

Mirosław Nader
Wydział Transportu PW

Irena Jakowlewa
Studentka Wydziału Transportu PW

MODEL PRZEPIYU MATERIAŁÓW W ZAKŁADZIE RECYKLINGU SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienie recyklingu samochodów, które zostały wycofane z eksploatacji. Opisano etapy życia pojazdów samochodowych oraz opracowana łańcuch usuwania wytworzonych w zakładzie odpadów. Wyszczególnione zostały obszary funkcjonalne w zakładzie wraz z funkcjami. Opracowano schemat przepływu strumieni materiałów i obliczono ich roczne wielkości dla zadanej wydajności stacji demontażu. Zaproponowano metodologię szacowania wielkości poszczególnych strumieni przepływu materiałów. W podsumowaniu przedstawiono perspektywy rozwoju recyklingu pojazdów.

Słowa kluczowe: recykling, pojazdy wycofane z eksploatacji, stacja demontażu, model przepływu materiałów

1. WPROWADZENIE

Od roku 1885, w którym to został opatentowany skonstruowany przez Benz'a samochód, obserwujemy ciągły rozwój przemysłu samochodowego. Wraz z rozwojem motoryzacji rośnie zużycie surowców naturalnych, zanieczyszczenie powietrza, gleby oraz wody. Zmniejszenie negatywnego oddziaływania pojazdów na środowisko naturalne oraz zdrowie ludzi i zwierząt możliwe stało się poprzez wprowadzenie obowiązku zagospodarowania pojazdów wycofanych z eksploatacji. Samochody, które ukończyły okres eksploatacji są dostarczane do zakładu zajmującego się demontażem, a materiały pozyskane w wyniku rozbiórki poddawane są recyklingowi w wyspecjalizowanych zakładach. [9].

Dyrektywa 200/53/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 roku w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji nakłada na Polskę obowiązek budowy zakładów demontażu oraz zakładania punktów zbierania pojazdów, które w przyszłości utworzą sieć recyklingu. [2].

Po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej obserwowano dynamiczny wzrost liczby sprowadzanych do kraju pojazdów używanych, co miało odzwierciedlenie w ogólnej liczbie zarejestrowanych pojazdów.

W tab.1.1 podano liczbę zarejestrowanych samochodów osobowych w latach 2003 – 2008. Od roku 2005 liczba ta systematycznie wzrasta, z roku na rok o ponad milion samochodów.

Tablica 1.1

Liczba zarejestrowanych samochodów osobowych w latach 2003-2008

Rok	Liczba zarejestrowanych pojazdów
2003	11 243 827
2004	11 957 191
2005	12 339 353
2006	13 384 229
2007	14 588 739
2008	16 079 533

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych statystycznych GUS

Cykl życia pojazdu obejmuje wiele etapów zaczynając od wydobycia surowców i produkcji materiałów, z których zostanie zbudowany samochód, a kończąc na demontażu i zagospodarowaniu wytworzonych w ten sposób odpadów.

W związku z tym można wyróżnić następujące etapy życia pojazdów: wydobycie surowców i produkcja materiałów, powstanie samochodu i jego sprzedaż, użytkowanie pojazdu, decyzja o wycofaniu pojazdu z eksploatacji, demontaż wraz osuszeniem płynów eksploatacyjnych, odzysk i recykling oraz utylizacja.

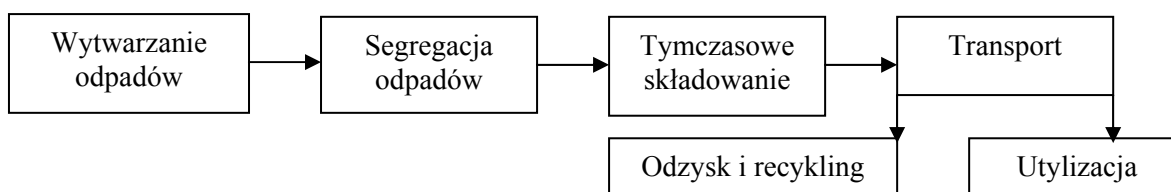
Materiały i części pozyskane w wyniku demontażu pojazdów wycofanych z eksploatacji (PWE) po odpowiednich zabiegach odzysku i recyklingu powracają do użytku i włączają się w takie etapy życia pojazdu jak produkcja materiałów, powstanie samochodu i jego eksploatacja. Do wydobycia i produkcji materiałów niezbędna jest energia, którą można pozyskać poprzez spalanie produktów demontażu, w ten sposób następuje zamknięcie całego obiegu. [1,3].

Z opracowania Głównego Urzędu Statystycznego pt.: „Ochrona Środowiska 2008” wiemy, że w roku 2007 do stacji demontażu przekazano 190 882 pojazdy wycofane z eksploatacji. Łączna ich masa wynosiła 166 081 ton. W stacjach demontażu w wyniku przetwarzania pojazdów wycofanych z eksploatacji powstało 133 286 ton odpadów. Odzyskowi i recyklingowi poddano 102 197 ton. Masa elementów wyposażenia oraz części pochodzących z PWE przeznaczonych do ponownego użytku wyniosła 18 140 ton. Strzępieniu poddano 12 153 ton, do unieszkodliwienia przekazano 796 ton odpadów, które nie podlegały żadnym metodom odzysku i recyklingu. [4].

Stacje demontażu wytwarzają i gromadzą tymczasowo odpady niebezpieczne pochodzące z PWE, natomiast wyspecjalizowane zakłady zajmują się ich transportem i zagospodarowaniem. Zadaniem zakładu demontażu jest bezpieczne dla ludzi, środowiska naturalnego oraz zgodne z przepisami przeciwpożarowymi tymczasowe przechowywanie odpadów oraz prowadzenie demontażu.

Zakład demontażu PWE może przekazywać odpady do recyklingu jedynie zakładom, które posiadają pozwolenie na prowadzenie działalności wystawione przez starostę. Każdy transport odpadów powinien być odnotowany w dokumentacji zakładu.

Przekazanie odpadów oraz kontrolą ich ilości zajmują się pracownicy zakładu. Oni zawiadamiają o konieczności odbioru odpadów, ustalają termin i zapewniają przygotowanie ich do transportu. [5].



Rys. 1.1. Łańcuch usuwania odpadów wytworzonych w zakładzie demontażu PWE

2. IDENTYFIKACJA STRUMIENI PRZEPIYWU MATERIAŁÓW W ZAKŁADZIE RECYKLINGU PWE

Każda stacja demontażu powinna składać się z 6 sektorów głównych wyodrębnionych organizacyjnie, odpowiednio zabezpieczonych ekologicznie oraz wyposażonych w urządzenia techniczne:

1. Sektor przyjmowania PWE,
2. Sektor magazynowania przyjętych PWE,
3. Sektor usuwanie materiałów niebezpiecznych z PWE,
4. Sektor demontażu części i materiałów z PWE,
5. Sektor magazynowania części przeznaczonych do ponownego użycia,
6. Sektor magazynowania odpadów pochodzących z demontażu PWE. [6,8].

W tab. 2.1 wymieniono szczegółowo czynności jakie są wykonywane w określonych wcześniej obszarach funkcjonalnych.

Tablica 2.1

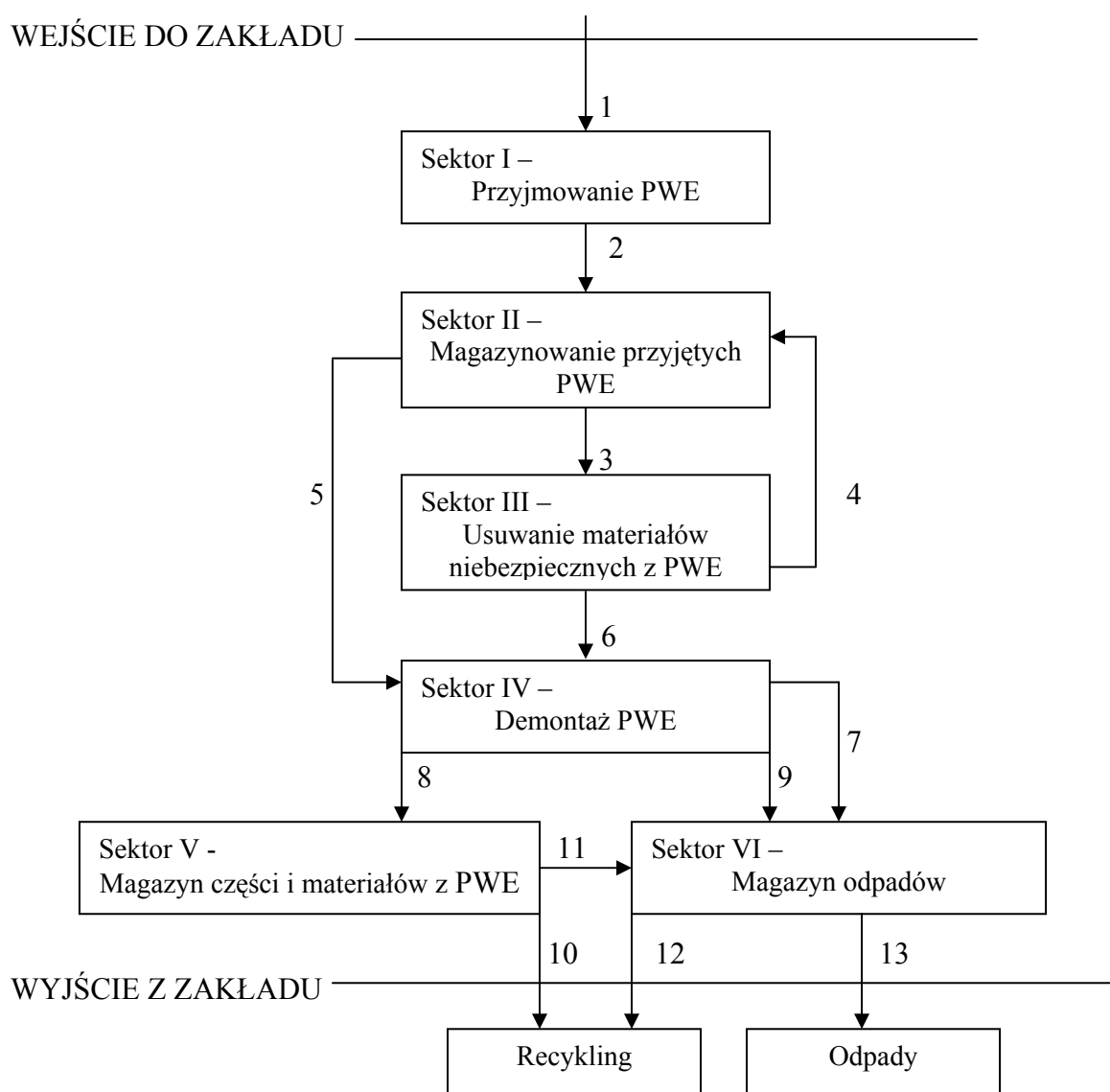
Funkcje obszarów funkcjonalnych

L.p.	Obszar	Funkcje
1.	Przyjmowania PWE	Przyjęcie PWE
		Testowanie przyjętych pojazdów
2.	Magazynowania przyjętych PWE	Magazynowanie oczekujących na osuszanie PWE
		Magazynowanie PWE osuszonych
3.	Usuwanie materiałów niebezpiecznych z PWE	Usuwanie materiałów niebezpiecznych
		Osuszanie z płynów eksploatacyjnych
4.	Demontaż części i materiałów z pojazdów wycofanych z eksploatacji	Demontaż pojazdów „od góry”
		Demontaż pojazdów „od dołu”
		Demontaż zespołów pochodzących z PWE
		Demontaż pojazdów rozbitych
5.	Magazynowania części przeznaczonych do ponownego użycia	Demontaż i magazynowanie kół z PWE
		Magazynowanie części i zespołów wymontowanych z pojazdów wycofanych z eksploatacji

6.	Magazynowania odpadów pochodzących z demontażu PWE	Magazynowanie akumulatorów i innych materiałów niebezpiecznych
		Magazynowanie płynów eksploatacyjnych
		Magazynowanie odpadów w kontenerach
		Magazynowanie karoserii samochodowych przed spłaszczeniem
		Magazynowanie karoserii spłaszczonych na zgniatarce

Źródło: opracowanie własne w oparciu o [6,8]

Na rys. 2.1 przedstawiono schemat przepływu materiałów w zakładzie demontażu pojazdów wycofanych z eksploatacji, na schemacie zaznaczono poszczególne strumienie materiałów.



Rys. 2.1. Schemat przepływu materiałów pomiędzy obszarami funkcjonalnymi w zakładzie recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji

Opis poszczególnych strumieni materiałów wyszczególnionych w zakładzie recyklingu samochodów osobowych, które oznaczono na rys. 2.1 zamieszczono poniżej:

- 1) Pojazdy dostarczone do stacji demontażu przez ostatnich właścicieli w celu wycofania z eksploatacji.
- 2) Pojazdy wycofane z eksploatacji przekazywane są na plac postojowy, gdzie oczekują na osuszenie i unieszkodliwienie.
- 3) PWE będący odpadem niebezpiecznym przemieszczane są do sektora III, w którym następuje demontaż niebezpiecznych elementów i osuszenie.
- 4) PWE po osuszeniu przemieszczany jest do sektora II, gdzie oczekuje na demontaż.
- 5) Przemieszczenie osuszonego PWE z sektora II, gdzie był tymczasowo składowany do sektora III, gdzie zostanie poddany operacji demontażu.
- 6) Przemieszczenie osuszonego PWE z sektora II do sektora III, jeżeli nie ma kolejki pojazdów oczekujących na demontaż.
- 7) Płyny eksploatacyjne oraz materiały niebezpieczne usunięte z PWE przekazywane są do magazynu odpadów.
- 8) W wyniku demontażu PWE pozyskiwane są elementy wyposażenia, zespoły oraz części, które zostaną wprowadzone ponownie do użytku jako zamienne elementy.
- 9) Pozostałe nie przeznaczone do ponownego użytku elementy pozyskane w wyniku demontażu PWE przekazywane są do sektora VI – magazyn odpadów.
- 10) Magazynowane elementy wyposażenia, zespoły i części po dokonaniu zakupu przez klienta stacji demontażu opuszczają sektor V i poddawane są recyklingowi poprzez ponowne użycie zgodnie z ich pierwotnym przeznaczeniem.
- 11) Magazynowane części i materiały, które nie znajdą nabywców przekazywane są do magazynu odpadów, gdzie są magazynowane do momentu przekazania ich zakładom prowadzącym recykling lub innym jednostkom zajmującym się gospodarką odpadami.
- 12) Materiały z magazynu odpadów przekazywane są zewnętrznym jednostkom zajmującym się recyklingiem materiałowym bądź odzyskiem energetycznym.
- 13) Odpady, które nie podlegają recyklingowi przekazywane są do zakładów zajmujących się utylizacją.

2. MODEL MATEMATYCZNY PRZEPIYWU MATERIAŁÓW

W celu sporządzenia modelu przepływu materiałów dla zadanego zakładu obliczono wielkości poszczególnych strumieni materiałów.

Średnią masę pojazdu oblicza się ze wzoru:

$$M_k = \sum_{t=1}^{t=w} \frac{m_t}{w_t} \quad (3.1)$$

gdzie:

M_k – średnia masa PWE przyjętego do zakładu, [kg],

w_t – liczba pojazdów t-tego typu,

m_t – masa pojazdu, t-tego typu, [kg],

w – całkowita liczba pojazdów.

Całkowitą liczbę pojazdów oblicza się ze wzoru:

$$w = \sum_{k=1}^{k=P} w_k \quad (3.2)$$

gdzie:

P- liczba typów pojazdów,

w_k – liczba pojazdów k-tego typu.

Masę pojazdu niekompletnego wyznaczono ze wzoru:

$$M_{nk} = M_k \cdot W_n \quad (3.3)$$

gdzie:

M_{nk} – masa pojazdu niekompletnego, [kg],

W_n – współczynnik niekompletności.

Wielkość strumienia wejściowego obliczono ze wzoru:

$$M_{we} = \sum_{r=1}^{r=k} M_{kr} + \sum_{s=1}^{s=nk} M_{nks} \quad (3.4)$$

gdzie:

M_{we} – wielkość wejściowego strumienia materiałów, [kg],

M_{kr} – masa pojazdu kompletnego kompletnego-tego typu, [kg],

M_{nks} – masa pojazdu niekompletnego s-tego typu, [kg],

k- liczba pojazdów kompletnych,

nk – liczba pojazdów niekompletnych.

Wielkość strumienia po osuszeniu obliczono ze wzoru:

$$M_b = M_{we} - M_p \quad (3.5)$$

gdzie:

M_b – wielkość strumienia materiałów po operacji osuszenia, [kg],

M_p – łączna masa płynów i materiałów niebezpiecznych, [kg].

Wielkość strumienia materiałów niebezpiecznych, w tym płynów obliczono ze wzoru:

$$M_p = P_{we} \cdot M_n \quad (3.6)$$

gdzie:

M_p – wielkość strumienia materiałów niebezpiecznych, w tym płynów, [kg],

M_n – masa płynów i materiałów w pojeździe, [kg].

Wielkość strumienia części przeznaczonych do ponownego użycia obliczono ze wzoru:

$$M_c = q \cdot M_b \quad (3.7)$$

gdzie:

M_c – wielkość strumienia części zamiennych, [kg],

q - procentowy udział części zamiennych.

Wielkość strumienia nie sprzedanych części zamiennych ustalono ze wzoru:

$$M_{nc} = g \cdot M_c \quad (3.8)$$

gdzie:

M_{nc} – wielkość strumienia nie sprzedanych części zamiennych, [kg],

g – procentowy udział części nie sprzedanych.

Wielkość strumienia sprzedanych części zamiennych ustalono ze wzoru:

$$M_{cs} = M_c - M_{nc} \quad (3.9)$$

gdzie:

M_{cs} – wielkość strumienia sprzedanych części zamiennych, [kg].

Wielkość strumienia odpadów i materiałów obliczono ze wzoru:

$$M_{od} = M_b - M_c \quad (3.10)$$

gdzie:

M_{od} – wielkość strumienia odpadów i materiałów, [kg].

Wielkość strumienia materiałów przekazanych do odzysku i recyklingu:

$$M_{re} = (v \cdot M_{we}) - M_{cs} \quad (3.11)$$

gdzie:

M_{re} – wielkość strumienia materiałów przekazanych do recyklingu, [kg],

v – współczynnik poziomu odzysku i recyklingu.

Wielkość strumienia materiałów przekazanych do unieszkodliwienia:

$$M_{un} = e \cdot M_{we} \quad (3.12)$$

gdzie:

M_{un} – wielkość strumienia materiałów przekazanych do unieszkodliwienia, [kg],

e – współczynnik poziomu unieszkodliwienia odpadów.

4. WYKRES SANKEYA PRZEPLYWU MATERIAŁÓW

Do obliczenia wielkości poszczególnych strumieni materiałów w zakładzie recyklingu samochodów osobowych przyjęto następujące dane:

Roczna wydajność zakładu demontażu (P_{we}) wynosi 1000 [PWE/rok].

Masa pojazdu kompletnego na wejściu: $M_k = M$ [kg].

Współczynnik niekompletności wynosi: $W_n = 0,89$.

Masa niebezpiecznych materiałów i płynów w pojeździe (M_n) wynosi 40 [kg].
 Liczba pojazdów niekompletnych jest na poziomie 15%, czyli $n_k=150$ [PWE/rok].
 Liczba pojazdów kompletnych – 85%, $k=850$ [PWE/rok]
 Sprzedaż części zamiennych jest na poziomie 25% - $q=0,25$.
 Procentowy udział nie sprzedanych części zamiennych wynosi 3%, $g=0,03$.
 Współczynnik poziomu odzysku i recyklingu (v) wynosi 0,95.
 Współczynnik poziomu unieszkodliwienia materiałów (e) wynosi 0,05.

W tab. 4.1 zamieszczono wyznaczoną średnią masę pojazdu przyjętego do zakładu wyliczoną w oparciu o wzory, do obliczeń wykorzystano zamieszczone w tabeli modele samochodów.

Tablica 4.1

Masy wybranych modeli samochodów wraz z ich masą uśrednioną

L.p.	Rodzaj samochodu	Masa samochodu	Masa średnia
		[kg]	[kg]
1.	Fiat 126p 650	600	1050
2.	ZAZ-11024-11 (Tavria)	750	
3.	Audi A3	1340	
4.	Peugeot 607	1500	

Źródło: opracowanie własne

Korzystając ze wzorów 3.1 –3.3 obliczono:
 Średnią masę pojazdu kompletnego $M_k=1050$ [kg].
 Masa pojazdu niekompletnego wynosi $M_{nk}=934,50$ [kg].

Wielkości poszczególnych strumieni materiałów obliczono na podstawie wzorów 3.4 – 3.12 i zamieszczono w tab. 4.2.

Tablica 4.2

Roczna wielkość strumieni materiałów w zakładzie recyklingu samochodów osobowych

Opis strumienia materiałów	Oznaczenie strumienia	Wielkość strumienia	
		[kg]	[Mg]
Masa przyjętych do demontażu PWE	M_{we}	1 032 675,00	1 033
Masa osuszonych PWE	M_b	992 675,00	993
Masa usuniętych materiałów	M_p	40 000,00	40
Masa części zamiennych	M_c	248 168,75	248
Masa odpadów i materiałów	M_{od}	744 506,25	745
Masa nie sprzedanych części zamiennych	M_{nc}	7 445,06	7
Masa sprzedanych części zamiennych	M_{cs}	240 723,69	241
Masa materiałów przekazanych do recyklingu	M_{re}	740 317,56	740
Masa materiałów do unieszkodliwienia	M_{un}	51 633,75	52

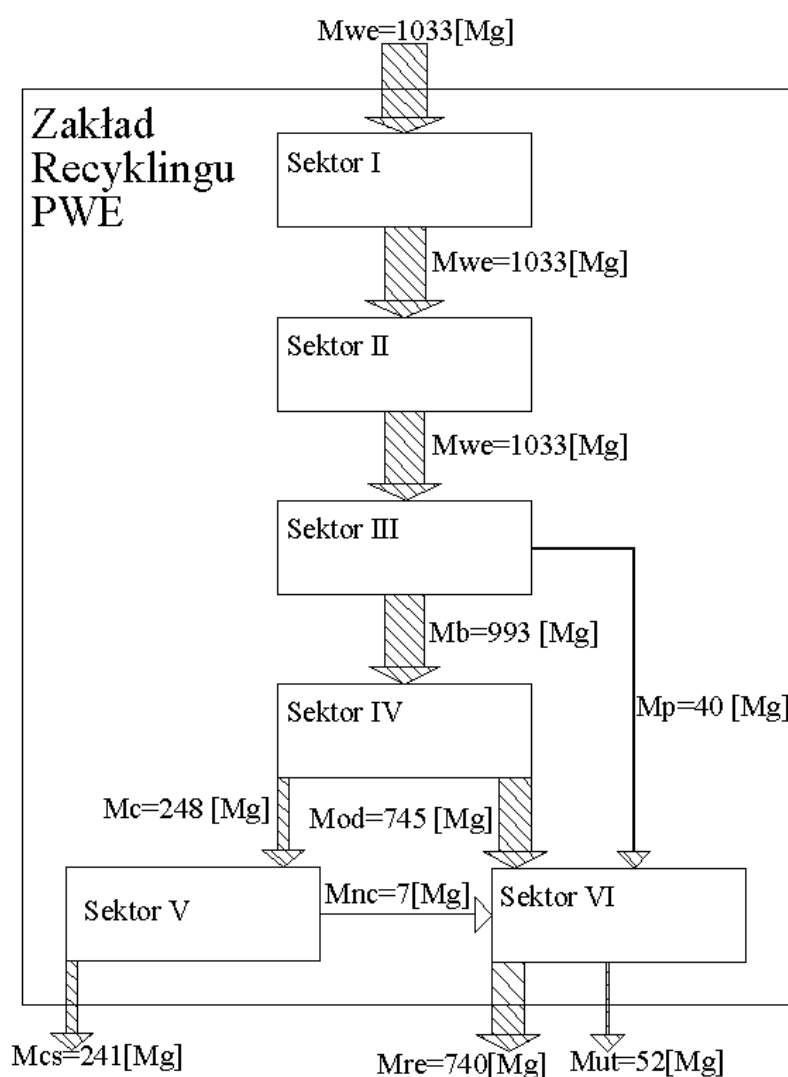
Źródło: opracowanie własne

Na rys. 4.1 przedstawiono przepływ materiałów w zadanym zakładzie recyklingu o wydajności 1000 [PWE/rok].

Zakład recyklingu PWE zamieszczony został w prostokącie, w którym zlokalizowane są sektory od I do VI, przeprowadzane są w nich kolejne etapy recyklingu pojazdów. Wyodrębniono strumień materiałów wchodzących do zakładu i oznaczono go za pomocą

zakreskowanej strzałki skierowanej do sektora I, strumienie materiałów wychodzących zilustrowano za pomocą strzałek zakreskowanych skierowanych od sektorów V oraz VI poza obręb zakładu. Pozostałe przepływy materiałów w zakładzie oznaczono za pomocą zakreskowanych strzałek o odpowiedniej wielkości (w skali) skierowanych zgodnie z kierunkiem poruszania się materiałów pozyskanych w wyniku demontażu na terenie zakładu recyklingu samochodów osobowych. Wielkości poszczególnych strumieni materiałów opisane zostały za pomocą symboli z tab. 4.2.

Na podstawie wyliczonych wielkości przepływu materiałów można oszacować roczny efekt finansowy stacji, czyli obliczyć dochód ze sprzedaży surowców oraz części zamiennych, obliczyć koszty unieszkodliwienia oraz koszty operacyjne. Zakład recyklingu samochodów osobowych ponosi również koszty związane z transportem powstałych w niej odpadów, które są przekazywane do zagospodarowania innym zakładom zajmującym się unieszkodliwianiem i odzyskiem. [7].



Rys. 4.1. Wykres Sankeya przepływu materiałów w zakładzie recyklingu samochodów osobowych

5. PODSUMOWANIE

Recykling samochodów obejmuje zarówno problematykę prawną, techniczną, ekologiczną oraz zagadnienia organizacyjne i logistyczne.

Przepisy prawne Unii Europejskiej, rosnąca liczba pojazdów rejestrowanych oraz wiek parku samochodowego nakładają na Polskę obowiązek zbudowania nowoczesnej sieci zakładów recyklingu samochodów osobowych. Zakłady te powinny być usytuowane w taki sposób aby ułatwić użytkownikowi dostarczenie pojazdów do stacji demontażu, co daje możliwość likwidacji szarej strefy demontażu pojazdów. Rozmieszczenie zakładów recyklingu powinno uwzględniać liczbę pojazdów zarejestrowanych i użytkowanych w danym regionie, co pozwoli ustalić gęstość występowania stacji demontażu PWE.

Projektując nowe zakłady demontażu należy uwzględnić wielkości strumieni materiałów skierowanych do zakładu, powstających w nim oraz z zakładu wychodzących. W oparciu o przyjęte dane dotyczące wydajności zakładu można oszacować powierzchnię miejsc przeznaczonych do magazynowania, a także ich wyposażenie techniczne.

Proces technologiczny recyklingu samochodów osobowych należy racjonalizować poprzez minimalizację kosztów tymczasowego składowania, magazynowania oraz transportu powstałych w wyniku demontażu produktów.

W roku 2009 liczba pojazdów, które ukończyły 16 lat eksploatacji i powinny w najbliższych latach być wycofane z eksploatacji, przekracza 6 milionów, natomiast liczba wyrejestrowanych pojazdów w ciągu ostatnich lat utrzymuje się na stałym poziomie i wynosi około 200 tyś. samochodów osobowych.

Założenia przyjęte przez Unię Europejską ustalają, że po roku 2015 poziom odzysku wyniesie 95% a recyklingu 85% masy pojazdu. [2].

Bibliografia

1. Chłopek Z.: Ochrona środowiska naturalnego. Pojazdy samochodowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2002.
2. Dyrektywa 2000/53/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 roku w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji (Dz. Urz. WE L 269 z 21.10.2000, z późn. zm.).
3. Gronowicz J.: Ochrona środowiska w transporcie lądowym, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2004.
4. GUS: Ochrona środowiska 2008 r., Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2008.
5. Listwan A., Baic I., Łuksa A. : Podstawy gospodarki odpadami niebezpiecznymi, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2009.
6. Nader M., Jakowlewa I.: System organizacji zakładu recyklingu samochodów osobowych, „Logistyka” 4/2009.
7. Nader M., Jakowlewa I.: Wybrane zagadnienia organizacji zakładu recyklingu samochodów osobowych, Prace Naukowe Transport z. 70 Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 lipca 2005 r. w sprawie minimalnych wymagań dla stacji demontażu pojazdów (Dz. U. Nr 143, poz. 1204, 1205 i 1206 z późn. zm.).
9. Szczepaniak C.: Motoryzacja na przełomie epok, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź 2000.

MODEL OF THE FLOW OF MATERIALS AT THE PLANT OF THE CAR RECYCLING

Abstract: In this paper an issue of the recycling of cars was presented. The paper show stages of the life of cars. Functional areas were specified in the plant with functions. A scheme of the flow of materials was drawn up. A method of calculating the size of the flow of materials at the plant of the car recycling was presented. In the summary prospects of the development of the recycling of cars were presented.

Keywords: recycling, recycling plant, car, model of the flow of materials