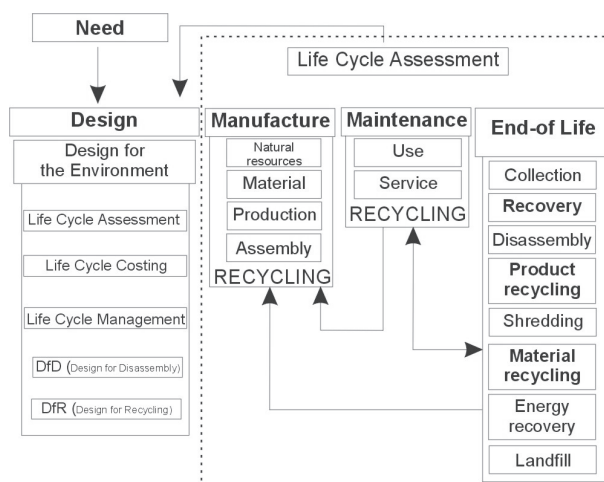
#### 1. Wprowadzenie

Środowiskowe aspekty eksploatacji środków transportu przedstawiam jako te bezpośrednio związane z etapem eksploatacja środków transportu oraz z etapem wycofanie z eksploatacji. W artykule zostanie omówiona problematyka środowiskowych aspektów eksploatacji środków transportu na etapie wycofania ich z eksploatacji. Wybór tej problematyki został poparty przeprowadzonymi badaniami literatury z tego zakresu oraz badaniami doświadczalnymi przeprowadzonymi w stacjach demontażu. Opracowania środowiskowego oddziaływania środków transportu można podzielić na poszczególne zakresy tematyczne. Pierwszoplanowym zakresem jest ocena cyklu życia środków transportu obejmująca wytwarzanie, eksploatację i wycofanie z eksploatacji (rys. 1) z rozbudowanym ostatnim etapem cyklu życia [9, 16, 20]. Następny zakres to poszukiwanie systemowych rozwiązań problemu zagospodarowania wycofanych z eksploatacji środków transportu [3, 5, 10, 12, 15, 17, 21]. Ostatni etap ale równocześnie pierwszoplanowy to technologie umożliwiające przeprowadzenie odzysku elementów i materiałów z wycofanych z eksploatacji

#### 1. Introduction

The environmental aspects of the operation of transport means are presented as those that are directly related to the stage of the operation of means of transport and the end-of life stage. This article will cover the issues of the environmental aspects of the operation of transport means at their end-of life stage. The selection of this problem was support with a review of the literature in this area as well as experimental examinations that were conducted in disassembly stations. Studies of the environmental impact of transport means can be divided into individual subject areas. The primary area is an assessment of the life cycle of transport means related to the production, maintenance and end-of life (fig. 1) with an extended last stage of the life cycle [9, 16, 20].

The next area covers seeking of system solutions to the problem of the reuse of end-of life means of transport [3, 5, 10, 12, 15, 17, 21]. The last stage, which however is the primary stage, is those technologies that facilitate recovery of components and materials from end-of life means of transport [11, 14]. This stage includes the shredding process [4, 19] as well as the disassembly and



Rys. 1. Cykl życia środków transportu

Fig. 1. The life cycle of transport means

środków transportu [11, 14]. Na tym etapie należy wyróżnić proces strzępienia [4, 19] i proces demontażu niszczącego i nieniszczącego. Problem realizacji procesu demontażu, który jest pierwszym i podstawowym procesem umożliwiającym realizację odzysku elementów i materiałów z wycofanych z eksploatacji środków transportu został omówiony w literaturze [6, 7, 8, 14, 15, 18, 22, 23], w której rozważane są kwestie organizacji oraz optymalizacji tego procesu.

## 2. System recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji

Zaproponowany w pracy system recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji jest propozycją systemu, który powstał w oparciu o europejskie uregulowania prawne w odniesieniu do recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji [24, 26, 27, 28, 29, 30]. Określone w nich obowiązki dla tych wszystkich, którzy uczestniczą w procesie zagospodarowywania zużytych samochodów, były podstawą do budowania systemu. Do obowiązków tych zaliczamy:

- obowiązki właścicieli pojazdów,
- obowiązki producentów i wprowadzających pojazdy,
- obowiązki przedsiębiorców prowadzących stacje demontażu,
- obowiązki przedsiębiorców prowadzących punkty zbierania pojazdów,
- obowiązki przedsiębiorców prowadzących strzępiarki i specjalistyczne zakłady recyklingu materiałów,
- obowiązki organów administracji publicznej.

System zbudowano na podstawie wzajemnych powiązań poszczególnych modułów i części systemu, w której wyróżniono odzysk elementów i materiałów z samochodu wycofanego z eksploatacji, gdzie jest realizowany proces demontażu zużytego pojazdu (rys. 2).

### 2.1. Decyzja o wycofaniu samochodu z eksploatacji

Decyzja o wycofaniu samochodu z eksploatacji opracowywana jest jako analiza procesu eksploatacji, wynik analizy zużycia oraz oceny stanu technicznego pojazdu. Na podstawie tych informacji właściciel pojazdu podejmuje decyzję o dalszej eksploatacji samochodu lub jego wycofaniu z eksploatacji. Dopuszczalna jest jeszcze decyzja o sprzedaży samochodu lub pozostawieniu go w innych celach. Algorytm podejmowania decyzji o wycofaniu samochodu z eksploatacji przedstawiono na rysunku 3.

W zamodelowanym algorytmie wyróżniono moduł eksploatacja, moduł zużycie oraz moduł ocena stanu technicznego pojazdu. Informacje odnośnie czy dany pojazd jest użytkowany, obsługiwany lub użytkowany i obsługiwany są gromadzone w pierwszym module. Natomiast informacje o stanie zużycie danego pojazdu określane są za pomocą dwóch parametrów: potencjału niszczącego  $Q_f(t)$  i potencjału eksploatacyjnego  $Q_g(t)$ , które są analizowane w modelu zużycie pojazdu. Równocześnie w module ocena stanu technicznego pojazdu na podstawie przeprowadzanych badań diagnostycznych pojazd zostaje przypisany do określonego stanu. Wyróżniono cztery stany pojazdu  $\epsilon$  [1, 2]: stan sprawności  $\epsilon_s$ , stan niesprawności  $\epsilon_{sn}$ , stan zdatości  $\epsilon_z$ , stan niezdatności  $\epsilon_{nz}$ .

dismantling. The problem of the execution of the disassembly process, which constitutes the first and basic process that facilitates the recovery of components and materials from end-of life transport means has been discussed in the literature [6, 7, 8, 14, 15, 18, 22, 23] where the issues of the organization and optimization of this process are considered.

## 2. Recycling system of end-of life vehicles

The recycling system of end-of life vehicles as put forward in this paper constitutes a proposal of the system that was created on the basis of the EU regulations related to the recycling of end-of life vehicles [24, 26, 27, 28, 29, 30]. The obligations that are specified in relation to all of those participating in the reuse of worn-out vehicles served as the basis for the construction of the said system. These duties include the following:

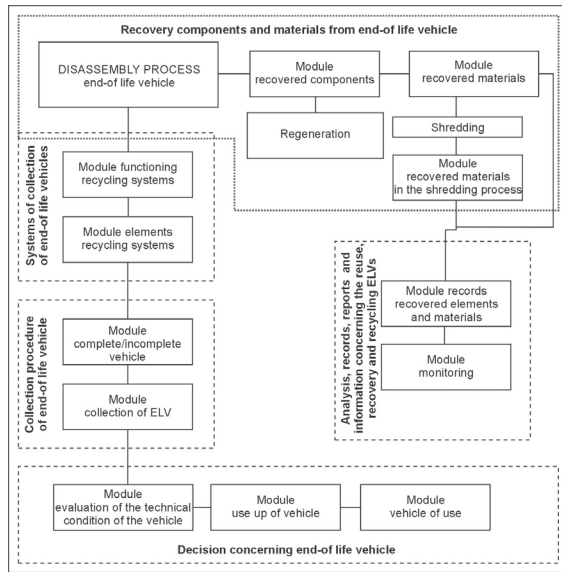
- responsibilities of the owners of vehicles,
- responsibilities of the manufacturers and those who market vehicles,
- responsibilities of those entrepreneur who run disassembly stations,
- responsibilities of those entrepreneurs who run collection points,
- responsibilities of those entrepreneurs who deal with rippers and specialist material recycling plants,
- responsibilities of public administration bodies.

The system was constructed on the basis of interrelations of the individual modules and the part of the system where the recovery of components and materials from end-of life vehicle was distinguished, and where the disassembly process of a worn-out vehicle is realized (fig. 2).

### 2.1. Decision concerning end-of life vehicle

The decision concerning phasing out of a vehicle is developed as an analysis of the maintenance process, the result of the wear analysis and an assessment of the technical condition of the vehicle. The owner of the vehicle makes a decision on the basis of this information concerning the further maintenance of the end-of life vehicle. A decision concerning the sale of the vehicle or leaving it for other purposes is permissible, as well. The algorithm concerning taking decisions in relation to the end-of life vehicle is presented in fig. 3.

In the algorithm modeled, the module of operation, the module of wear and the module of an assessment of the vehicle's technical condition are distinguished. The information as to whether a given vehicle is being used, serviced or used and serviced is stored in the first module. The information concerning the condition of a worn-out vehicle is determined with the aid of two parameters: the destructive potential  $Q_f(t)$  and the use potential  $Q_g(t)$ . This information is analyzed in the module of the vehicle wear. At the same time, in the module of an assessment of the vehicle's technical condition, the vehicle is assigned to a specific condition on the basis of the diagnostic tests performed. Four states of the vehicle's condition are distinguished  $\epsilon$  [1, 2]: the efficiency state  $\epsilon_s$ , the inefficiency state  $\epsilon_{sn}$ , the usability state  $\epsilon_z$  and the non-usability state  $\epsilon_{nz}$ .



Rys. 2. Schemat systemu recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji

Fig. 2. The recycling system of end-of life vehicles

2.2. Procedura przyjęcia samochodu

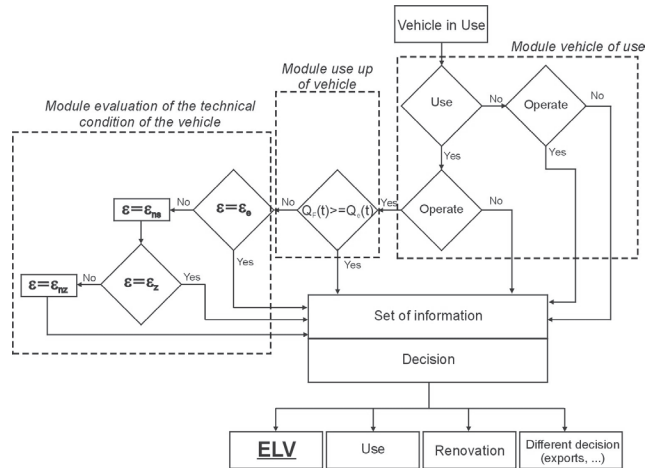
Wszystkie pojazdy, co do których podjęto decyzję o wycofaniu ich z eksploatacji, należy przekazać do punktów zbierania pojazdów lub stacji demontażu, posiadających odpowiednio zezwolenie na prowadzenie działalności w zakresie zbierania odpadów, pozwolenie na przetwarzanie odpadów lub pozwolenie zintegrowane. Równocześnie obowiązkiem przedsiębiorcy prowadzącego punkt zbierania pojazdów, stację demontażu jest przyjęcie każdego SWE posiadającego cechy identyfikacyjne pojazdu określone w ustawie prawo o ruchu drogowym [28]. W przypadku, jeżeli nie jest możliwe ustalenie cechy identyfikacyjnej SWE, przedsiębiorca prowadzący punkt zbierania pojazdów lub stację demontażu nie wydaje zaświadczenia o przyjęciu niekompletnego SWE i może odmówić przyjęcia SWE. Ponadto przy przyjmowaniu SWE nie pobiera się opłaty, jeżeli pojazd jest zarejestrowany na terytorium kraju, jest kompletny, nie zawiera innych odpadów, które nie pochodzą z danego pojazdu. Pojazd kompletny to taki, który zawiera wszystkie elementy ze zbioru istotnych elementów IE określonego w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [25] i prawdziwa jest nierówność:

$$M_p \geq M_{swe} \geq M_{po} \quad (1)$$

gdzie:  $M_p$  – masa własna pojazdu,  $M_{swe}$  – masa przyjmowanego samochodu wycofanego z eksploatacji,  $M_{po}$  – masa pojazdu obliczeniowa definiowana jako  $M_{po} = 0,9 \times M_p$ ,  $M_p = m_w - m_p$ ,  $m_w$  – masa własna pojazdu określono w homologacji pojazdu,  $m_p$  – masa paliwa w ilości nominalnej, która ustala się na 40kg.

W przypadku, jeżeli przyjmowany samochód wycofany z eksploatacji jest niekompletny, to punkt zbierania pojazdów lub stacja demontażu może pobrać opłatę za przyjęcie niekompletnego pojazdu w wysokości określonej równaniem:

$$O_p = (M_p - M_{swe}) \times S_{kg} \quad (2)$$



Rys. 3. Algorytm podejmowania decyzji o wycofaniu samochodu z eksploatacji

Fig. 3. Algorithm of decision concerning end-of life vehicle

2.2. Collection procedure of end-of life vehicle

Any vehicles as to which a decision has been made concerning ending of their life need to be transferred to vehicle collection points or disassembly stations that possess appropriate licenses to run a business related to the collection of waste, a permit related to waste processing or an integrated permit. At the same time, it is the duty of any entrepreneur who runs a vehicle collection point or a disassembly station to accept any ELV that possesses the vehicle's identification features as specified in the act on road traffic [28]. If it is not possible to determine the ELV identification feature, an entrepreneur who runs a vehicle collection point or a disassembly station does not issue any certificate of accepting an incomplete ELV, and may refuse to accept an end-of life vehicle. Furthermore, when accepting an ELV, no fee is charged if the vehicle is registered at home, is complete, does not include any other waste that is not from a given vehicle. A complete vehicle is one which includes all the elements from the set of the substantial components of IE as specified in the regulation by the Minister of Infrastructure, and inequality [25] is true:

$$M_p \geq M_{swe} \geq M_{po} \quad (1)$$

where:  $M_p$  – weight of vehicle,  $M_{swe}$  – weight of end-of life vehicle,  $M_{po}$  – calculation weight of vehicle:  $M_{po} = 0,9 \times M_p$ ,  $M_p = m_w - m_p$ ,  $m_w$  – certification weight of vehicle,  $m_p$  – weight of fuel 40kg.

If an end-of life vehicle that is being accepted is incomplete, a vehicle collection point or a disassembly stations may charge a fee for taking an incomplete vehicle to an amount that is determined with equation:

$$O_p = (M_p - M_{swe}) \times S_{kg} \quad (2)$$

gdzie:  $O_p$  – stawka za przyjęcie pojazdu niekompletnego,  $S_{kg}$  – stawka za 1kg brakującej masy pojazdu określona w ustawie [30]. Algorytm procedury przyjmowania samochodu do stacji demontażu lub punktu zbierania pojazdu przedstawiono na rysunku 4.

2.3. Sieć recyklingu

Sieć zbierania pojazdów umożliwi zebranie samochodów wycofanych z eksploatacji i przekazanie ich do stacji demontażu, gdzie będą poddane procesowi demontażu. Odzyskane w ten sposób elementy i materiały będzie trzeba ponownie przetworzyć. Dlatego zasadnym jest powiększenie sieci zbierania pojazdów o następujące elementy: punkty zbierania pojazdów, stacje demontażu, zakłady strzępienia. Powstała w wyniku rozszerzenia struktura to sieć recyklingu, której funkcjonowanie zostało oparte na trzech poszczególnych modelach, do których zaliczamy model jednostopniowy, model dwustopniowy typu A i model dwustopniowy typu B. Idea funkcjonowania modelu jednostopniowego została przedstawiona na rysunku 5. W modelu tym rolę stacji demontażu przejmują zakłady strzępienia, do których samochody wycofane z eksploatacji dostarczane są z punktów zbierania pojazdów. Natomiast w modelu dwustopniowym typu A samochody wycofane z eksploatacji są dostarczane bezpośrednio do stacji demontażu z pominięciem punktów zbierania pojazdów (rys. 6), a w modelu dwustopniowym typu B wykorzystywane są punkty zbierania pojazdów (rys. 7). Dostarczone samochody do stacji demontażu są demontowane pod kątem odzyskania elementów i materiałów, a zdemontowana karoseria samochodu jest przetransportowana do zakładu strzępienia.

2.4. Odzysk elementów i materiałów z samochodu wycofanego z eksploatacji

Powstały odpad w postaci samochodu wycofanego z eksploatacji należy, zagospodarować w sposób bezpieczny i przyjazny dla życia i zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego. Zagospodarowanie to ma polegać na maksymalnym wykorzystaniu pochodzących z tych samochodów elementów i materiałów w eksploatacji i przemyśle, bardzo ograniczonego wy-

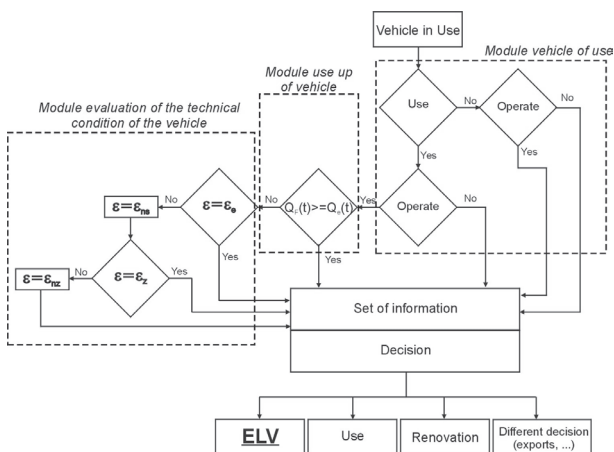
where:  $O_p$  – rate take incomplete vehicle,  $S_{kg}$  – rate for 1kg [30]. The collection algorithm of the end-of life vehicle is presented in fig. 4.

2.3. System of collection of end-of life vehicles

A system of collection of ELV will make it possible to collect end-of life vehicles and to transfer them to a disassembly station, where they will undergo a disassembly process. The components and materials that are recovered in this manner need to be recycled. Therefore, it is justifiable to extend vehicle collection networks to include the following elements: vehicle collection points, disassembly stations and shredding plants. The structure obtained as a result of this extension constitutes a recycling network whose functioning is based on three individual models, which include a single-stage model, a two-stage A type model and B type two-stage model. The idea of the functioning of the single-stage model is presented in fig. 5. In this model, shredding plants perform the function of disassembly stations. End-of life vehicles are supplied to these companies from vehicle collection points. In A type two-stage model, end-of life vehicles are supplied directly to disassembly stations with vehicle collection points being omitted (fig. 6), whereas in B type two-stage model, vehicle collection points are used (fig. 7). Vehicles that are supplied to a disassembly station are dismantled with the aim of a recovery of components and materials, and the car body that has been disassembled is transported to the shredding plant.

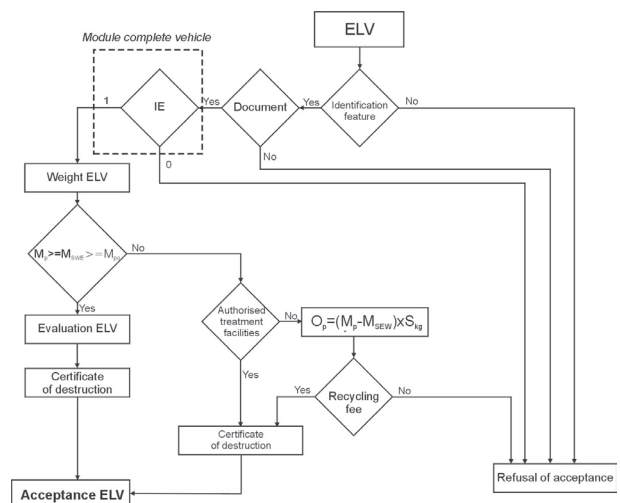
2.4. Recovery of components and materials from end-of life vehicle

The waste in the form of an end-of life vehicle is to be managed in a manner that is safe and friendly to the human life and health as well as to the natural environment. This waste management is to consist in a maximum use of the components and materials from these vehicles in operation and industry, a very limited use in power engineering and a sporadic dispo-



Rys. 4. Algorytm przyjmowania SWE do punktu zbierania pojazdów lub stacji demontażu

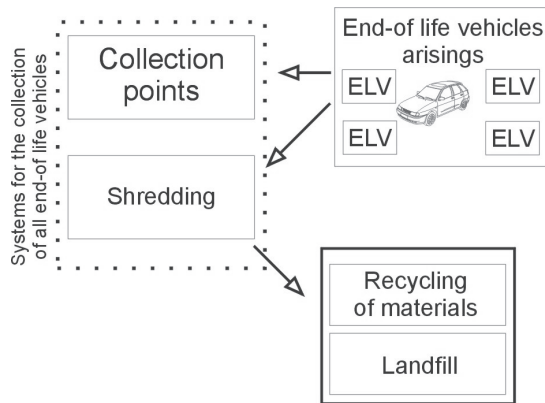
Fig. 4. The collection algorithm of the end-of life vehicle



Rys. 5. Schemat modelu jednostopniowego

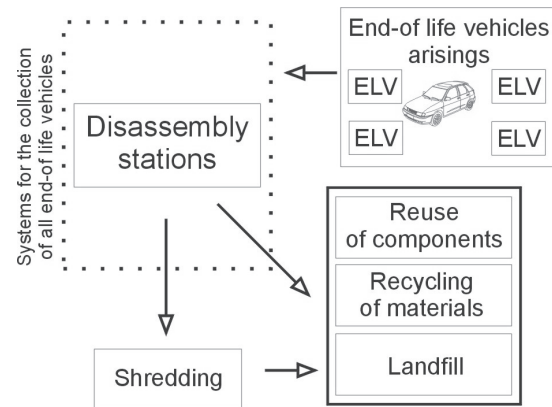
Fig. 5. The single-stage model





Rys. 6. Schemat modelu dwustopniowego typu A

Fig. 6. The two-stage model type A



Rys. 7. Schemat modelu dwustopniowego typu B

Fig. 7. The two-stage model type B

korzystania w energetyce aż do sporadycznego składowania pozostałości na składowisku odpadów. W ramach postępowania z odpadami w postaci zużytych pojazdów, mamy do czynienia z odzyskiem, którego idea została oparta na procesie demontażu. Demontaż prowadzi do tzw. recyklingu produktowego. Jest on często określany jako pierwszy etap/faza/krok recyklingu, od którego zależy jego postęp i rozwój. Aby został prawidłowo rozwiązany należy rozważyć, jaki jest cel demontażu w procesie recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji, czemu ma służyć, jaki powinien być jego zakres, jakie wymogi musi spełnić i jakich efektów oczekujemy. Jeżeli mówimy o demontażu samochodu wycofanego z eksploatacji, należy wyróżnić cztery główne cele, jakie proces ten ma do spełnienia. **Pierwszy cel** – usunąć źródła zanieczyszczeń środowiska przyrodniczego oraz zapobieżenie groźbie eksplozji w trakcie procesu strzępienia. **Drugi cel** – dokonać najefektywniejszego odzysku elementów do ponownego użycia w eksploatacji lub z przeznaczeniem do regeneracji. **Trzeci cel** – dokonać najefektywniejszego odzysku materiałów i ich segregacji z przeznaczeniem na surowce wtórne. **Czwarty cel** – osiągnąć poziom odzysku i recyklingu określony w ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji.

## 2.5. Analiza, ewidencja i raporty o stanie odzysku

Przedsiębiorstwa uczestniczące w procesie zagospodarowania samochodów wycofanych z eksploatacji, obok obowiązków typowo związanych z prowadzeniem danego przedsiębiorstwa, zostały obciążone licznymi obowiązkami i ograniczeniami, których zadaniem jest niedopuszczenie do skażenia środowiska. Spełnienie tych wszystkich obowiązków wymaga prowadzenia ewidencji odpadów oraz sporządzania rocznego raportu z prowadzonej działalności. Ewidencjonowanie odpadów podanych odzyskowi i recyklingowi odbywa się zgodnie z kartą ewidencji odpadów [26]. W karcie należy podać informacje dotyczące rodzaju odpadu i jego kodu oraz informacji o formach przetworzenia poszczególnych odpadów. Jeżeli pewna grupa odpadów nie jest przetwarzana na miejscu, to stacja demontażu jest zobowiązana do przekazania tych odpadów do specjalistycznych zakładów recyklingu materiałów. Przekazanie odpadu dokumentowane jest za pomocą karty przekazania odpadu, w której jest wyszczególniony kod odpadu i jego masa. Natomiast jeżeli mówimy o efektywności funkcjonowania stacji demontażu to podstawowym miernikiem jest poziom odzysku

sal of remains on a waste dump. Concerning procedures that are related to waste in the form of worn-out vehicles, we deal with recovery, whose idea is based on the disassembly process. Disassembly leads to the so-called product recycling. It is frequently referred to as the first stage/phase/step of recycling, which determines its progress and development. It needs to be considered what the purpose of disassembly is in the recycling process of end-of life vehicles, what its range is to be, what requirements are to be fulfilled by it and what effects are expected. Considering a disassembly of an end-of life vehicle, one needs to distinguish four major goals that are to be reached by this process. **The first objective:** remove pollution sources of natural environment and prevent an explosion risk during the shredding process. **The second objective:** make as effective as possible a recovery of components to be reused in operation or to be regenerated. **The third objective:** make as effective as possible a recovery of materials and their segregation to be used as secondary raw materials. **The fourth objective:** to achieve the level of recovery and recycling as specified in the act on the recycling of end-of life vehicles.

## 2.5. Analysis, record and reports of recovery

Those companies that participate in the process of management of end-of life vehicles, apart from those obligations that are typical of a given business, need to comply with numerous duties and limitations aimed at preventing environment contamination. The fulfillment of all of these obligations requires keeping records of waste and submitting an annual report on the business. Keeping records of waste that is subjected to recovery and recycling is in compliance with the records sheet of wastes. In this sheet, information is to be supplied concerning the waste type and its code, as well as information on processing forms of individual types of waste [26]. If a certain group of wastes is not processed on the spot, a dismantling station is to transfer these wastes to a specialist materials recycling plant. A transfer of the waste is documented with a waste transfer note, which specifies the waste code and mass. As concerns the effectiveness of the functioning of a disassembly station, the recovery rate PO and the recycling rate PR constitute the basic measure. An entrepreneur in charge of a disassembly station is obliged to obtain the rate of the recovery and recycling of end-of life

PO i recyklingu PR. Przedsiębiorca prowadzący stację demontażu jest zobowiązany osiągać poziom odzysku i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji w wysokości 85% i 80% masy pojazdów przyjętych do stacji demontażu rocznie, a od 1 stycznia 2015 roku odpowiednio 95% i 85% masy pojazdów przyjętych do stacji demontażu rocznie [24, 30]. Poziom odzysku i recyklingu określany jest na podstawie następującej zależności:

$$PO = \frac{M_e + M_o + M_{so}}{M_p} \times 100\% \quad (3)$$

$$PR = \frac{M_e + M_r + M_{sr}}{M_p} \times 100\% \quad (4)$$

gdzie: PO – poziom odzysku, PR – poziom recyklingu,  $M_e$  – masa przeznaczonych do ponownego użycia przedmiotów wyposażenia i części (elementy do ponownego użycia w eksploatacji) wymontowanych z przyjętych w danym roku sprawozdawczym pojazdów wycofanych z eksploatacji,  $M_o$  – masa odpadów poddanych procesom odzysku R1-R9 i R13 i R14 [29] na podstawie zaświadczeń potwierdzających odzysk oraz wywiezionych za granicę w celu poddania procesom odzysku na podstawie dokumentów potwierdzających wywóz,  $M_{so}$  – masa frakcji materiałowych pochodzących ze strzępienia, których zagospodarowanie zalicza się do procesów odzysku,  $M_r$  – masa odpadów poddanych procesom recyklingu R2-R9 i R14 [29] na podstawie zaświadczeń potwierdzających recykling oraz wywiezionych za granicę w celu poddania procesowi recyklingu na podstawie dokumentów potwierdzających wywóz,  $M_{sr}$  – masa frakcji materiałowych pochodzących ze strzępienia, których zagospodarowanie zalicza się do procesów recyklingu,  $M_p$  – masa przyjętych samochodów wycofanych z eksploatacji do stacji demontażu.

### 3. Zadanie odzysku elementów i materiałów z samochodu wycofanego z eksploatacji

Zadanie polega na przeprowadzeniu odzysku elementów i materiałów z samochodu wycofanego z eksploatacji wyposażonego w instalację gazową o przyjętym do celów zadania symbolu  $SWE(PC)_1$ . Celem zadania na podstawie następujących danych:

- struktury samochodu  $SWE(PC)_1$  opisanej równaniem:

$$SWE(PC)_1 = (D, E, P) \quad (5)$$

gdzie: D – zbiór danych samochodu, E – zbiór elementów samochodu, P – zbiór płynów eksploatacyjnych i paliw w analizowanym samochodzie,

- wyznaczonego zbioru elementów obowiązkowych i zalecanych do odzyskania  $EST'(SWE(PC)_1)$  z samochodu opisanego równaniem:

$$EST'(SWE(PC)_1) = EP \cup ER \cup POS \cup EN \quad (6)$$

- gdzie: EP – zbiór elementów do ponownego użycia w eksploatacji, ER – zbiór elementów do regeneracji, POS – zbiór płynów eksploatacyjnych i paliw do osuszenia, EN – zbiór elementów niebezpiecznych,
- masy poszczególnych elementów,
- określonych czasów demontażu operacji demontażowych,

vehicles of 85 per cent and 80 per cent respectively of the mass of those vehicles that are annually admitted to the disassembly station; starting from the 1 January 2015, this is 95 per cent and 85 per cent respectively of the mass of vehicles admitted to the disassembly station per annum [24, 30]. The recovery rate and the recycling rate are determined on the basis of the following dependence:

$$PO = \frac{M_e + M_o + M_{so}}{M_p} \times 100\% \quad (3)$$

$$PR = \frac{M_e + M_r + M_{sr}}{M_p} \times 100\% \quad (4)$$

where: PO – rate recovery, PR – rate recycling,  $M_e$  – weight of reuse components from end-of life vehicle,  $M_o$  – weight wastes in recovery process R1-R9 i R13 i R14 [29],  $M_{so}$  – weight materials in shredding at recovery,  $M_r$  – weight wastes in recycling process R2-R9 i R14 [29],  $M_{sr}$  – weight materials in shredding at recycling,  $M_p$  – weight of end-of life vehicles received to the disassembly station.

### 3. Problem recovery components and materials from ELV

This problem consists in carrying out a recovery of components and materials from an end-of life vehicle that possesses a gas installation  $SWE(PC)_1$ . The purpose of the problem on the basis of the following data:

- the structure of the vehicle  $SWE(PC)_1$  that is described with the following equation:

$$SWE(PC)_1 = (D, E, P) \quad (5)$$

where: D – the set of data vehicle, E – the set of components from vehicle, P – a set of fluids from vehicle,

- the determined set of obligatory and recommended components that are to be recovered from the vehicle, and which is described with the following equation:

$$EST'(SWE(PC)_1) = EP \cup ER \cup POS \cup EN \quad (6)$$

where: EP – a set of components to reuse, ER – a set of components to regeneration, POS – a set of fluids to obligatory disassembly, EN – a set of dangerous components,

- the mass of individual components,
- the determined times of disassembly and disassembly operations,
- the man-hour cost,

- kosztu roboczogodziny,
- ceny sprzedaży odzyskanych elementów i materiałów,
- kosztów przekazania odzyskanych materiałów do odzysku lub recyklingu,

jest wyznaczyć optymalną strategię odzysku elementów i materiałów z samochodu  $SWE(PC)_1$ , dla którego funkcja celu wyrażona zależnością:

$$f_c(SWE(PC)_1) = \sum_{i=1}^e oep_i \cdot k1_i + \sum_{i=1}^f oer_i \cdot k2_i + \sum_{i=1}^g omp_i \cdot k3_i + \sum_{i=1}^h ozs_i \cdot k4_i + \sum_{i=1}^k ozk_i \cdot k5_i + \sum_{i=1}^l ozms_i \cdot k6_i + \sum_{i=1}^m ots_i \cdot k7_i + \sum_{i=1}^n os_i \cdot k8_i + \sum_{i=1}^o ow_i \cdot k9_i + \sum_{i=1}^p og_i \cdot k10_i + \sum_{i=1}^r opo_i \cdot k11_i + \sum_{i=1}^s oza_i \cdot k12_i - \sum_{(a,b) \in RD} (kd^{(a,b)} + kdn^{(a,b)}) - kdd \quad (7)$$

przyjmuje wartość maksymalną.

Warunki ograniczające:

- warunek osiągnięcia poziomu odzysku z samochodu wycofanego z eksploatacji:

$$POSWE(PC)_1 \geq 0,85 \quad (8)$$

- warunek osiągnięcia poziomu recyklingu z samochodu wycofanego z eksploatacji:

$$PRSWE(PC)_1 \geq 0,80 \quad (9)$$

- warunki bilansowania odzyskiwanej i odzyskanej masy elementów i materiałów w procesie odzysku elementów i materiałów z samochodu wycofanego z eksploatacji:

$$\forall a \in A \quad \sum_{a=1}^A m^{(a,b)} \leq m_a \quad (10)$$

$$\forall b \in B \quad \sum_{b=1}^B m^{(a,b)} \leq m_b \quad (11)$$

gdzie:  $f_c(SWE(PC)_1)$  – funkcja celu, oep – element ze zbioru odzyskane elementy do ponownego użycia w eksploatacji OEP, k – koszty odzysku poszczególnych elementów, oer – element ze zbioru odzyskane elementy do regeneracji OER, omp – płyn ze zbioru odzyskane płyny eksploatacyjne i paliwa OMP, ozs – element ze zbioru odzyskany złom metali żelaznych OZS, ozk – element ze zbioru odzyskany złom metali nieżelaznych OZK, ozms – element ze zbioru odzyskany złom metali szlachetnych, ots – element ze zbioru odzyskane tworzywa sztuczne OTS, os – element ze zbioru odzyskane szkło OS, ow – element ze zbioru odzyskane włókna OW, og – element ze zbioru odzyskane elementy gumowe OG, opo – element ze zbioru odzyskane pozostałe odpady OPO, oza – element ze zbioru odzyskany złom akumulatorowy, kd – koszt demontażu poszczególnych elementów, kdn – koszt demontażu nieniszczącego poszczególnych elementów, kdd – dodatkowy koszt odzysku elementów i materiałów, RD – relacje demontażu, A – zbiór elementów do odzyskania,  $m^{(a,b)}$  – masa odzyskana w relacji odzysku (a, b),  $m_a$  – masa elementu do odzyskania, B – zbiór odzyskane elementy i materiały,  $m_b$  – masa elementu odzyskanego.

- the selling price of recovered components and materials,
- the costs of transferring of recovered materials to recovery or recycling,

is to determine an optimal strategy of the recovery of components and materials from  $SWE(PC)_1$  vehicle, for whom the objective function that is expressed with the following dependence:

takes on the maximum value.

Limiting conditions:

- condition of obtaining the rate of recovery from an end-of life vehicle:

$$POSWE(PC)_1 \geq 0,85 \quad (8)$$

- condition of obtaining the rate of recycling from an end-of life vehicle:

$$PRSWE(PC)_1 \geq 0,80 \quad (9)$$

- conditions of balancing of the mass of components and materials being recovered and having been recovered in the recovery process of components and materials from an end-of life vehicle:

$$\forall a \in A \quad \sum_{a=1}^A m^{(a,b)} \leq m_a \quad (10)$$

$$\forall b \in B \quad \sum_{b=1}^B m^{(a,b)} \leq m_b \quad (11)$$

where:  $f_c(SWE(PC)_1)$  – objective function, oep – component with set recovered components to reuse OEP, k – component recovery cost, oer – component with set recovered components to regeneration OER, omp – fluid with set recovered fluids OMP, ozs – component with set recovered scrap ferrous OZS, ozk – component with set recovered scrap non-ferrous OZK, ozms – component with set recovered scrap precious metals, ots – component with set recovered plastics OTS, os – component with set recovered glass OS, ow – component with set recovered textiles OW, og – component with set recovered rubber OG, opo – component with set recovered remaining wastes OPO, oza – component with set recovered batteries, kd – disassembly cost, kdn – dismantling cost, kdd – extra recovery costs, RD – disassembly relation, A – a set of recovery components,  $m^{(a,b)}$  – weight of recovery relation (a, b),  $m_a$  – weight recovery component, B – a set of recovery component and material,  $m_b$  – weight recovery component.

**3.1. Wyniki optymalizacji odzysku elementów i materiałów z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub>**

Uzyskana optymalna strategia odzysku elementów i materiałów z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub>, umożliwi osiągnięcie przez stację demontażu maksymalnego zysku w wysokości 2306,53 zł (wartość rzeczywista uzyskana w marcu 2010 roku). W celu uzyskania takiego zysku należy przeprowadzić 627 relacji odzysku na rzeczywistym obiekcie oznaczonym jako SWE(PC)<sub>1</sub>, które doprowadziły do odzyskania:

- elementów o łącznej masie 168,44 kg,
- płynów eksploatacyjnych i paliw o łącznej masie 25,28 kg,
- złomu metali o łącznej masie 694,29 kg,
- pozostałych materiałów o łącznej masie 73,48 kg,
- pozostałych odpadów o łącznej masie 152,93 kg.

Zbiór odzyskane elementy składa się z 17 odzyskanych elementów do ponownego użycia w eksploatacji o łącznej masie 13,80 kg i 2 odzyskanych elementów przeznaczonych do regeneracji o łącznej masie 13,80 kg. W celu odzyskania tych elementów należy przeprowadzić operacje demontażu nieniszczącego, których łączny czas demontażu w pierwszym przypadku wynosi 48,47 min, a w drugim 12,30 min. Graficzna interpretacja czasu demontażu poszczególnych elementów i wartości wagowych odzyskanych elementów przedstawiono na rysunku 8.

W zbiorze odzyskane materiały OM wyróżniono dwa podzbiory: zbiór odzyskanych płynów eksploatacyjnych i paliw OMP i zbiór odzyskanych materiałów OMS. Zbiór OMP składa się z 10 odzyskanych płynów, których łączna masa wynosi 25,28 kg, a czas odzysku wynosi 8,47 min. Poszczególne wartości czasu procesu osuszania i wartości wagowe odzyskanych płynów przedstawiono na rysunku 9. Natomiast w zbiorze odzyskane materiały OM wyróżniamy trzy podzbiory: zbiór odzyskany złom metali OZ, zbiór odzyskane pozostałe materiały OPM i zbiór odzyskane pozostałe odpady OPO. Łączna masa odzyskanego złomu metali wynosi 694,29 kg, na którą składa się masa złomu metali żelaznych 648,94 kg, masa złomu metali nieżelaznych 28,60 kg, masa złomu akumulatorowego 12,24 kg i masa złomu metali szlachetnych 4,50 kg. W celu uzyskania takiej masy złomu metali należy odzyskać z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub> 81 elementów (rys. 10).

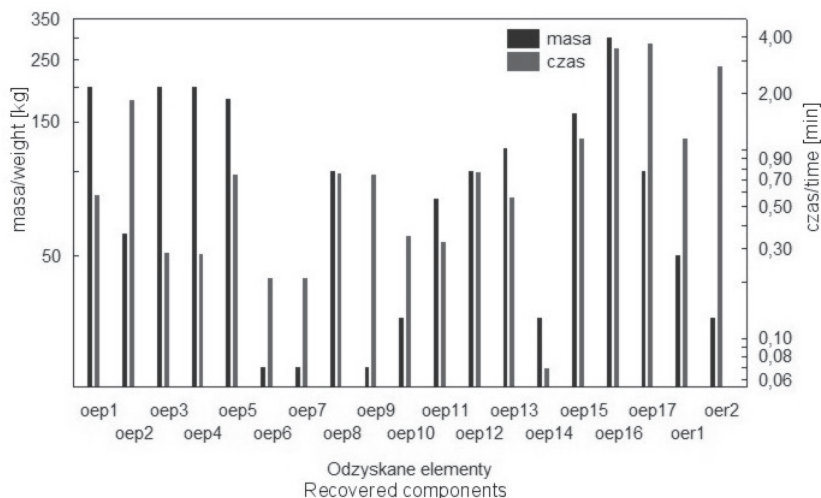
**3.1. Results of optimization of recovery components and materials from SWE(PC)<sub>1</sub>**

An optimal strategy obtained of the recovery of components and materials from an SWE(PC)<sub>1</sub> vehicle will enable a disassembly station to obtain maximum profits to the amount of PLN 2306.53 (the real value that was obtained in March 2010). In order to gain such profits, 627 relations of recovery need to be performed on a real object marked as an SWE(PC)<sub>1</sub>, as a result of which the following was recovered:

- a total mass of components 168.44 kg,
- a total mass of operating fluids and fuels 25.28 kg,
- a total mass of the scrap of metals 694.29 kg,
- a total mass of remaining materials 73.48 kg,
- a total mass of landfill 152.93 kg.

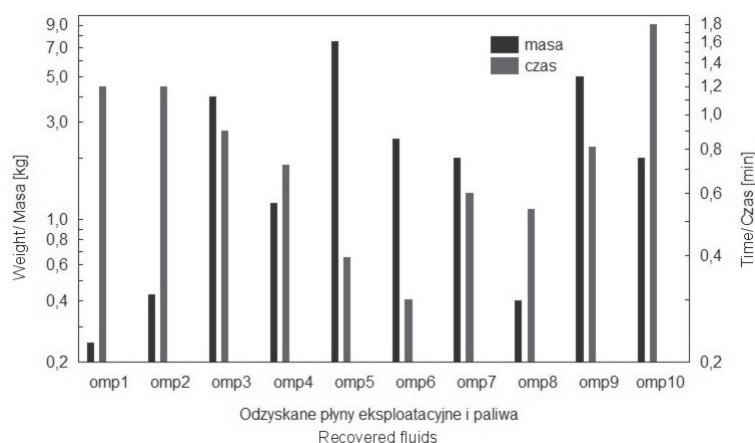
The set of recovered components consists of 17 components recovered to be reused in operation and of a total mass of 13.80 kg and two components recovered to be regenerated of a total mass of 13.80 kg. In order to recover these components, disassembly operations need to be conducted. The joint dismantling time in the first case is 48.47 min and 12.30 min in the second case. fig. 8 includes a graphical interpretation of the dismantling time for individual elements and weight values of the components recovered.

In the set of recovered materials OM, two subsets are distinguished: the set of recovered operating fluids and fuels OMP and the set of recovered materials OMS. The recovered fluids set consists of 10 recovered fluids, whose total mass is 25.28 kg, and the recovery time is 8.47 min. The individual time values for the drying process and the weight values of the fluids recovered are presented in fig. 9. The recovered materials set OM includes three subsets: the set of recovered scrap of metals OZ, the set of recovered remaining materials OPM and the set of recovered remaining wastes OPO. The total mass of the recovered scrap of metals is 694.29 kg, including the mass of the scrap of ferrous metals 648.94 kg, the mass of the scrap of non-ferrous metals 28.60 kg, the mass of battery scrap 12.24 kg and the mass of the scrap of precious metals 4.50 kg. 81 components need to be recovered from a vehicle SWE(PC)<sub>1</sub> in order to obtain such a mass of the scrap of metals (fig. 10).

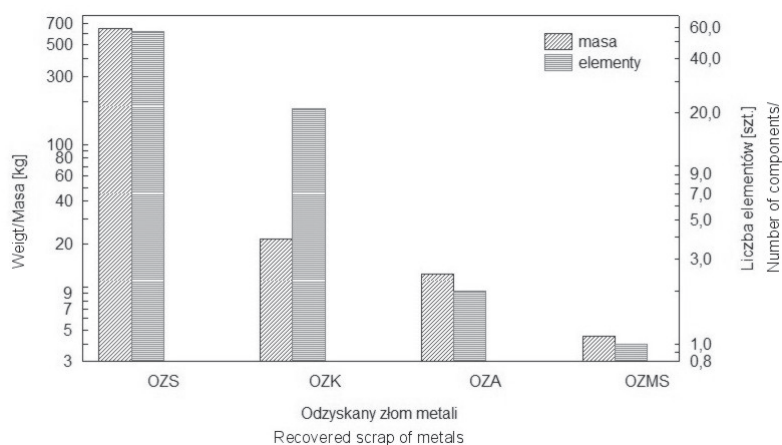


Rys. 8. Wartości masy i czasu demontażu dla elementów ze zbioru odzyskane elementy z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub>  
 Fig. 8. Values of mass and dismantling time for components from the set of components recovered from SWE(PC)<sub>1</sub>





Rys. 9. Wartości masy i czasu osuszania dla płynów ze zbioru odzyskane płyny eksploatacyjne i paliwa z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub>  
 Fig. 9. Values of mass and drying time for fluids from the set of recovered operating fluids and fuels SWE(PC)<sub>1</sub>



Rys. 10. Wartości masy i liczba odzyskanych elementów dla zbioru odzyskany złom metali z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub>; OZS – odzyskany złom metali żelaznych, OZK – odzyskany złom metali nieżelaznych, OZA – odzyskany złom akumulatorowy, OZMS – odzyskany złom metali szlachetnych  
 Fig. 10. Values of mass and number recovery components and set OZ from SWE(PC)<sub>1</sub>; OZS – recovered scrap ferrous metals, OZK – recovered scrap non-ferrous, OZA – recovered scrap batteries, OZMS – recovered scrap precious metals

Zbiór odzyskany złom metali żelaznych podzielono na dwa podzbiory: zbiór złomu wsadowego  $ozs_1$  i zbiór złom elementy karoserii  $ozs_2$ . Natomiast w zbiorze odzyskany złom metali nieżelaznych wyróżniono następujące cztery podzbiory: zbiór złom aluminium i stopy aluminium  $ozk_1$ , zbiór złom miedź i stopy miedzi  $ozk_2$ , zbiór złom cynku i stopy cynku  $ozk_3$ , zbiór odzyskane przewody elektryczne  $ozk_4$ . Na podobnych zasadach podzielono zbiór odzyskany złom akumulatorowy, w którym wyróżniono zbiór odzyskany akumulator  $oza_1$  i zbiór odzyskany ołów  $oza_2$ , a w zbiorze odzyskane metale szlachetne wyróżniono zbiór odzyskany katalizator  $ozms_1$ .

Zbiór odzyskane pozostałe materiały został podzielony na cztery podzbiory tj. zbiór odzyskane tworzywa sztuczne OTS, zbiór odzyskane szkło OS, zbiór odzyskane włókna OW i zbiór odzyskany materiał gumowy OG. Zbiór odzyskane tworzywa sztuczne został podzielony na 24 podzbiory, które zaprezentowano w tabeli 1. Łączna masy odzyskanych pozostałych materiałów wynosi 73,48 kg, w tym masa odzyskanych tworzywa sztucznych 25,17 kg, masa odzyskanego szkła 11,30 kg,

The set of the recovered scrap of ferrous metals was divided into two subsets: the set of feed scrap and the set of scrap from body components  $ozs_2$ . Four subsets were isolated in the set of the recovered scrap of non-ferrous metals: the set of the scrap of aluminum and aluminum alloys  $ozk_1$ , the set of the scrap of copper alloys  $ozk_2$ , the set of the scrap of zinc and zinc alloys  $ozk_3$  and the set of recovered electric wires  $ozk_4$ . The set of the recovered battery scrap was divided in a similar manner. It includes the set of the recovered battery  $oza_1$  and the set of recovered lead  $oza_2$ . The set of the recovered catalyst  $ozms_1$  was distinguished in the set of recovered precious metals.

The set of remaining materials recovered was divided into four subsets, i.e. the set of recovered plastics OTS, the set of recovered glass OS, the set of recovered fibers OW and the set of recovered rubber material OG. The set of recovered plastics was divided into 24 subsets that are presented in table 1. To total mass of the remaining materials recovered is 73.48 kg, including the mass of recovered plastics: 25.17 kg, the mass of glass recovered: 11.30 kg, the mass of fibers recovered: 0.62 kg and the mass of rubber recovered: 36.39 kg.

masa odzyskanych włókien 0,62 kg i masa odzyskanej gumy 36,39 kg.

W przypadku zbioru odzyskane pozostałe odpady łączna masy odzyskana wynosi 152,93 kg, a klasyfikacje tych odpadów przedstawiono w tabeli 2.

Concerning the set of remaining wastes recovered, the total mass recovered is 152.93 kg. The classification of these wastes is presented in table 2.

Tab. 1. Odzyskane tworzywa sztuczne

Tab. 1. The recovered plastics

Lp.		Odzyskane tworzywa* / Recovered plastics*	Lp.		Odzyskane tworzywa* / Recovered plastic*
1	ots <sub>1</sub>	ABS	13	ots <sub>13</sub>	ABS+PP
2	ots <sub>2</sub>	PE	14	ots <sub>14</sub>	ABS+PBT-GF30
3	ots <sub>3</sub>	PA66	15	ots <sub>15</sub>	POM+PA66+PE
4	ots <sub>4</sub>	PBT	16	ots <sub>16</sub>	PP+EPDM+T30
5	ots <sub>5</sub>	PMMA	17	ots <sub>17</sub>	PP-T25+EPDM
6	ots <sub>6</sub>	PP	18	ots <sub>18</sub>	PVC+PS
7	ots <sub>7</sub>	PVC	19	ots <sub>19</sub>	PVC+ABS
8	ots <sub>8</sub>	UP	20	ots <sub>20</sub>	PP-GF30
9	ots <sub>9</sub>	PUR Pianka	21	ots <sub>21</sub>	PP-T20
10	ots <sub>10</sub>	PE-HD	22	ots <sub>22</sub>	PA66-GF30
11	ots <sub>11</sub>	PE-LD	23	ots <sub>23</sub>	EPDM
12	ots <sub>12</sub>	SP	24	ots <sub>24</sub>	Tworzywa mieszane / Mixed plastic

\* oznaczenia tworzyw sztucznych [25] / \* sign plastics [25]

Tab. 2. Elementy zbioru odzyskane pozostałe odpady

Tab. 2. The components of set recovered wastes

Lp.		Odzyskane odpady / Recovered wastes	Lp.		Odzyskane odpady / Recovered wastes
1	opo <sub>1</sub>	Elementy filtracyjne / Filtration elements	4	opo <sub>4</sub>	Zbiornik gazu + gaśnica / Gas tank + fire-extinguisher
2	opo <sub>2</sub>	Filtr oleju / Oil filter	5	opo <sub>5</sub>	Odpady elektroniczne / Electronic wastes
3	opo <sub>3</sub>	Okładziny hamulcowe / Brake facing	6	opo <sub>6</sub>	Odpady / Wastes

### 3. 2. Ocena porównawcza wyników badań optymalizacyjnych i doświadczalnych

W ocenie porównawczej otrzymanych wyników badań optymalizacyjnych i doświadczalnych odzysku elementów i materiałów z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub> wykorzystano dwa kryteria: kryterium techniczne i kryterium ekonomiczne. Kryterium techniczne to ocena odzysku elementów i materiałów z samochodu SWE(PC)<sub>1</sub> pod kątem uzyskanych wartości poziomu odzysku i recyklingu. Wyszczególnione poziomy wyznaczono na podstawie równania 3 i 4 a wartości poszczególnych parametrów użytych do ich wyznaczenia zinterpretowano w tabeli 3.

### 3. 2. Comparative evaluation of the results of optimizing and experimental examinations

In the comparative evaluation of the results obtained from the optimizing and experimental examinations concerning the recovery of components and materials from an SWE(PC)<sub>1</sub>, two criteria were used: the technical criterion and the economic criterion. The technical criterion consists in an evaluation of the recovery of components and materials from an SWE(PC)<sub>1</sub> with respect to the values obtained of the rate of recovery and recycling. The levels distinguished were determined on the basis of Equations 3 and 4. The values of the individual elements of

Tab. 3. Wartości parametrów uwzględniane przy wyznaczaniu poziomów

Tab. 3. The basis parameters

	Badania optymalizacyjne Optimizing research	Badania doświadczalne Experimental research
$M_e$ (masa odzyskanych elementów do ponownego użycia w eksploatacji z samochodu SWE(PC) <sub>1</sub> )	168,44 kg	168,44 kg
$M_o+M_{so}$ (masa odzyskanych materiałów z samochodu SWE(PC) <sub>1</sub> przekazanych do odzysku)	813,06 kg	722,72 kg
$M_l+M_{sr}$ (masa odzyskanych materiałów z samochodu SWE(PC) <sub>1</sub> przekazanych do recyklingu)	793,71 kg	703,37 kg
$M_p$ (masa samochodu SWE(PC) <sub>1</sub> – obiekt wybrano losowo w stacji demontażu samochodów wycofanych z eksploatacji, w której prowadzono badania doświadczalne)	1114,42 kg	1114,42 kg

W wyniku przeprowadzonego odzysku elementów i materiałów z samochodu  $SWE(PC)_1$ , uzyskano poziom odzysku w wysokości:

- badania optymalizacyjne  $POSWE(PC)_1 = 88,07\%$ ,
- badania doświadczalne  $POSWE(PC)_1 = 79,96\%$ ,
- oraz poziom recyklingu w wysokości:
- badania optymalizacyjne  $PRSWE(PC)_1 = 86,33\%$ ,
- badania doświadczalne  $PRSWE(PC)_1 = 78,23\%$ .

Optymalizacja odzysku elementów i materiałów z samochodu  $SWE(PC)_1$  pozwoliła na uzyskanie większych wartości poziomu odzysku i recyklingu samochodu  $SWE(PC)_1$  od tych uzyskanych w badaniach doświadczalnych. Ponadto, jeżeli wysokości poziomu odzysku PO i recyklingu PR określone w ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji [30] odniesiemy tylko do jednego samochodu wycofanego z eksploatacji, to uzyskane wartości poziomu odzysku i recyklingu w badaniach optymalizacyjnych są wyższe od tych wyznaczonych w ustawie. Natomiast wartości poziomu odzysku i recyklingu uzyskane w badaniach doświadczalnych są niższe od tych zalecanych w przytoczonej ustawie (rys. 11). Należy nadmienić, że zgodnie z ustawą o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji przedsiębiorca prowadzący stację demontażu jest obowiązany osiągać poziom odzysku i recyklingu w wysokości odpowiednio 85% i 80%.

Kryterium ekonomiczne to ocena zrealizowanego odzysku elementów i materiałów z samochodu  $SWE(PC)_1$  pod kątem osiągniętych korzyści finansowych. Zaproponowana w badaniach optymalizacyjnych strategia odzysku elementów i materiałów z samochodu  $SWE(PC)_1$  umożliwia uzyskanie większych korzyści finansowych dla przedsiębiorcy prowadzącego stację demontażu samochodów wycofanych z eksploatacji niż zastosowana strategia odzysku w badaniach doświadczalnych (tab. 4).

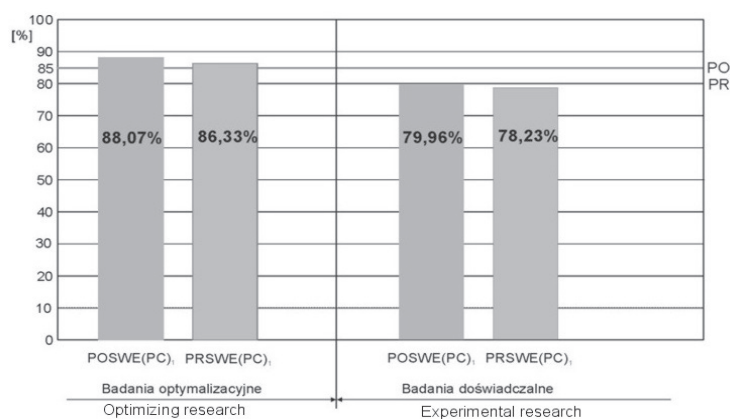
the parameters used for the purpose of their determination are interpreted in table 3.

As a result of the recovery performed of components and materials from an  $SWE(PC)_1$ , the recovery rate was obtained with the following value:

- optimizing research  $POSWE(PC)_1 = 88.07\%$ ,
- experimental research  $POSWE(PC)_1 = 79.96\%$ ,
- and the recycling rate with the value as follows:
- optimizing research  $POSWE(PC)_1 = 86.33\%$ ,
- experimental research  $POSWE(PC)_1 = 78.23\%$ ,

The optimization of the recovery of components and materials from an  $SWE(PC)_1$  enabled obtaining greater values of the rate of recovery and recycling of  $SWE(PC)_1$  as compared with those obtained in experimental investigations. Furthermore, if the values of the rate of recovery PO and recycling PR that are specified in the act on recycling of ELVs [30] are to be referred to one end-of life vehicle only, the values obtained of the rate of recovery and recycling in the optimization examinations are higher than those specified in the act. At the same time, the values of the rate of recovery and recycling that are obtained in experimental examinations are lower than those that are recommended in the abovementioned act (fig. 11). It is to be observed that in compliance with the act on recycling of ELVs, the owner of a disassembly station is obliged to obtain the rates of recovery and recycling in the amounts of 80% and 80% respectively.

The economic criterion refers to an evaluation of the recovery performed of components and materials from an  $SWE(PC)_1$  regarding the obtained financial profits. The strategy of the recovery performed of components and materials from an  $SWE(PC)_1$  as proposed in the optimization research allows obtaining greater financial profits for the owner of a disassembly station for ELVs as compared with the recovery strategy applied in experimental investigations (table 4).



Rys. 11. Wartości poziomu odzysku i recyklingu samochodu  $SWE(PC)_1$ ;  $POSWE(PC)_1$  – poziom odzysku samochodu  $SWE(PC)_1$ ,  $PRSWE(PC)_1$  – poziom recyklingu samochodu  $SWE(PC)_1$ , PO – poziom odzysku określony w ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji, PR – poziom recyklingu określony w ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji

Fig. 11. The rates recovery and recycling from vehicle  $SWE(PC)_1$ ;  $POSWE(PC)_1$  – rate recovery vehicle  $SWE(PC)_1$ ,  $PRSWE(PC)_1$  – rate recycling vehicle  $SWE(PC)_1$ , PO – rate recovery that are specified in the act on recycling of ELVs, PR – rate recycling that are specified in the act on recycling of ELVs

Tab. 4. Wartości osiągniętego zysku w poszczególnych badaniach  
Tab. 4. The financial profits

	Badania optymalizacyjne Optimizing research	Badania doświadczalne Experimental research
Zysk z realizacji odzysku elementów i materiałów z samochodu $SWE(PC)_1$ The financial profits or the recovery components and materials from vehicle $SWE(PC)_1$	2306,53 zł	2221,70 zł

#### 4. Podsumowanie

Zaprezentowane w pracy kompleksowe opracowanie tematyki zagospodarowania wycofanych z eksploatacji środków transportu jest próbą usystematyzowania podejmowanych działań w odniesieniu do zużytych pojazdów samochodowych. Działania te zostały oparte na budowie systemu recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji, w którym wyróżniono poszczególne moduły. Jednym z tych modułów jest odzysk elementów i materiałów z SWE, który w pracy poddano badaniom optymalizacyjnym. Celem tych badań było doprowadzenie do wzrostu poziomu odzysku i recyklingu indywidualnie dla każdego SWE, co miało skutkować podwyższeniem poszczególnych poziomów w rozliczeniu rocznym do jakich zostały zobligowane przedsiębiorstwa przetwarzające zużyte pojazdy. Równocześnie obowiązkiem dostarczania rocznego sprawozdania z uzyskanych poziomów odzysku i recyklingu zostały obciążone wszystkie państwa członkowskie Unii Europejskiej. Natomiast analiza dostarczonych przez państwa członkowskie EU w 2008 i 2009 roku sprawozdań z uzyskanych w 2006 i 2007 roku wartości poziomów odzysku i recyklingu [31] pokazała, że występują znaczące trudności w uzyskaniu zalecanych w Dyrektywie 2000/53/EC [24] wartości poziomów. Rozwiązaniem tego problemu jest zaproponowane w pracy usystematyzowanie działań w odniesieniu do wycofanych z eksploatacji środków transportu. Potwierdziły to przeprowadzone badania doświadczalne i optymalizacyjne w funkcjonujących stacjach demontażu. Badania optymalizacyjne doprowadziły do podwyższenia indywidualnych poziomów odzysku i recyklingu dla demontowanych samochodów wycofanych z eksploatacji przy równoczesnej maksymalizacji zysku ekonomicznego z realizacji tego procesu.

#### 5. References

1. Hebda M, Mazur T, Pelc H. Teoria eksploatacji pojazdów. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1978.
2. Hebda M, Niziński S, Pelc H. Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1984.
3. H le Blanc M, Fleuren H, Krikke H. Redesign of a recycling system for LPG-tanks. *OR Spectrum* 2004; 26: 283-304.
4. Hyun-Tae Joung, Sung-Jin Cho, Yong-Chil Seo, Woo-Hyun Kim. Status of recycling end-of-life vehicles and effort to reduce automobile shredder residues in Korea. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2007; 9: 159-166.
5. Kanari N, Pineau J, Shallari S. End-of-life Vehicle Recycling in the European Union. *JOM* 2003; August: 15-19.
6. Kongar E, Gupta S, M. Disassembly sequencing using genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2006; 30: 497-506.
7. Lambert A, J, D, Gupta S, M. Disassembly Modeling for assembly, Maintenance, Reuse, and Recycling. Boca Raton: CRC Press, 2000.
8. Lambert A, J, D. Optimizing disassembly processes subjected to sequence-dependent cost. *Computers & Operations Research* 2007; 34: 536-551.
9. Lewicki R, Kłos Z. Środowiskowo zorientowana analiza konsekwencji zagospodarowania samochodów wycofanych z eksploatacji. *Problemy Jakości* 2006; 2: 40-45.
10. Merkiśz-Guranowska A. Recykling samochodów w Polsce. Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, 2007.
11. Merkiśz J, Pielecha I, Pielecha J. Recykling elementów pojazdów hybrydowych. *Recykling* 2008; 1(85): 24-26.
12. Ming Ch. Sustainable Recycling of Automotive Products in China: Technology and Regulation. *JOM* 2006; August: 23-26
13. Nowakowski P. Dismantling of end life vehicles in Poland. *Transport Problems/Problemy Transportu* 2008; 3: 17-24.
14. Oprządkiewicz J, Stolarski B. Technologia i systemy recyklingu samochodów. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2003.
15. Osiński J, Żach P. Wybrane zagadnienia recyklingu samochodów. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2006.
16. Puri P, Compston P, Pantano V. Life cycle assessment of Australian automotive door skins. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2009; 14: 420-428.
17. Rogaliński A. Recykling pojazdów wycofanych z eksploatacji w świetle obowiązujących przepisów. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2006; 1(29): 33-38.

#### 4. Summary

A comprehensive study presented in this paper concerning the management of end-of life means of transport constitutes an attempt to systematize those activities that are undertaken in relation to worn-out cars. These activities are based on the construction of a recycling system of ELVs, which includes individual modules. One of these modules is the recovery of components and materials from an ELV, which was subjected to optimization examinations. The purpose of these examinations was to obtain increased rates of recovery and recycling for each ELV on individual basis with the aim of raising the individual rates on the annual basis, which those companies that process worn-out vehicles are required to achieve. The obligation to supply an annual report on the rates obtained of the recovery and recycling was introduced in all the EU Member States. However, an analysis of the reports supplied by the EU Member States in the years 2008 and 2009 on the rates obtained in the years 2006 and 2007 of recovery and recycling [31] demonstrated that there are significant difficulties in obtaining the levels recommended in the Directive 2000/53/EC [24]. A systematization of the activities related to end-of life means of transport as proposed in the present paper constitutes a solution to this problem. This was confirmed with the experimental and optimization examinations in the functioning disassembly stations. The result of the optimization examinations was an increase of the individual rates of recovery and recycling for disassembled end-of life vehicles, while the economic gain from this process was maximized.



18. Ruud H, Teunter. Determining optima disassembly and recovery strategies. *The International Journal of Management Science* 2006; Omega 34.
19. Sakai S, Noma Y, Kida A. End-of-life vehicle recycling and automobile shredder residue management in Japan. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2007; 9: 151-158.
20. Schmidt W, Dahlqvist E, Finkbeiner M, Krinke S, Lazzari S, Oschmann D, Pichon S, Thiel Ch. Life Cycle Assessment of Lightweight and End-of-Life Scenarios for Generic Compact Class Passenger Vehicles. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2004; 9(6): 405-416.
21. Słowikowski M, Zalewski K, Zieliński J. Recykling pojazdów w Polsce – sytuacja bieżąca. *Pomiary Automatyka Robotyka* 2008; 11: 5-7.
22. Tsai C, Kuo. Enhancing disassembly and recycling planning using life-cycle analysis. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 2006; 22: 420-428.
23. Wang X, Qin Y, Chen M, Wang Ch. End-of-life vehicle recycling based on disassembly. *Journal of Central South University of Technology* 2005; 12(2): 153-156.
24. Dyrektywa 2000/53/EC z dnia 18.09.2000 roku w sprawie wycofanych z użytku pojazdów, OJ nr 269.
25. PN-EN ISO 11469. Tworzywa sztuczne. Identyfikacja rodzaju tworzywa i znakowanie wyrobów z tworzyw sztucznych. Polski Komitet Normalizacji.
26. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 r. w sprawie wzorów dokumentów stosowanych na potrzeby ewidencji odpadów (Dz. U. Nr 152, poz. 1736).
27. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 czerwca 2005 r. w sprawie listy istotnych elementów pojazdu kompletnego (Dz. U. Nr 116, poz. 973).
28. Ustawa prawo o ruchu drogowym z dnia 20 czerwca 1997 roku (Dz. U. 1997, Nr 98, poz. 602).
29. Ustawa o odpadach z dnia 27.04.2001 (Dz. U. Nr 62, poz. 628).
30. Ustawa o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji z dnia 20.01.2005 (Dz. U. Nr 25, poz. 202).
31. Updated 2008 and 2009; <http://www.epp.eurostat.ec.europa.eu>. End-of life vehicles, data 2006 and 2007.

---

**Dr inż. Norbert CHAMIER-GLISZCZYŃSKI**

Zakład Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej  
Politechnika Koszalińska

Ul. Raclawicka nr 15-17, 75-620 Koszalin, Polska

e-mail: [norbert.chamier-gliszczynski@tu.koszalin.pl](mailto:norbert.chamier-gliszczynski@tu.koszalin.pl)

---