

Norbert CHAMIER-GLISZCZYŃSKI¹

PROBLEMATYKA PROCESU DEMONTAŻU W ŚRODOWISKOWYM ODDZIAŁYWANIU ŚRODKÓW TRANSPORTU

Wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa i postulaty poprawy stanu środowiska naturalnego wymagają od projektantów oraz producentów środków transportu uwzględniania wymagań ekologicznych. W artykule przedstawiono podstawowe założenia, procedury realizacji, zalety i ograniczenia procesu demontażu wycofanych z eksploatacji środków transportu.

THE PROBLEMS OF PROCESS DISASSEMBLY IN ENVIRONMENTAL INFLUENCE THE MEANS TRANSPORTATION

The growth of ecological awareness of people and the demand for the improving natural environment needs from designers and producers of means transportation, to take into consideration some ecological requirements. In the paper there is introduced the fundamental assumption, procedures of execution, advantages and disadvantages of the disassembly process end of life means transportation.

1. WSTĘP

Prowadzone jeszcze do niedawna badania procesu demontażu dotyczyły głównie demontażu, jako procesu zachodzącego w procesach technologicznych remontu maszyn [1, 2], a także w systemach obsługi technicznej maszyn. Natomiast ostatnio procesy technologiczne demontażu postrzega się jako procesy, które mają istotny wpływ na ochronę środowiska. Zagadnienie demontażu zużytych wyrobów staje się stopniowo dziedziną, która coraz częściej leży w zainteresowaniach naukowców i projektantów procesów produkcyjnych. Sytuacja ta jest rezultatem zachodzących zmian w podejściu do ochrony środowiska i kurczenie się zasobów naturalnych, jak i stosowania rozszerzonego cyklu życia wyrobu. Rządy wielu państw tworzą takie prawo, które zmusza producentów do unicestwiania zużytych, wyeksploatowanych wyrobów. Podstawową drogą do osiągnięcia tego celu jest demontaż tych wyrobów, który realizowany w procesie odzysku elementów i materiałów, umożliwia odzyskanie ze zużytych wyrobów materiałów szkodliwych dla

¹Politechnika Koszalińska, Zakład Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej; 75-620 Koszalin; ul. Raclawicka 15-17.
E-mail: norbert.chamier-gliszczynski@tu.koszalin.pl

środowiska, elementów do ponownego użycia w eksploatacji i materiałów z przeznaczeniem na surowce wtórne.

Biorąc pod uwagę fakt, że najważniejsze decyzje, odnośnie możliwości demontażu danego wyrobu, zapadają podczas etapu ich projektowania, rodzi się pytanie, w jaki sposób to uwzględnić. Odpowiedzią na to pytanie jest tzw. projektowanie wyrobu zorientowanego na recykling i projektowanie dla demontażu [3, 4]. W pracy [5] sformułowano założenia do projektowania tzw. łatwego demontażu, który obejmuje demontaż i jego techniczne i organizacyjne problemy.

Autor pracy [6] formułuje stwierdzenia, że w recyklingu urządzeń technicznych w fazie ich wycofania z eksploatacji, bardzo ważnym zagadnieniem jest sam proces demontażu, z którym wiąże się pojęcie podatności urządzenia do demontażu. Natomiast autorzy prac [7, 8] wskazali na korzyści ekonomiczne, wynikające z ponownego wykorzystania materiałów, w powiązaniu liczby elementów składowych wyrobu i czasu ich demontażu.

2. TECHNIKI DEMONTAŻU I EKONOMICZNE WARUNKI ICH PRZEPROWADZENIA

W procesie demontażu wydziela się ze struktury wyrobu części i zespoły, które różnie definiuje się w konstrukcji i technologii maszyn. Zgodnie z przyjętą definicją, część jest to jednolita bryła ukształtowana z zastosowaniem dowolnej metody czy sposobu obróbki, wchodząca w skład maszyny. Równocześnie nie może być ona wynikiem montażu części składowych przez łączenie połączeniami rozłącznymi. Natomiast w podziale technologicznym wyrobu, pojęcie część maszyny odpowiada pojęciu element konstrukcyjny maszyny lub element maszyny, jako jednostki elementarnej przyjętej przy podziale konstrukcyjnym. Zbiór określonej liczby części połączonych w taki sposób, że tworzą element składowy wyrobu nazywany jest zespołem montażowym [9].

W procesie demontażu samochodów wycofanych z eksploatacji, w zależności od jego zakresu, otrzymywane są jednostki demontażowe w postaci elementów i zespołów. Dlatego w omawianym w pracy procesie demontażu, przyjęto rozumieć element lub zespół jako jednostkę demontażową, właściwą danemu procesowi demontażu, która w tym procesie nie podlega dalszemu demontażowi.

Operacja demontażu to zbiór czynności składających się na rozłączenie jednej jednostki demontażowej od drugiej. Każda operacja odnosi się do jednej demontowanej jednostki np.: zdemontowanie pokrywy silnika, zdemontowanie zderzaka tylnego itp.

Rozważmy proces demontażu pewnego wyrobu poprzez opisanie podziału Q_i zbioru wszystkich części tworzących gotowy wyrób. Dla przykładu stan początkowy procesu demontażu omawianego wyrobu reprezentowany jest przez następujący podział części $Q_1 = \{\{1,2,3,4\}\}$ zaś stan końcowy $Q_{11} = \{\{1\},\{2\},\{3\},\{4\}\}$. Jeżeli pierwszą operacją demontażową jest zdemontowanie części oznaczonej w zbiorze jako $\{1\}$, to stan po operacji ma postać $\{\{1\},2,3,4\}$.

Zbiory wszystkich możliwych operacji demontażu łatwo wyrazić za pomocą grafu skierowanego, w którym wierzchołki odpowiadają stanom podziału zbioru Q_i . Łuki porządkują pary wierzchołków. Droga pomiędzy wierzchołkiem początkowym a danym wierzchołkiem, odpowiada możliwej sekwencji demontażu. Łuki z reguły opisane są kosztem wykonania operacji [10].

Przebieg procesu demontażu danej maszyny jest uwarunkowany jej konstrukcją oraz technologią demontażu. Oznacza to, że zwiększenie zakresu demontażu możliwe jest nie

tylko za pomocą zmian konstrukcyjnych, lecz także przez zmiany w samym procesie demontażu.

Autorka pracy [11] proponuje podział demontażu na: demontaż destrukcyjny i demontaż niedstrukcyjny. Demontaż destrukcyjny jest procesem polegającym na rozdzieleniu wyrobu na elementy, które zostaną wykorzystane w procesie recyklingu materiałowego. Natomiast do procesu demontażu niedstrukcyjnego autorka zaliczyła:

- pełny demontaż polegający na tym, że wszystkie zdemontowane elementy zostaną ponownie wykorzystane jako surowce wtórne,
- selekcyjny demontaż, który przewiduje, że część elementów zostanie sprzedana jako elementy do ponownego użycia w eksploatacji, a pozostałe stanowią będą surowce wtórne,
- regeneracja.

Powszechnie stosowany w literaturze podział demontażu to: demontaż obowiązkowy, demontaż nieniszczący, demontaż niszczący i proces strzępienia, który autorzy prac [12, 13, 14] zaliczają do procesu demontażu umożliwiającego recykling materiałów.

Demontaż obowiązkowy

Demontaż obowiązkowy jest to proces polegający na usunięciu niebezpiecznych elementów i materiałów występujących w wyeksploatowanym wyrobie. Jeżeli mamy do czynienia z samochodem wycofanym z eksploatacji, to demontaż obowiązkowy określany jest jako proces osuszania pojazdu. W przypadku tego procesu, o konieczności demontażu decydują nie względy ekonomiczne, tylko odpowiednie uregulowania prawne, choć poprzez wysokość kar za zanieczyszczanie środowiska, można sprowadzić problem demontażu obowiązkowego do zagadnień typowo ekonomicznych.

Demontaż nieniszczący

Demontaż określany jako proces rozłożenia wyrobu jest techniką nieniszczącą i zarazem dostarczającą pożądaných elementów do ponownego użycia w eksploatacji i elementów do regeneracji. Zysk uzyskany z nieniszczącego demontażu wyrobu i zawierającego m wartościowych elementów określony jest jako:

$$Zd_i = \sum_{j=1}^m (PE_j - KD_j) \quad (1)$$

gdzie: Dd_i – zysk z demontażu nieniszczącego wyrobu i,
 DE_j – przychód uzyskany ze sprzedaży j-tego elementu,
 KD_j – koszt demontażu nieniszczącego j-tego elementu.

Demontaż niszczący

Demontaż niszczący określamy jako proces wydzielenia z wyrobu elementu lub elementów techniką destrukcyjną, która jest mniej precyzyjna i tańsza niż technika nieniszcząca. Zysk uzyskany z niszczącego demontażu wyrobu i zawierającego m elementów określony jest jako:

$$Zdn_i = \sum_{j=1}^m (PE_j - KDN_j) \quad (2)$$

gdzie: Zdn_i – zysk z demontażu nieniszczącego wyrobu i ,
 PE_j – przychód uzyskany ze sprzedaży j -tego elementu,
 KDN_j – koszt demontażu niszczącego j -tego elementu.

Proces strzępienia

Zdemontowane wyroby, które można traktować jako źródło materiałów z przeznaczeniem na surowce wtórne, poddawane są procesowi strzępienia. Zysk wynikający z procesu strzępienia zużytego wyrobu i wyraża się jako:

$$Zs_i = MW_i \left(\sum_{j=1}^k ZS_j \times \frac{m_j}{MW_i} \right) - \sum_{j=1}^{k-1} KSe_j - KS_i \quad (3)$$

gdzie: Zs_i – zysk z procesu strzępienia wyrobu,
 MW_i – masa wyrobu przekazana do strzępienia,
 PS_j – przychód ze sprzedaży jednostki masy surowca typu j ujemny, jeżeli surowiec jest składowany na składowisku odpadów,
 KSe_j – koszt separacji odzyskanego j -tego surowca,
 KS_i – koszt strzępienia wyrobu,
 m_j – masa odzyskanego j -tego surowca,
 k – liczba materiałów, surowców.

Wszystkie z przedstawionych powyżej równań są ważne na każdym etapie procesu demontażu wyrobu. Na każdym z tych etapów należy wybrać ten sposób demontażu, który dostarcza największy zysk. Wyjątek stanowi demontaż obowiązkowy, który należy przeprowadzić niezależnie od tego, czy generuje on zysk dodatni, czy ujemny. Można to wyrazić za pomocą formuły:

$$ZD_{\max,i} = \max(Zd_i, Zdn_i, Zs_i) \quad (4)$$

gdzie: $ZD_{\max,i}$ – zysk maksymalny z demontażu i -tego wyrobu.

Warunkami kontynuacji procesu demontażu wyrobu, za pomocą jednej z omówionych technik, jest spełnienie określonych poniżej warunków:

– dla demontażu nieniszczącego

$$Zd_i > \max(Zdn_i, Zs_i) \quad (5)$$

– dla demontażu niszczącego

$$Zdn_i > \max(Zd_i, Zs_i) \quad (6)$$

– dla procesu strzępienia

$$Zs_i > \max(Zd_i, Zdn_i) \quad (7)$$

3. ASPEKTY ORGANIZACYJNE SYSTEMU DEMONTAŻU

Postrzegając demontaż samochodu wycofanego z eksploatacji, jako pewnego rodzaju system produkcyjny, można go określić jako: wydzieloną ze względu na realizowane zadanie, przestrzeń pracy wraz z środkami pracy i pracownikami oraz ich wzajemnymi powiązaniem, połączona ze swym otoczeniem układem wejść i wyjść. W każdym takim systemie występuje zawsze znaczna liczba przepływów, która musi być odpowiednio zorganizowana (zaprojektowana), aby uniknąć chaosu i kolizji lub zatorów. Wymaga to, prócz zaprojektowania przepływów, odpowiedniej koordynacji. Organizowanie systemu demontażu, podobnie jak systemu produkcyjnego, polega na takim zorganizowaniu systemu, aby ustalona funkcja celu przyjmowała wartości optymalne przy określonej organizacji pracy. Przez organizację pracy rozumie się sposób uporządkowania w czasie i przestrzeni, zbioru działań wykonywanych przez człowieka (ludzi) w procesie pracy, w danych warunkach organizacyjnych i technicznych oraz przy zastosowaniu odpowiednich środków pracy [15]. Do organizacji pracy zaliczymy: procesy pracy ludzkiej, czas, przestrzeń i uporządkowanie.

Realizacja procesu demontażu samochodu wycofanego z eksploatacji w stacji demontażu ma charakter działań jednostkowych. Każde działanie wymaga przygotowania, a po wykonaniu, realizacji określonych czynności kończących działanie. Opracowana na tej podstawie norma czasu charakteryzuje się strukturą opisaną jako:

$$N_t = nt_j + t_{pz} \quad (8)$$

gdzie: N_t – norma czasu na wykonanie działania,
 n – liczba elementów do zdemontowania,
 t_j – czas demontażu elementu, zwany czasem jednostkowym,
 t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy przeznaczony na wykonanie wszystkich czynności związanych z przygotowaniem działania oraz jego zakończeniem.

W celu ustalenia normy czasu demontażu samochodu wycofanego z eksploatacji, należy ustalić czasy jednostkowe demontażu elementów oraz czas przygotowawczo-zakończeniowy. Jest to możliwe, ponieważ większość prac występujących w trakcie demontażu samochodu można rozłożyć na pojedyncze elementy działań. Dla każdego wyodrębnionego elementu działania, można ustalić niezbędne nakłady czasu pracy, na przykład przez pomiar ich czasów trwania i obliczeniu czasu średniego. W ten sposób otrzymujemy czas pracy dla każdego wyodrębnionego elementu działania. Powstaje swego rodzaju katalog czasów, który pozwala na ustalenie normy czasu dla dowolnego zadania demontażowego należącego do określonej klasy zadań. Tak, więc zarówno czas jednostkowy, jak i czas przygotowawczo-zakończeniowy, muszą się składać z elementów składowych, zawartych w katalogu czasów. W celu ustalenia normy czasu na dane zadanie demontażowe, trzeba uprzednio dokonać podziału analizowanej pracy na elementy składowe, zgodne z opisanymi w katalogu czasów. Wyróżnione elementy czasu, są grupowane według określonych cech i właściwości, zgodnie z uwarunkowaniami wynikającymi z Polskiej Normy PN-90/M-01172-I-1.

W stacji demontażu bardzo często mamy do czynienia z demontażem samochodów uszkodzonych, które zwiększają pracochłonność i stanowiskochłonność.

Pracochłonność wyraża czas zajęcia pracownika zaangażowanego do wykonania określonego zadania produkcyjnego (w tym przypadku demontażu elementu z uszkodzonego samochodu). Miarą pracochłonności są jednostki czasu odniesione do pracownika, który wykonuje określone działanie, czyli roboczogodziny [16].

Stanowiskochłonność wyraża czas zajęcia stanowiska zaangażowanego do wykonania określonego zadania produkcyjnego (w tym przypadku demontażu elementu z uszkodzonego samochodu na stanowisku do demontażu uszkodzonych samochodów). Miarą stanowiskochłonności są jednostki czasu odniesione do stanowiska, na którym jest wykonywane określone działanie, czyli stanowiskogodziny [16].

Norma czasu uwzględniająca dodatkowy czas pracy na utrudniony demontaż elementów ze strefy uszkodzonej samochodu opisana jest jako:

$$Nu_t = n_u t_{ju} + t_{pzu} \quad (9)$$

gdzie: Nu_t – norma czasu na wykonanie demontażu elementów ze strefy uszkodzonej samochodu,

n_u – liczba elementów do zdemontowania ze strefy uszkodzonej samochodu,

t_{ju} – czas jednostkowy demontażu elementu ze strefy uszkodzonej samochodu,

t_{pzu} – czas przygotowawczo-zakończeniowy przeznaczony na wykonanie wszystkich czynności związanych z przygotowaniem działania oraz jego zakończeniem obejmującym demontaż elementów ze strefy uszkodzonej samochodu.

Nie tylko demontaż elementów z uszkodzonego samochodu wywołuje zmiany normy czasu na wykonanie działania, ale też technika demontażu. Technika demontażu nieniszczącego zastosowana do poszczególnych demontowanych elementów, w większości przypadków przyczynia się do wzrostu czasu jednostkowego demontażu elementu. Do takiej grupy zaliczymy wszystkie elementy do ponownego użycia w eksploatacji, a w szczególności te elementy, które wymagają zwiększonej uwagi podczas procesu demontażu z powodu możliwości uszkodzenia ich warstwy wierzchniej np. demontaż przedniej szyby, elementów wnętrza samochodu itp. Natomiast technika demontażu niszczącego, w większości przypadków zmniejsza jednostkowy czas demontażu takiego elementu. Norma czasu uwzględniająca technikę nieniszczącego demontażu elementów z samochodu wycofanego z eksploatacji opisana jest jako:

$$Ndn_t = n_{dn} t_{jdn} + t_{pzdn} \quad (10)$$

gdzie: Ndn_t – norma czasu na wykonanie demontażu nieniszczącego elementów,

n_{dn} – liczba elementów do demontażu nieniszczącego,

t_{jdn} – czas jednostkowy demontażu nieniszczącego elementu,

t_{pzdn} – czas przygotowawczo-zakończeniowy przeznaczony na wykonanie wszystkich czynności związanych z przygotowaniem działania oraz jego zakończeniem, obejmującym demontaż nieniszczący elementów.

Natomiast norma czasu uwzględniająca technikę niszcącego demontażu elementów z samochodu wycofanego z eksploatacji opisana jest jako:

$$Nd_t = n_d t_{jd} + t_{pzd} \quad (11)$$

gdzie: Nd_t – norma czasu na wykonanie demontażu niszcącego elementów,
 n_d – liczba elementów do demontażu niszcącego,
 t_{jd} – czas jednostkowy demontażu niszcącego elementu,
 t_{pzd} – czas przygotowawczo-zakończeniowy przeznaczony na wykonanie wszystkich czynności związanych z przygotowaniem działania oraz jego zakończeniem, obejmującym demontaż niszcący elementów.

Przewidziana norma czasu na demontaż, w stacji demontażu danego modelu samochodu wycofanego z eksploatacji, uwzględnia czas demontażu elementów ze strefy uszkodzonej samochodu, czas nieniszczącego demontażu elementów i czas demontażu niszcącego elementów z samochodu:

$$ND_t = Nu_t + Ndn_t + Nd_t \quad (12)$$

gdzie: ND_t – norma czasu demontażu danego modelu samochodu wycofanego z eksploatacji,
 Nu_t – norma czasu na wykonanie demontażu elementów ze strefy uszkodzonej samochodu,
 Ndn_t – norma czasu na wykonanie demontażu nieniszczącego elementów,
 Nd_t – norma czasu na wykonanie demontażu niszcącego elementów.

3. WNIOSKI

Analiza cyklu życia środka transportu wskazała na znaczne możliwości ograniczenia ich wpływu na środowisko poprzez optymalizację etapu wycofanie z eksploatacji. Równocześnie, aby przeprowadzić optymalizację tego etapu konieczne stało się wykorzystanie do tego celu procesu demontażu, którego analiza została przedstawiona w pracy.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Wrotkowski J.: *Demontaż i montaż maszyn*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971.
- [2] Wrotkowski J., Paszkowski B., Wojdak J.: *Remont maszyn. Demontaż, naprawa elementów, montaż*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
- [3] Gungor A., Gupta Surenda M.: *Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey*. *Computer&Industrial Engineering* 36/1999.
- [4] Harjula T., Rapoza B., Knight W. A., Boothroyd G.: *Design for disassembly and the environment*. *Annals of the CIRP*, vol. 45/1/199.

- [5] Mok H. S., Kim H. J., Moon K. S.: *Disassemblability of mechanical parts in automobile for recycling*. Computers and Industrial Engineering, vol. 33, No 3-4, 1997.
- [6] Korzeń Z.: *Ekologistyka*. Instytut Logistyki i Magazynowania, Biblioteka Logistyki, Poznań 2001.
- [7] Harjula T., Rapoza B., Knight W. A., Boothroyd G.: *Design for disassembly and the environment*. Annals of the CIRP, vol. 45/1/1996.
- [8] Zussman E., Kriwet A., Seliger G.: *Disassembly- oriented Assessment methodology to support design for recycling*. Annals of the CIRP, vol. 43/1/1994.
- [9] Puff T., Sołtys W.: *Podstawy technologii montażu maszyn i urządzeń*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1980.
- [10] Łebkowski P.: *Dwupoziomowy model planowania demontażu*. Półrocznik, Automatyka Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie, t. 3, z. 1, Kraków 1999.
- [11] Kralikowa R.: *Środowiskowe aspekty demontażu samochodów dla recyklingu. Technologia i automatyzacja montażu zespołów, maszyn i urządzeń*. Ogólnopolski Kwartalnik Naukowo-Techniczny Nr 3(33) lipiec-wrzesień 2001.
- [12] Lambert A. J. D., Gupta S. M.: *Disassembly modeling for assembly, maintenance, reuse, and recycling*. CRC Press 2005.
- [13] Łebkowski P.: *Planowanie montażu mechanicznego w elastycznych systemach produkcyjnych*. Wybrane metody i zagadnienia. Rozprawy, monografie nr 106. Wydawnictwo Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie, Kraków 2002.
- [14] Penev K. D.: *Desing of disassembly systems*. Technische Universiteit Eindhoven, 1996.
- [15] Strzelecki T.: *Organizacja i normowanie pracy*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995.
- [16] Woźniak W.: *Zarządzanie procesami recyklingu samochodów*. Rozprawa doktorska. Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania, Łódź, 2001.