

PLANOWANIE ZAPOTRZEBOWANIA CZĘŚCI ZAMIENNYCH SILNIKA LOTNICZEGO W PROTOTYPIE INFORMATYCZNEGO SYSTEMU DEL

1. Wstęp

Dzięki zastosowaniu systemów komputerowych i odpowiedniego oprogramowania wiele złożonych zadań logistycznych stało się w dużej mierze rutynowe. Skuteczne zarządzanie procesami przedsiębiorstwa zaczyna się od systemu informatycznego, który pozwala menedżerowi w każdej chwili zrozumieć aktualną sytuację i ułatwia wydawanie stosownych poleceń. Współczesne systemy ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) powstały w efekcie długoletniej ewolucji założeń teoretycznych oraz technologii oferowanej przez przemysł komputerowy. Niemniej jednak systemy te nie są w stanie rozwiązać wszystkich problemów, szczególnie tych, które najsilniej związane są ze specyfiką branży przemysłowej. Jest to szczególnie widoczne w tych sektorach przemysłu, w których występują nietypowe procesy technologiczne, np. proces naprawy. Losowy charakter procesu naprawy wynika z faktu losowego zużycia części i podzespołu obiektu. Zakres i przebieg procesu można określić jedynie w przybliżeniu. Istnieje więc problem braku narzędzi informatycznych wspomagających planowanie prac remontowych z uwzględnieniem wariantowości ich przebiegu, tzn. przewidywania, że każdy element w obiekcie jest z pewnym prawdopodobieństwem niesprawny i trzeba go wymienić lub też poddać regeneracji. Rozwiązanie tego problemu jest ważne z punktu widzenia potrzeb planowania, czyli przewidywania przed rozpoczęciem naprawy, np. ile czasu będzie ona trwać, jaki będzie jej koszt, jakie środki będą potrzebne do jej realizacji, jacy specjaliści o określonych kwalifikacjach oraz jakie części zamienne zostaną zużyte w trakcie remontu.

2. Planowanie zasobów zakładu remontowego

Z roku na rok rośnie liczba przedsiębiorstw, które szukając metod na poprawę procesów zarządzania oraz podniesienia efektywności działania, decydują się na wdrożenie systemów informatycznych wspomagających zarządzanie. Systemy zarządzania zasobami firmy ERP, określane są również, pod nazwą MRP III, czyli *Money Resource Planning* - Planowanie Zasobów Finansowych. Ich głównym celem jest możliwie najpełniejsza integracja wszystkich szczebli zarządzania przedsiębiorstwa, włącznie z najwyższymi. Podstawowym zadaniem stawianym przed tymi systemami jest planowanie zasobów produkcyjnych MRP II (*Manufacturing Resource Planning*), zdefiniowane i opublikowane w 1988 roku przez Amerykańskie Stowarzyszenie Sterowania Produkcją i Zapasami – APICS (*American Production and Inventory Control Society*), które dzisiaj stosowane jest we wszystkich większych zintegrowanych systemach wspomagających zarządzanie. Jest to metodyka

rozszerzona względem MRP I o element planowania stanu zatrudnienia, przepustowości maszyn i modułów symulacyjnych. Fundamentem dla całego systemu ERP jest planowanie potrzeb materiałowych. Główne cele MRP I to [4]:

- 1) redukcja zapasów – chodzi tu o zapasy materiałowe i operacyjne, dzięki czemu zwiększa się płynność finansowa przedsiębiorstwa oraz czas rotacji kapitału,
- 2) dokładne określenie czasów dostaw surowców i półproduktów,
- 3) dokładne wyznaczenie kosztów produkcji,
- 4) lepsze wykorzystanie posiadanej infrastruktury (magazyny, możliwości wytwórcze),
- 5) szybsze reagowanie na zmiany zachodzące w otoczeniu,
- 6) kontrola poszczególnych etapów produkcji.

Jedną z najważniejszych informacji wejściowych, która wpływa na jakość planowania MRP, jest główny plan produkcyjny. W zakładach remontowych informacja ta jest trudna do określenia ze względu na jej probabilistyczny charakter. W przypadku remontów silnika lotniczego głównym planem produkcyjnym jest prognoza zapotrzebowania na części zamienne. Problematyka planowania części zamiennych jest badana od wielu lat, co przyniosło efekty w postaci rozwoju licznych metod i technik prognozowania. Tradycyjne metody statystyczne, takie jak wyrównanie wykładnicze i analizy regresji, są stosowane w prognozowaniu zapotrzebowania na części zamienne od dawna. Metody te są jednak zawodne w przypadku, gdy zapotrzebowanie popytu jest niestabilne [3]. Pierwszym, który szerzej przedstawił tę problematykę był Croston. Zaproponował on nową metodę prognozowania [1], nazwaną metodą CR, pozwalającą określić niezależnie czas wystąpienia zapotrzebowania i wielkość zapotrzebowania w danym okresie. Metoda CR była analizowana przez wielu badaczy, którzy wykazywali jej skuteczność lub proponowali wprowadzenie w niej pewnych modyfikacji. Najbardziej istotne propozycje zmian zaproponowali Syntetos i Boylan, którzy wskazali błędy w algorytmie CR [7]. Wynikiem tych badań było opracowanie nowej metody prognozowania nazwanej SBA, gdzie w estymatorze CR zaproponowano korektę współczynnika stałej wygładzania w danym przedziale czasu. W literaturze [8] przedstawiono porównanie prognozowania zjawisk, gdzie popyt jest nietrwały (niestabilny), metodami średniej ruchomej, modelami wygładzania wykładniczego, metodą CR i SBA. W wyniku analizy wykazano wyższość metody SBA nad pozostałymi. Pomimo tak licznych badań nad metodami prognozowania popytu nietrwałego, w dalszym ciągu wyniki prognoz budowanych za pomocą tych metod są obciążone dużymi błędami. Stanowi to przesłankę do poszukiwania nowej, lepszej metody prognozowania.

Badania nad nową metodą prognozowania zapotrzebowania na części wymieniane w trakcie remontu głównego silnika lotniczego eksploatowanego strategią wg resursu przeprowadzono na przykładzie remontów turbo-śmigłowego silnika lotniczego polskiej produkcji. Wyniki eksperymentu przedstawiono w literaturze [5]. Przeprowadzone badania wskazują na możliwość budowy prognozy złożonej z informacji o pozostałym resursie silnika lotniczego jako interwale wystąpienia popytu oraz modeli sztucznych sieci neuronowych prognozujących licznosc zapotrzebowania. W neuronowych modelach regresyjnych jako zmienne objaśniające wykorzystano wewnętrzne i zewnętrzne charakterystyki eksploatacyjne silnika lotniczego.

3. System DEL

Pozytywne wyniki badań nad nową metodą prognozowania zapotrzebowania części remontowanego silnika lotniczego zainicjowały prace nad kompleksowym rozwiązaniem w postaci systemu informatycznego. Głównym zadaniem postawionym przed programem informatycznym jest poprawa zarządzania remontami i naprawami silników lotniczych. System stanowi uzupełnienie funkcjonalności zintegrowanego systemu zarządzania klasy ERP SAP R/3, dla

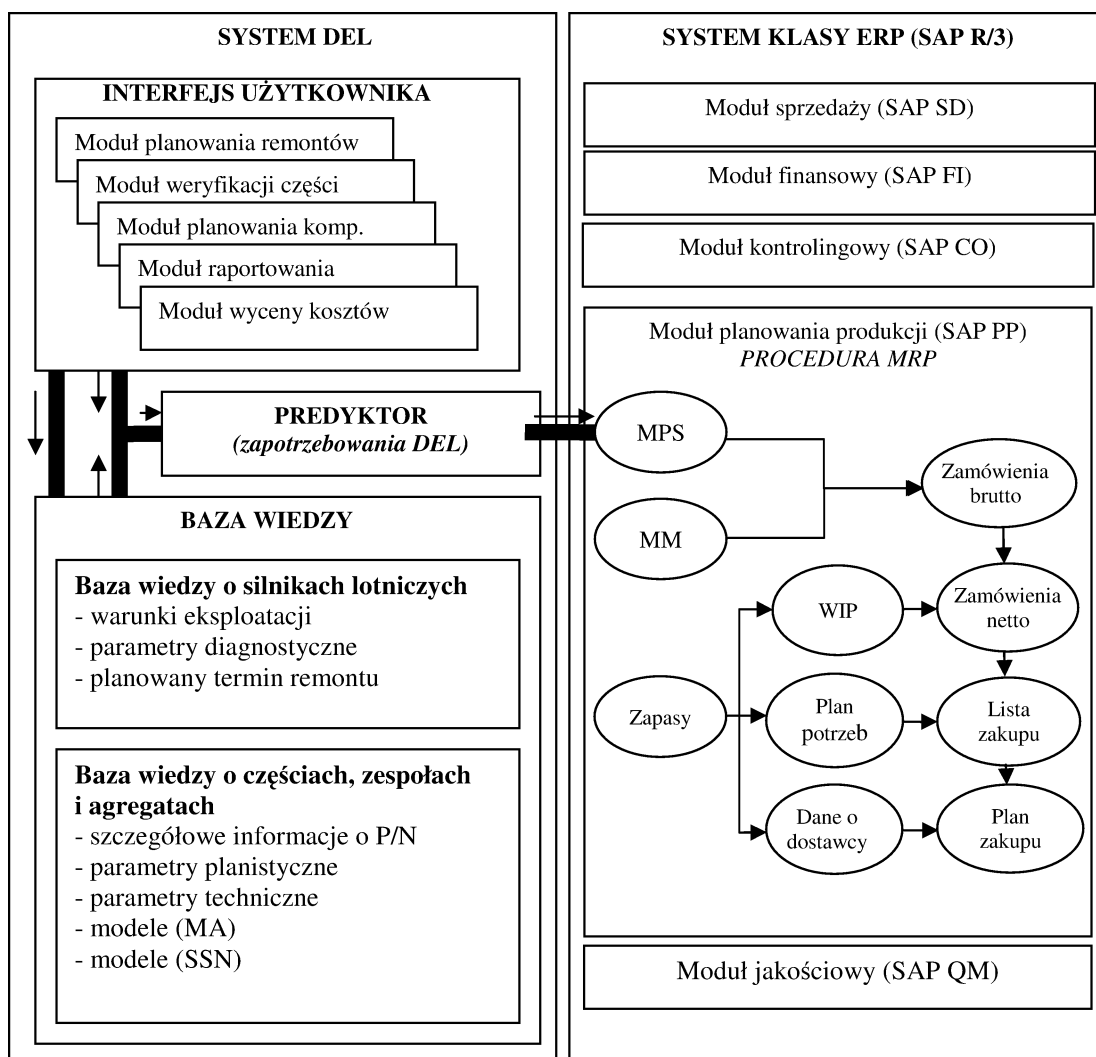
którego realizuje zadanie prognozowania głównego planu produkcyjnego. Schemat funkcjonowania systemów przedstawiono na rysunku 1. Wspomaga on realizację następujących zadań:

- prognozowanie zapotrzebowania na części i podzespoły wymieniane w trakcie remontu,
- planowanie remontów i napraw silników lotniczych,
- monitoring realizacji weryfikacji zdemontowanych części i podzespołów,
- wycenę części i podzespołów w trakcie weryfikacji,
- wycenę kosztów remontu silnika lotniczego,
- monitoring nieudanych remontów części i podzespołów,
- zarządzanie stanem komplectacji remontowanego silnika lotniczego.

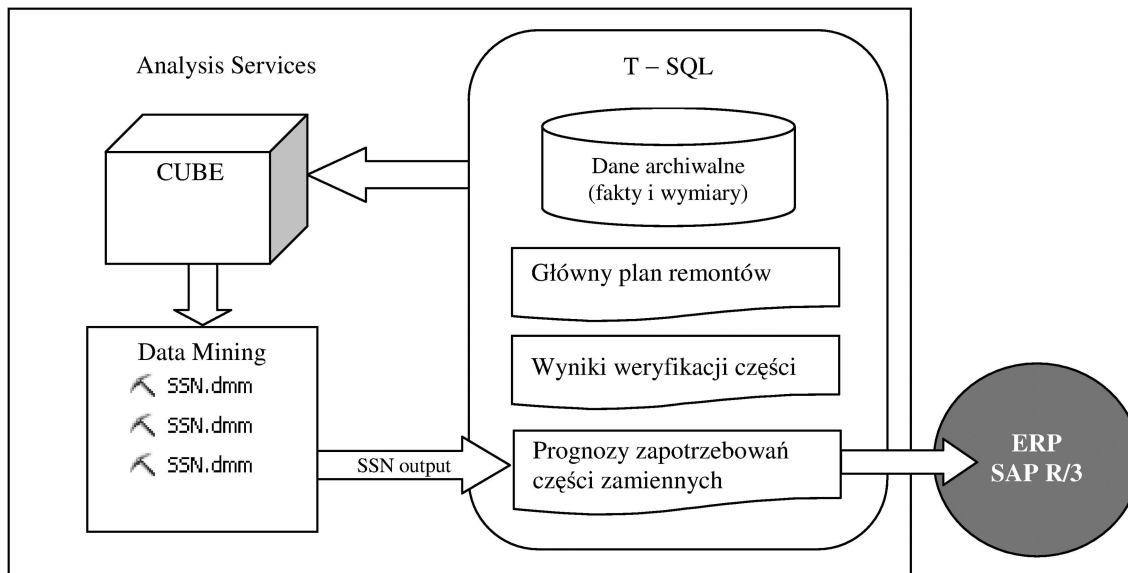
System zbudowany jest z bazy wiedzy, predyktora i pięciu głównych modułów:

- Modułu sprzedaży,
- Modułu weryfikacji części,
- Modułu zarządzania komplectacją,
- Modułu wyceny kosztów remontu,
- Modułu raportowania.

Najważniejszym elementem systemu jest PREDYKTOR, schemat jego funkcjonowania przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat integracji systemów DEL i SAP R/3



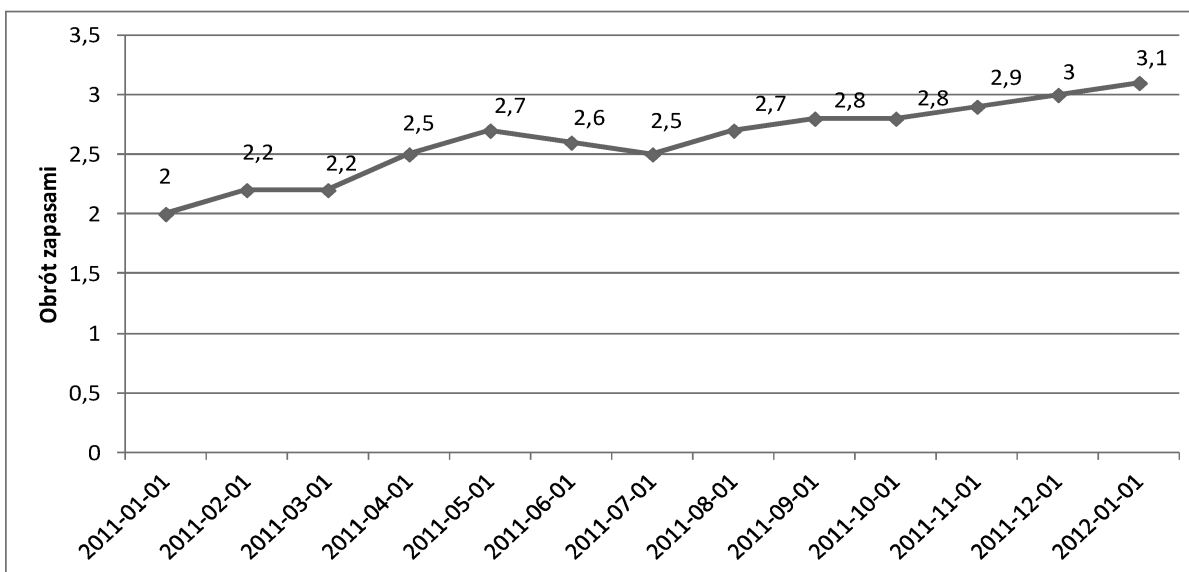
Rys. 2. Schemat funkcjonowania PREDYKTORA

Odpowiada on za wytwarzanie prognozy zapotrzebowania na części wymieniane w trakcie remontu. PREDYKTOR funkcjonuje na platformie SQL Server 2005 z wykorzystaniem środowiska transakcyjnego i analitycznego. Główne zadania odbywają się w Analysis Services, gdzie przeprowadzane są procesy prognozowania za pomocą Microsoft Neural Network (MLP). Modele SSN zasilane są danymi uczącymi, walidacyjnymi i testowymi z analitycznej kostki (archiwalne dane z przeprowadzonych remontów).

4. Analiza kosztów

Prototyp informatycznego systemu DEL wdrożony został w zakładzie remontującym w roku 2009 i jest sukcesywnie rozbudowywany o nowe elementy i moduły. Umożliwił on znaczne usprawnienie procesów logistyczno-produkcyjnych, efektem tego jest wzrost wskaźnika obrotów zapasami

(przedstawiony na rys. 3) o ponad jeden obrót od momentu wdrożenia nowego systemu. W pierwszym etapie wdrożenia, w prognozowaniu w liczności zapotrzebowania zastosowano metodę średniej ruchomej (MA), a interwał wystąpienia zapotrzebowania określano za pomocą bieżącego rewersu silnika i planowanej intensywności jego eksploatacji czynnej. Wskaźnik obrotów zapasami informuje, ile razy w ciągu roku następuje rotacja zapasów. Przedsiębiorstwo musi utrzymywać pewną część zapasów w celu zachowania rytmiczności produkcji i sprzedaży. Jednocześnie nie może zamrażać w zapasach zbytnej części kapitałów obrotowych, gdyż prowadzi to do zachwiania płynności finansowej. Jeżeli zwiększa się wskaźnik rotacji zapasów, czyli zapasy wystarczają na coraz mniejszą liczbę dni sprzedaży, to taka sytuacja jest na ogół korzystna dla przedsiębiorstwa. Zmniejszają się koszty magazynowania zapasów i następuje uwolnienie kapitałów obrotowych zaangażowanych



Rys. 3. Obrót zapasami zakładu remontowego

w finansowanie tych zapasów. Problem z trafnością prognozy zapotrzebowania może powodować wystąpienie dwóch rodzajów strat:

1. Straty związanej z brakiem części zamiennych. Wiąże się to z wydłużeniem czasu remontu, co w lotnictwie cywilnym wpływa na straty wynikłe z braku dochodu osiąganego z przeprowadzonych lotów, a w lotnictwie wojskowym – obniżona jest gotowość do lotu. Są to koszty bardzo znaczące zarówno dla użytkownika statków powietrznych, jak i dla zakładu remontowego, który narażony jest kary finansowe oraz utratę renomy.
2. Strata wynikająca z konieczności utrzymywania zapasów nadmiernych.

Straty wynikające z konieczności utrzymywania zapasów nadmiernych są wynikiem poniesionych kosztów magazynowania. Do kosztów zapasów o podstawowym znaczeniu należą [6]:

- koszty tworzenia zapasów,
- koszty utrzymania zapasów.

Koszty tworzenia zapasów zawierają koszty fizycznego tworzenia zapasów oraz koszty procesów informacyjnych, związanych szczególnie z zakupem materiałów. Koszty utrzymania zapasów stanowią element kosztów logistycznych przedsiębiorstwa. Składają się z następujących rodzajów [9]:

- kosztów kapitałowych,
- kosztów magazynowania,
- kosztów obsługi zapasów,
- kosztów ryzyka.

Koszty kapitałowe – wyrażają straty, jakie ponosi przedsiębiorstwo w wyniku zamrożenia kapitału w zapasach, dlatego określane są jako koszty niewykorzystanych możliwości. W finansowaniu zapasów przedsiębiorstwa biorą udział kapitały własne oraz kapitały obce. Kosztem kapitałów obcych jest wysokość oprocentowania, jakie przedsiębiorstwo płaci kredytodawcy. Koszt ten znajduje wyraz w rachunku kosztów przedsiębiorstwa.

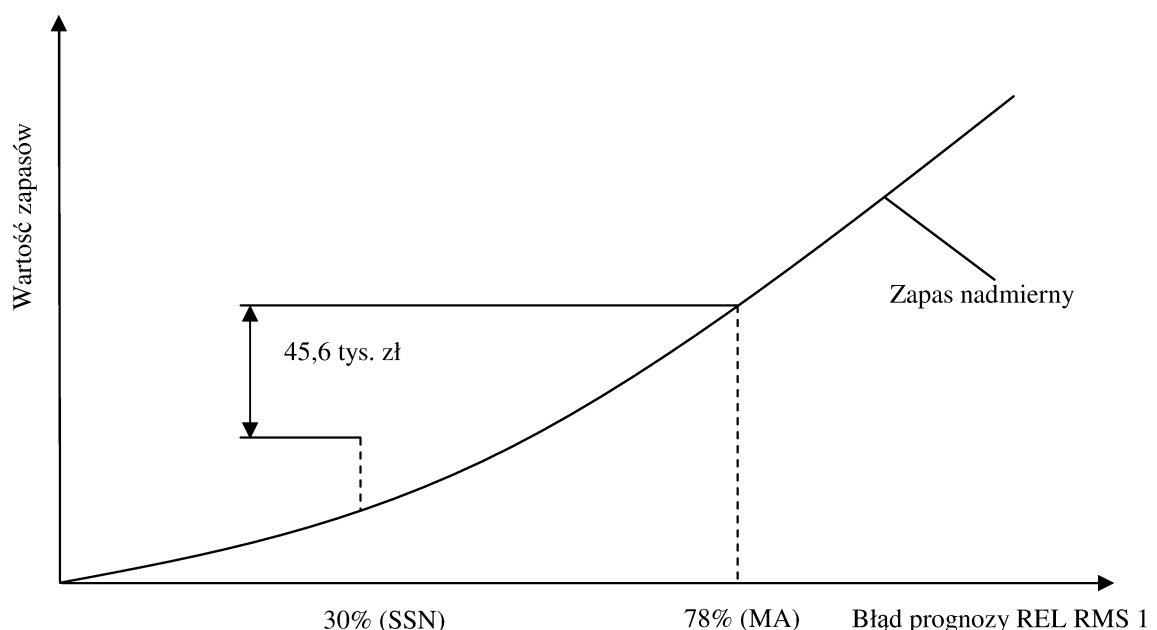
Koszty składowania – to koszt powierzchni magazynowej. Zalicza się do nich koszty rzeczowe i osobowe związane z przeciętnym składowaniem i wydawaniem towaru. Koszty składowania mogą być kosztami stałymi lub zmiennymi. Koszty utrzymania magazynów w przypadku magazynów własnych obejmują: amortyzację, ubezpieczenie budynków, konserwacje i remonty. Mają charakter stały, czyli niezależny od ilości zapasów. Natomiast charakter zmienny przyjmują, gdy przedsiębiorstwo wynajmuje magazyn. W takim przypadku rosną lub maleją wraz ze wzrostem lub spadkiem poziomu zapasów.

Koszty obsługi zapasów – obejmują wydatki związane z ubezpieczeniem zapasów. Należą do kosztów zmiennych. Ich wysokość zależy od rodzaju, ilości oraz wartości zapasu.

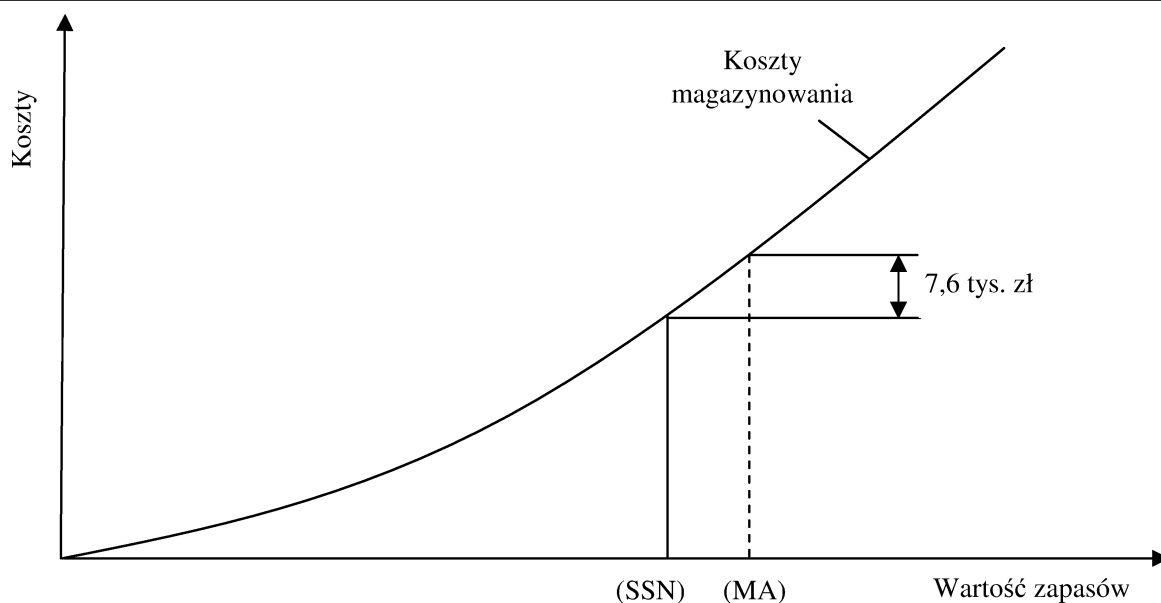
Koszty ryzyka – związane są z czynnikiem niezależnym od przedsiębiorstwa (przypadki losowe). Mogą powstać w wyniku uszkodzenia materiału podczas magazynowania. Zastosowanie modeli SSN w prognozowaniu liczności zapotrzebowania i wykorzystanie danych wejściowych w postaci wartości wybranych parametrów diagnostycznych oraz informacji o warunkach eksploatacji, jak wynika z obliczeń i symulacji, umożliwi poprawę trafności prognozy zapotrzebowania na części zamienne niezbędne do remontu średnio o 48% [5] względem dotychczas stosowanej metody średniej ruchomej (MA). Takie zmniejszenie błędu prognozy spowoduje zredukowanie zapasów nadmiernych w całym łańcuchu dostaw średnio o 45 676 zł dla jednego remontu. Zależność tę przedstawiono na rysunku 4.

Na rysunku 5. przedstawiono natomiast zależność pomiędzy wartością zapasów nadmiernych a dodatkowymi kosztami.

Ograniczenie nadprodukcji, powstałe w efekcie poprawy trafności prognozy, wpłynęłoby na zmniejszenie jednostkowego kosztu remontu analizowanego turbo-śmigłowcowego silnika lotniczego o 7,6 tys. zł. Głównymi elementami kosztów, które mogą ulec redukcji są:



Rys. 4. Redukcja zapasu bezpieczeństwa dla jednego remontu obiektu badań – silnika lotniczego



Rys. 5. Analiza redukcji kosztów zapasów dla jednego remontu obiektu badań – silnika lotniczego

• koszty kapitałowe	2 712,72 zł
• koszty składowania	2 170,18 zł
• koszty obsługi zapasów	1 898,91 zł
• koszty ryzyka	813,82 zł

5. Wnioski

Zastosowanie nowej metody prognozowania zapotrzebowania na części zamienne remontowanego silnika lotniczego eksploatowanego strategią wg rezerwy z wykorzystaniem modeli sztucznych sieci neuronowych do prognozowania liczności zapotrzebowania stanowić może znaczące wsparcie we wdrażaniu odchudzonej produkcji w zakładach remontowych. Poprawa trafności prognozy zapotrzebowania na części zapasowe ma bezpośredni związek z obniżeniem kosztów eksploatacji statku powietrznego, a wynika to z dodatkowych kosztów powstałych w zakładzie remontowym, związanych z nagromadzeniem niepotrzebnych w danej chwili zapasów magazynowych. Znaczne koszty powstają także w przypadku niedoboru części zamiennych powstałego w wyniku niedoszacowania prognozy. Są to koszty ponoszone przez użytkownika, wynikające z konieczności utrzymania większej liczby silników zapasowych lub krótkoterminowego leasingu, oraz koszty ponoszone przez wytwórnię remontową. Koszty te są trudne do oszacowania, ponieważ wynikają z indywidualnych warunkowań wynikających z umów pomiędzy użytkownikiem a zakładem remontowym jak również stanowią niemierzalną stratę wynikającą z utraty wiarygodności na rynku. Dlatego, jednym z nadrzędnych celów w procesie planowania produkcji i zakupów jest uniknięcie problemu niedoboru części zapasowych w trakcie remontu silnika lotniczego. Wdrożenie prototypu informatycznego systemu DEL w zakładzie remontowym wpłynęło na zwiększenie wskaźnika obrotów zapasami o jeden punkt. Zastosowanie w prognozowaniu liczności zapotrzebowania modeli SSN może spowodować dalsze oszczędności ekonomiczne. Jak wynika z szacunków redukcja kosztów jednostkowego remontu obiektu badań może wynieść średnio 7,6 tys. zł.

Literatura:

- [1] Blaik P.: *Logistyka*. PWE, Warszawa 2010.
- [2] Croston J. D.: *Forecasting and stock control for intermittent demands*. Operational Research Quarterly, 1972.
- [3] Ghobbar A. A., Friend C. H.: *Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive mode*. Computers & Operation research, 2003.
- [4] Kozik P.: *The IT systems aiding the management of production processes – MRP*. Scientific Bulletins of Rzeszów University of Technology No 231, Mechanics 68, Rzeszów 2006, pp. 109-114.
- [5] Kozik P., Sęp J.: *Aircraft Engine Overhaul Demand Forecasting using ANN*. "Management and Production Engineering Review" vol. 3, 2012, pp. 22-27.
- [6] Maternowska M.: *Koszty utrzymania zapasów – bez tajemnic*. „Logistyka” nr 1, 2003, s. 12-14.
- [7] Syntetos A. A., Boylan J. E.: *On the bias of intermittent demand estimates*. "International Journal of Production Economics" no. 71, 2001, pp. 457-466.
- [8] Syntetos A. A., Boylan J. E.: *The accuracy of intermittent demand estimates*. "International Journal Production Economics", 2005, pp. 303-314.
- [9] Waters D.: *Supply Chain Risk Management: Vulnerability and Resilience in Logistics*. Financial Times Press, New York 2011.

AIRCRAFT ENGINE SPARE PARTS PLANNING IN PROTOTYPE THE IT DEL SYSTEM

Key words:

Artificial Neural Network, demand forecasting, spare parts, aircraft engine overhaul, Enterprise Resourcing Planning, DEL System

Abstract:

Due to the unpredictable nature for aircraft maintenance repair parts demand, MRO (Maintenance, Repair, Overhaul) business perceive difficulties in forecasting and are currently looking for a superior forecasting solution. This paper deals with prototype IT DEL system in which is implemented new method forecasting spare part demand replacement during helicopter PZL-10W engine overhaul - operating according to hard - time. The experimental results show new forecasting method based on hard - time as the interval of required demand and ANN technique as forecasting models predicted numbers of spare parts. The evolution for a new forecasting method, which will be a predictive error-forecasting model which compares and evaluates forecasting methods, based on their factor levels when faced with intermittent demand show as possibility of big changes in MRO lean manufacturing. The results confirm the continued superiority of the new method, whereas, most commonly leveraged methods such as moving average used by MRO business are found to be questionable, and consistently producing poor forecasting performance. Comparative results of the forecast errors for the ANN models with other methods it allows the ability to define a superiority ANN forecasting method in the testing period. In paper there is presented the economic benefits and a diagram of the entire system. The significant improvement in logistic processes after implementation DEL system is presented as increasing inventory turnover +1 point in MRO business. Next economic benefits are estimated as 7,6 kPLN lower cost by one overhaul engine after the implementation of the rest ANN prognostic models.

Mgr inż. Piotr KOZIK

WSK PZL Rzeszów S.A.
ul. Hetmańska 120
35-078 Rzeszów
tel. 664 861 096
piotr.kozik@wskrz.com

Dr hab. inż. Jarosław SĘP, prof. PRz

Katedra Technologii Maszyn i Organizacji Produkcji
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
al. Powstańców Warszawy 8
35-959 Rzeszów
tel./fax: +48 17 865 15 12
jsztmiop@prz.edu.pl