ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE z. 27 Nr kol.1681

Anna KWIOTKOWSKA
Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania
Katedra Zarządzania Przedsiębiorstwem i Organizacji Produkcji

LOGISTYKA ZAOPATRZENIA W CZĘŚCI ZAMIENNE W GOSPODARCE REMONTOWEJ MASZYN I URZĄDZEŃ

Streszczenie. Logistyka zaopatrzenia w części zamienne powinna stanowić element całego systemu logistycznego przedsiębiorstwa i pozostawać w ścisłym związku z innymi podsystemami logistycznymi. Główny nacisk w artykule położono na przedstawienie odmiennych cech koncepcji logistyki zaopatrzenia w części zamienne wraz z analizą studium przypadku dotyczącego opracowania zapotrzebowania na części zamienne dla urządzeń energetycznych.

SPARE PARTS SUPPLY LOGISTICS IN MACHINES AND EQUIPMENTS MAINTENANCE

Summary. Spare parts supply logistics should decide a part of logistics system and stay in connection with other logistics subsystems. Spare parts are repairable components or assemblies used for maintenance replacement purposes in major end items of machines or equipments. The article presents essence and role of spare parts supply logistics with analyses of case study connected with energetic market.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z DIN 24 420[1] części zamienne są definiowane jako elementy (zwane także częściami), grupy elementów (zwane także zespołami i podzespołami) lub kompletne wyroby, które służą do zastąpienia uszkodzonych, zużytych lub wadliwych części, zespołów lub wyrobów. Charakterystyczne jest przy tym, że część zamienna musi być jednoznacznie

[1] Deutsches Institut für Normung, 1976.

przyporządkowana jednej lub kilku maszynom czy urządzeniom i w tym kontekście nie może być użytkowana samodzielnie.

Rozróżnia się według H.Ch. Pfohla[2] logistykę części zamiennych oferenta (producenta) od logistyki części zamiennych odbiorcy (użytkownika) tychże części, na której to przede wszystkim skupiono się w niniejszym artykule. Zadania logistyki części zamiennych u odbiorcy pokrywają się z ogólnymi zadaniami logistyki zaopatrzenia, stąd też główny nacisk położono na przedstawienie odmiennych cech koncepcji logistyki zaopatrzenia w części zamienne wraz z analizą studium przypadku dotyczącego opracowania zapotrzebowania na części zamienne dla urządzeń energetycznych.

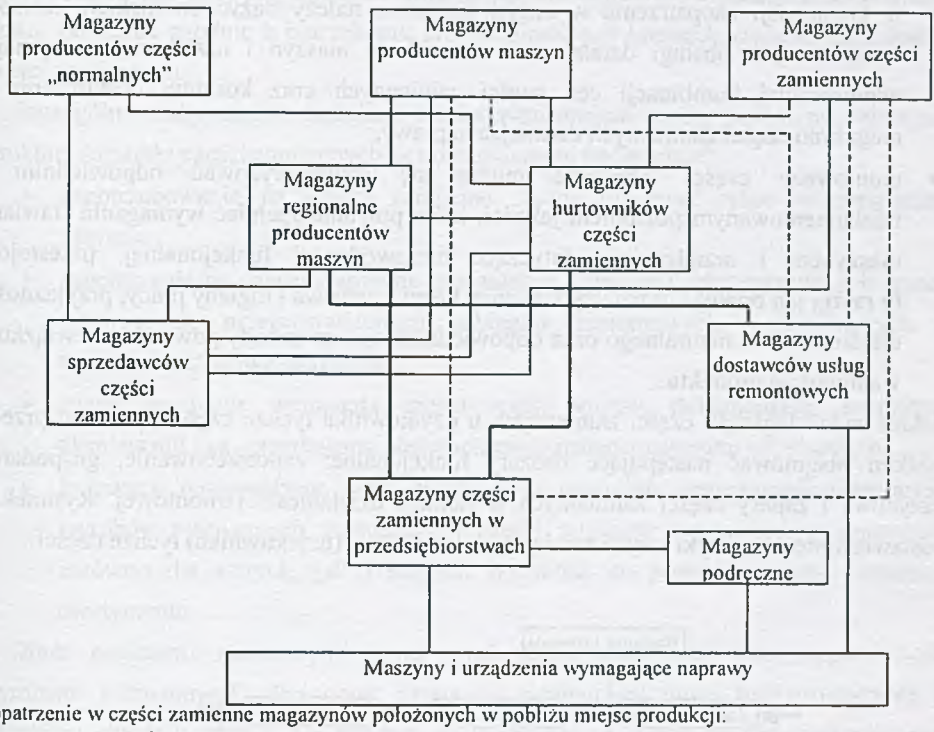
2. Założenia i wymagania koncepcji logistyki zaopatrzenia w części zamienne

Częściami zamiennymi, u odbiorcy (użytkownika) tychże części, dysponuje się i utrzymuje w gotowości dla celów obsługi działalności remontowej. Działalność remontowa zaś będzie rozumiana jako zespół działań, które mają na celu zapobieganie nadmiernemu zużyciu środków trwałych, usuwaniu skutków tego zużycia i przywracaniu środkom trwałym właściwej sprawności technicznej[3].

Logistyka części zamiennych stanowi element całego systemu zaopatrzenia w przedsiębiorstwie, gdzie części zamienne dostarczane są przez producentów maszyn i sprzedawców tychże części – rysunek 1.

Magazyny części zamiennych położone w pobliżu miejsc produkcji i bezpośrednio zaopatrujące przedmiot obsługi działalności remontowej znajdują się w samych przedsiębiorstwach produkcyjnych lub u dostawcy usług remontowych. Z powodu kosztów bezpośrednie zaopatrzenie takiego magazynu nie zawsze jest optymalnym rozwiązaniem, stąd też wielu producentów odrzuca zaopatrzenie bezpośrednie. Natomiast pośrednie szczeble sprzedaży i zapasów części zamiennych zmniejszają drogę i czas dostępu dla jednostek obsługi działalności remontowej podwyższając jednak cenę części zamiennych.

[2] Pfohl H. Ch.: Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania, Biblioteka Logistyka, Poznań 1998.
[3] Lis S.: Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym, PWN, Warszawa 1984.



Zaopatrzenie w części zamienne magazynów położonych w pobliżu miejsc produkcji:
——— zaopatrzenie bezpośrednie
-------. przez 1 szczebel pośredni
——— przez 2 szczeble pośrednie

Rys. 1. Szczeble magazynowe części zamiennych
Fig. 1. Warehous's grade of spare parts
Źródło: Opracowanie na podstawie Werner G.: Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń, Alfa-Weka sp. z o.o., Wydawnictwo Informacji Zawodowej, 1998

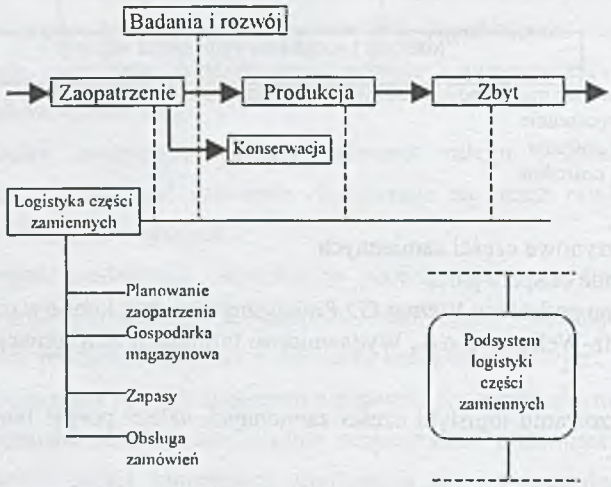
Decyzje o zorganizowaniu logistyki części zamiennych należy podjąć biorąc pod uwagę następujące czynniki[4]:

- w długim okresie termin i wielkość zaopatrzenia danej maszyny na części zamienne nie może być dokładnie przewidziana, stąd przeszłe dane liczbowe dotyczące zużycia mogą służyć jedynie dla celów orientacyjnych,
- części zamienne muszą być składowane na tyle blisko maszyn i urządzeń, aby nagłe zapotrzebowanie na określoną część mogło być szybko pokryte, a naprawa natychmiast przeprowadzona,

[4] Werner G.: Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń, Alfa-Weka sp. z o.o., Wydawnictwo Informacji Zawodowej, 1998.

- w organizacji zaopatrzenia w części zamienne należy dążyć do niskich kosztów materiałowych obsługi działalności remontowej maszyn i urządzeń, co wymaga odpowiedniej kombinacji cen części zamiennych oraz kosztów dostarczenia z magazynu części zamiennych do miejsc naprawy,
- montowane części zamienne muszą się charakteryzować odpowiednim i udokumentowanym poziomem jakości, która powinna spełniać wymagania stawiane maszynom i urządzeniom dotyczące niezawodności funkcjonalnej, przestojów (a raczej ich braku) i czasu użytkowania, bezpieczeństwa i higieny pracy, przyjazności dla środowiska naturalnego oraz odpowiedzialności za szkody powstałe w związku z wadliwością produktu.

Zakres zadań logistyki części zamiennych u użytkownika tychże części powinien przede wszystkim obejmować następujące obszary funkcjonalne: zapotrzebowanie, gospodarkę magazynową i zapasy części zamiennych w ramach działalności remontowej. Rysunek 2 przedstawia system logistyki części zamiennych u odbiorcy (użytkownika) tychże części.



Rys. 2. Logistyka części zamiennych u odbiorcy (użytkownika) tychże części
Fig. 2. Logistics of spare parts at the user's
Źródło: Opracowanie własne na podstawie Pfohl H. Ch.: Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania, Biblioteka Logistyka, Poznań 1998

W zaopatrzeniu w części zamienne odbiorcy przemysłowego bierze udział więcej obszarów funkcjonalnych przedsiębiorstwa, oprócz służb utrzymania ruchu, także np.

gospodarka środkami trwałymi czy kontroling[5]. Celem wspólnych działań jest zaopatrzenie w części zamienne zgodnie z potrzebami, przy minimalnych kosztach związanych z logistyką części zamiennych.

Szczególne cechy obrotu częściami zamiennymi mające istotny wpływ na wymagania i strukturę logistyki części zamiennych są między innymi następujące[6]:

- zapotrzebowanie na części zamienne można planować tylko w ograniczonym zakresie,
- zaopatrzenia na części zamienne jest zależne m.in. od liczby sprzedanych wyrobów pierwotnych, przeprowadzonych zabiegów remontowych i serwisowych oraz trwałości zastosowanych części,
- części zamienne wymagają często wielu opisów, dokumentacji, normatywów eksploatacji i są sprzedawane niejednokrotnie razem z usługami serwisowymi,
- innowacje wprowadzane przez producentów powodują zastępowanie przestarzałych wyrobów pierwotnych, podczas gdy części zamienne muszą być przygotowywane zarówno dla starych, jak i nowych wyrobów, co powoduje ciągłe rozszerzenie asortymentu.

Obrót częściami zamiennymi może mieć zdefiniowany cel, jako wsparcie obrotu wyrobami pierwotnymi, albo obrót częściami zamiennymi może być prowadzony jako oddzielny składnik obrotu. W każdym wypadku należy dążyć do optymalizacji między serwisem dostawczym a kosztami logistycznymi, przy czym trzeba uwzględnić powiązanie z produktem pierwotnym.

Dla przedsiębiorstwa produkcyjnego jako użytkownika części znamiennych konieczne jest szybkie i niezawodne przeprowadzenie obsługi remontowej zepsutych urządzeń produkcyjnych, ze względu na wzrastający stopień złożoności i wzajemnych powiązań urządzeń produkcyjnych i wynikających z tego wzrastających kosztów przestojów. Czas przebywania urządzenia w stanie naprawy ma zaś istotny wpływ na jego gotowość techniczną, gdzie średni czas naprawy urządzenia zależny jest od organizacji naprawy, stopnia kwalifikacji wykonujących ją specjalistów, a także od czasu oczekiwania na części zamienne, który jest w wielu przypadkach dominujący[7]. Dla niezwłocznego wykonania tychże napraw konieczne jest niezawodne opracowanie zapotrzebowania na części zamienne przez przedsiębiorstwo. Przykład opracowania zapotrzebowania na części zamienne z uwzględnieniem rzeczywistych warunków eksploatacji występujących w przedsiębiorstwie przedstawia studium przypadku.

---

[5] Pfohl H. Ch.: Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania, Biblioteka Logistyka, Poznań 1998.
[6] j.w.
[7] Jaźwiński J., Żurek J.: Wpływ czasu oczekiwania na części zamienne na gotowość obiektu, Materiały Konferencji Logistyki Stosowanej.

3. Studium przypadku – Zapotrzebowanie na części zamienne dla urządzeń energetycznych

Przy przewidywaniu zapotrzebowania na części zamienne dla urządzeń energetycznych powinno się uwzględnić następujące ograniczenia, zgodnie z koncepcją logistyki części zamiennych:

- rozmieszczenie części w określonych magazynach,
- ustalenie wielkości zapasów ze względu na:
  - ceny elementów,
  - przedział zmienności intensywności uszkodzeń dla poszczególnych grup elementów,
  - ryzyko dostawy (długie czasy realizacji zamówień) i związane z tym ewentualne koszty przerw w pracy określonych urządzeń.

Przy tworzeniu rezerwy magazynowej konieczne jest uwzględnienie rzeczywistego zapotrzebowania na układy lub elementy zapasowe z przyjęciem określonego ryzyka, że obliczony zapas będzie niewystarczający. Oznacza to głównie ryzyko związane z przerwami w produkcji, wynikające z niewystarczalności zapasu, związane z konkretnymi konsekwencjami ekonomicznymi dla przedsiębiorstwa.

Podstawą do opracowania zapotrzebowania na części zamienne dla urządzeń energetycznych powinna być odpowiednia baza danych. Tworzenie bazy danych jest konieczne dla odpowiedniej obsługi urządzeń energetycznych, a także dla opracowania zapotrzebowania na określone grupy elementów, które będą wymieniane w trakcie obsługi technicznej.

Tworzona baza danych powinna obejmować:

a. Rodzaje grup elementów różniących się wielkością, typem itp., gdzie dana grupa jest identyfikowana przez numer grupy N_{gi} ($i = 1,2,...,n$) oraz nazwę. Jednocześnie określona jest liczność grupy L_{gij} ($j = 1,2,...,m_i$), gdzie możliwa jest identyfikacja j-tego elementu w grupie, który jest wykorzystany w konkretnym urządzeniu technologicznym, np. w filtrze workowym. Oznacza to, że element urządzenia energetycznego jest określony przez i – numer grupy, j – numer w urządzeniu technologicznym. Podział taki powinien być dokonany na podstawie inwentaryzacji urządzeń na poszczególnych wydziałach przedsiębiorstwa.
b. Liczność zapasów magazynowych w poszczególnych grupach elementów L_{mi}, gdzie $i = 1, 2, ...,n$ jest numerem grupy.
c. Ilość uszkodzeń (ew. wymian) dla wszystkich elementów w rozpatrywanym przedziale czasu L_{ui}, co umożliwia również rejestrację ilości uszkodzeń konkretnego

j-tego elementu danej grupy wykorzystanego w konkretnym urządzeniu technologicznym L_{uij}. Umożliwia to wskazanie najczęściej uszkodzonych elementów i układów do diagnostyki.

d. Intensywność uszkodzeń dla elementów we wszystkich grupach - λ_{Lj}.

e. Czas wymiany T_{wi} pojedynczego elementu i-tej grupy w czasie przeglądu okresowego lub remontu.

Opracowany w ramach pracy algorytm postępowania przy opracowaniu zapotrzebowania na części zamienne dla poszczególnych elementów w planowanym okresie czasu T_p, np. rok, półrocze, kwartał, jest następujący[8]:

Algorytm zapotrzebowania na części zamienne dla urządzeń energetycznych

a. **Wprowadzenie danych z bazy danych:**

- założone prawdopodobieństwo wystarczalności zapasu P_{WZ} lub ryzyko niewystarczalności zapasu $R_{NWZ} = 1 - P_{WZ}$,
- planowany okres T_p,
- numer grup elementów N_{gi} lub nazwy grup,
- intensywność uszkodzeń dla elementów danej grupy λ_{si},
- liczność zapasów magazynowych w poszczególnych grupach elementów L_{mi}.

b. **Wyznaczanie średniego zużycia części zapasowych $Z_{śri}$[9]:**

Jeżeli liczba eksploatowanych elementów jest znana i rozpatrywany czas użytkowania jest względnie długi, to można skorzystać z twierdzenia o normalnym rozkładzie liczby uszkodzeń (wymian) i oszacować liczbę wymienianych elementów i-tej grupy z zależności:

$$Z_{śri} = L_{gi}\, T_p\, \lambda_{si},$$

Numer *i* dotyczy tylko tych grup elementów, dla których konieczne jest tworzenie zapasu elementów.

c. **Wyznaczanie zapotrzebowania na części zamienne[10]:**

- **Obliczanie współczynnika zapasu dla grup elementów k_{zi},**

  gdzie k_{zi} jest funkcją $Z_{śri}$ oraz P_{WZ}, przy czym:
  - zależność jest podana w sposób tabelaryczny dla $1 \le Z_{śr} \le 7$,
  - zależność jest podana w postaci nomogramu dla różnych P_{WZ} i $8 \le Z_{śr} \le 20$,
  - zależność jest podana w postaci funkcji dla $20 \le Z_{śr} \le 60$.

---

[8] Przyjęto stałą intensywność uszkodzeń dla analizy koniecznych wymian elementów urządzeń energetycznych w rozpatrywanym okresie T_p. Oznacza to, że zakłada się wykładniczy rozkład czasu pracy urządzeń energetycznych.

[9] Szymczak S.: Zbiór zadań z eksploatacji, WAT, Warszawa 1987.

[10] jw.

- **Obliczenie liczby części zamiennych dla grup elementów Z_{wi}:**

$$Z_{wi} = k_{zi} * Z_{śr}$$

- **Obliczenie rzeczywistego zapotrzebowania z uwzględnieniem zapasów magazynowych**

Jeżeli $Z_{wi} > Z_{mi}$, to zależność:

$$Z_{wri} = Z_{wi} - Z_{mi},$$

w przeciwnym przypadku $Z_{wri} = 0$.

Algorytm zapotrzebowania na części zamienne dla urządzeń energetycznych uwzględnia rzeczywiste warunki eksploatacji, które występują w analizowanym przedsiębiorstwie. Rozpatruje się tu i uwzględnia intensywność uszkodzeń dla poszczególnych grup elementów w zainstalowanych urządzeniach energetycznych, założone ryzyko niewystarczalności zapasu oraz rezerwy w magazynie. Zamówienia zatem na części zamienne nie będą opracowane w sposób subiektywny. Ponadto w celu oszczędności poniesionych nakładów na zakup części zamiennych dla poszczególnych urządzeń energetycznych można podjąć działania ograniczające to zapotrzebowanie. W tym celu można, zgodnie z koncepcją logistyczną, np.:

- odpowiednio rozmieścić części zamienne w magazynach centralnych i wydziałowych,
- ustalić wielkość zapasów według zasad maksimum wykorzystania dla elementów drogich i maksimum wystarczalności dla elementów tanich,

  Drogie części powinno się głównie rozmieścić w magazynie centralnym, tanie zaś w magazynach wydziałowych. Minimalny zapas drogich części w magazynie wydziałowym powinien być uzupełniony na bieżąco przez magazyn centralny. Postępowanie to zapewni ustaloną wielkość zapasów według maksimum wykorzystania dla elementów drogich i według maksimum wystarczalności dla elementów tanich. Klasyfikacji zapasów można tu dokonać przy wykorzystaniu metody ABC,
- ustalić wielkość zapasów z uwzględnieniem ważności, ceny oraz ryzyka w zaopatrzeniu dla konkretnego elementu.

  Ważność i-tego urządzenia energetycznego jest rozumiana w sensie pełnionej funkcji przez dane urządzenie z uwzględnieniem możliwych skutków powstałej awarii danego elementu – tabela 1.

Tabela 1

Określenie liczności zapasów elementów z uwzględnieniem ważności urządzenia energetycznego i ceny elementu

Ważność dla i-tego urządzenia	Cena pojedynczego elementu i-tego urządzenia		
	duża	średnia	mała
Awaria urządzenia z małymi stratami	Z_{sdi}	Z_{ssi}	Z_{sgi}
Awaria urządzenia z dużymi stratami	Z_{pdi}	Z_{psi}	Z_{pgi}
Awaria urządzenia związana z zagrożeniem bezpieczeństwa	Z_{psi}	Z_{pgi}	Z_{pgi}

Źródło: Opracowanie na podstawie S. Szymczak, Zbiór zadań z eksploatacji, WAT, Warszawa 1987

Ryzyko w zaopatrzeniu jest rozumiane jako możliwa trudność w zakupie konkretnych elementów urządzenia energetycznego na rynku, co może być również wynikiem długiego okresu realizacji zamówienia.

Terminy zaopatrzenia na części zamienne dla urządzeń energetycznych ustala się:

- przed planowanymi przeglądami i remontami, co związane jest z przewidywanym maksymalnym zużyciem części zamiennych,
- przy przejściu stanu zapasów magazynowych poniżej określonego zapasu minimalnego.

4. Podsumowanie

Logistyka zaopatrzenia w części zamienne powinna stanowić część całego systemu logistycznego przedsiębiorstwa i pozostawać w ścisłym związku z innymi podsystemami logistycznymi. Zakres zadań logistyki części zamiennych odnosi się szczególnie do następujących obszarów funkcjonalnych: zaopatrzenia, gospodarki magazynowej, zapasów oraz obsługi zamówień. W artykule zwrócono szczególną uwagę na ważność i konieczność szybkiego i niezawodnego opracowania zapotrzebowania na części zamienne, gdzie przykład opracowania zapotrzebowania na części zamienne z uwzględnieniem rzeczywistych warunków eksploatacji występujących w przedsiębiorstwie przedstawiono w studium przypadku.

Literatura

1. Pfohl H. Ch.: Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania, Biblioteka Logistyka, Poznań 1998.
2. Lis S.: Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym, PWN, Warszawa 1984.
3. Werner G.: Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń, Alfa-Weka sp. z o.o., Wydawnictwo Informacji Zawodowej 1998.
4. Jaźwiński J., Żurek J.: Wpływ czasu oczekiwania na części zamienne na gotowość obiektu, Materiały Konferencji Logistyki Stosowanej.
5. Szymczak S.: Zbiór zadań z eksploatacji, WAT, Warszawa 1987.