

SYSTEMOWE PLANOWANIE REMONTÓW SILNIKÓW LOTNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

Piotr KOZIK, Jarosław SĘP

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję funkcjonowania systemu wspomagającego zarządzanie remontami silników lotniczych. Systemowe planowanie remontów umożliwi zastosowanie nowej metody prognozowania zapotrzebowania części zamiennych wymienianych w trakcie remontu, która poprzez użycie modeli SSN pozwala znacząco zmniejszyć błędy prognozy. Zintegrowanie tego systemu z produktem klasy ERP umożliwi uzyskanie znaczących oszczędności ekonomicznych w postaci odchudzenia łańcucha dostaw części zamiennych.

Słowa kluczowe: Sztuczne Sieci Neuronowe, prognozowanie zapotrzebowań, części zapasowe, remont lotniczego silnika, Zintegrowany System Zarządzania.

1. Wstęp

Intensywny rozwój lotnictwa wojskowego charakteryzuje się wzrostem potencjału bojowego i gotowością do działań oraz uniezależnieniem się od specjalnie przygotowanych stałych lotnisk. Równocześnie w rozwoju lotnictwa cywilnego obserwuje się masowość ruchu lotniczego, rosnącą liczbę przewozów pasażerskich i towarowych oraz rozszerzenie usług na coraz to nowe dziedziny działalności gospodarczej. Dla właściwego przygotowania i użycia wymaganej floty powietrznej oraz utrzymania jej odpowiednio wysokiego stanu technicznego, gwarantującego bezpieczeństwo lotów, konieczne jest istnienie złożonego systemu eksploatacji statków powietrznych i odpowiednie planowanie remontów. Jednym z najważniejszych elementów statku powietrznego jest silnik lotniczy. Planowanie napraw silnika lotniczego stanowi zasadniczo oddzielną dziedzinę eksploatacji samolotów i śmigłowców, ponieważ napęd jest traktowany w sensie użytkowania, jako wydzielony zespół. Systemowe zarządzanie remontami silników lotniczych, którego istotnym elementem jest planowanie terminu wystąpienia remontu, jego przebiegu oraz przewidzenie dla tych działań odpowiednich zasobów jest aktualnie jednym z kluczowych czynników wpływającym na koszty eksploatacji statków powietrznych.

2. Współczesne informatyczne systemy ERP

Dzięki zastosowaniu systemów komputerowych i odpowiedniego oprogramowania wiele złożonych zadań logistycznych stało się w dużej mierze rutynowe. Nieodłącznym elementem rewolucji technologicznej jest wprowadzenie nowoczesnych systemów transmisji i przetwarzania danych. EDI (ang. Electronic Data Interchange), kody kreskowe, odgrywają kluczową rolę w polepszeniu skuteczności i wydajności zarządzania procesami przepływu produktów, umożliwiając kontrolę i zarządzanie zapasami. Dzięki transmisjom satelitarnym dostawca może w dowolnej chwili zlokalizować ładunek poruszający się

wzdłuż kanału logistycznego. Skuteczne zarządzanie procesami zaczyna się od systemu informatycznego, który pozwala menedżerowi w każdej chwili zrozumieć aktualną sytuację i umożliwi skuteczne wydawanie stosownych informacji. Systemy takie noszą nazwę Zintegrowanych Informatycznych Systemów Zarządzania Zasobami Firmy ERP (ang. Enterprise Resource Planning). Współczesne systemy ERP 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, to znaczy 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, to znaczy 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.

3. 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 przez Amerykańskie Stowarzyszenie Sterowania Produkcją i Zapasami - APICS (American Production and Inventory Control Society) w 1988 roku, który dzisiaj jest stosowany we wszystkich większych zintegrowanych systemach wspomagających zarządzanie. Jest to metodologia 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:

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

Jedną z najważniejszych informacji wejściowych, która wpływa na jakość planowania MRP jest główny plan produkcyjny. Informacja ta jest najtrudniejsza do określenia ze względu na jej probabilistyczny charakter. W przypadku remontów silnika lotniczego głównym planem produkcyjnym jest prognoza zapotrzebowania na części zapasowe

wymieniane w trakcie remontu. Problematyka planowania części zapasowych 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 zapotrzebowań na części zamienne od dawna. Metody te są jednak zawodne w przypadku, gdy zapotrzebowanie popytu jest niestabilne [1], tak jak to ma miejsce w przypadku zapotrzebowań na części zamienne potrzebne podczas remontu głównego silnika lotniczego. Pierwszym, który szerzej przedstawił tą problematykę był Croston. Zaproponował on nową metodę prognozowania [2], 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 [3]. 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 [4], 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 zapotrzebowań na części zamienne potrzebne w trakcie remontu silnika lotniczego.

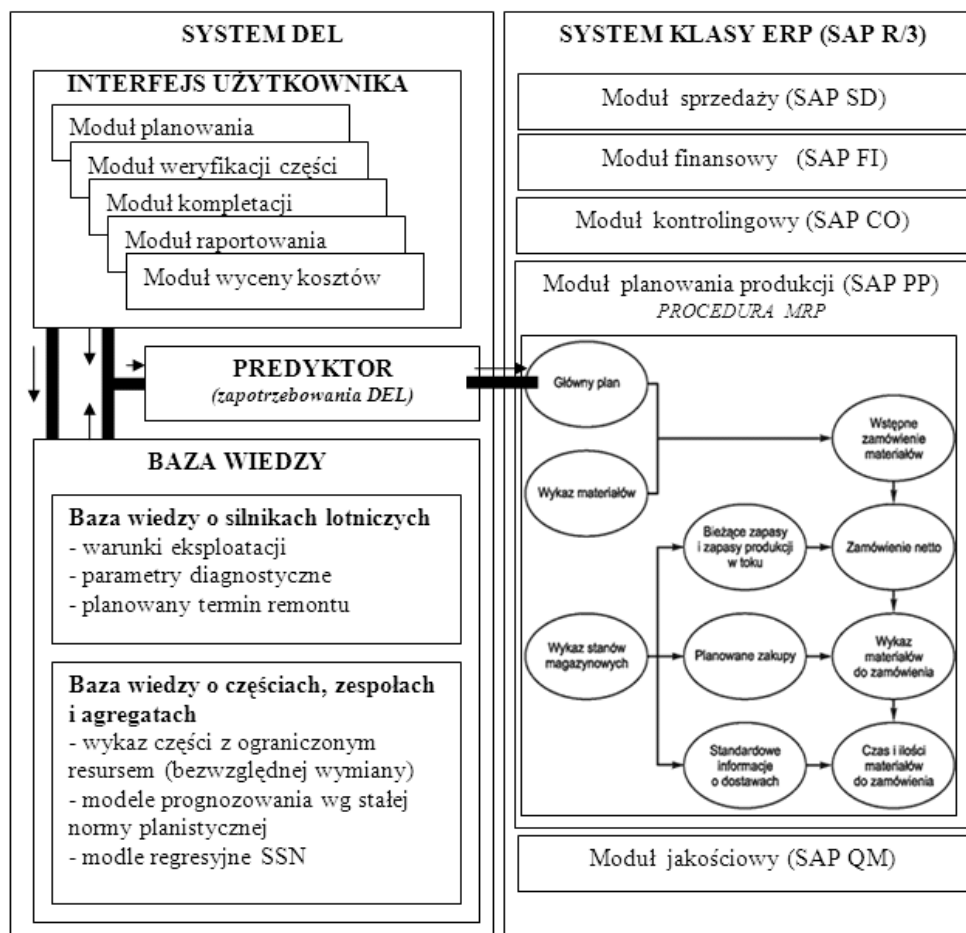
Opracowanie nowej metody prognozowania zapotrzebowania na części zapasowe wymieniane w trakcie remontu głównego silnika lotniczego eksploatowanego strategią wg rezerwu przeprowadzono na przykładzie turbo-śmigłowego silnika lotniczego PZL 10W przedstawiono w literaturze [7]. Nowa metoda wykazuje wyższość nad dotychczas stosowanymi. Przeprowadzone badania wskazują na możliwość budowy złożonej prognozy z informacji o pozostałym rezerwie silnika lotniczego i modeli sztucznych sieci neuronowych prognozujących potrzebny wolumen części zamiennych, gdzie, w neuronowych modelach regresyjnych jako zmienne objaśniające wykorzystano wewnętrzne i zewnętrzne charakterystyki eksploatacyjne silnika lotniczego. Badania przeprowadzono za pomocą oprogramowania Statistica Neural Network 4.0. Przy użyciu *Intelligent Problem Solver* przeprowadzono proces budowy i analizy modeli SSN typu MLP. Narzędziem *Sensitivity Analysis* przeprowadzono próby metodą odrzucania z funkcji regresji zmiennych objaśniających o najmniejszej istotności. Narzędziem „Case Error” testowano poziom zakłóceń wprowadzanych do modelu przez poszczególne wzorce. Odrzucano wzorce wpływające na pogorszenie mierników $ex - ante$ S.D. Ratio oraz Correlation. Szacunki wskazują, że wdrożenie nowej metody prognozowania pozwoli zmniejszyć błąd predykcji średnio o 30%. Umożliwi to obniżenie poziomu zapasów nadmiernych wynikających z przeszacowania prognozy zapotrzebowania na zamienniki lub zapasu bezpieczeństwa utrzymywanego na wypadek niedoboru prognozy zapotrzebowania na części zamienne.

4. System zarządzania remontami z wykorzystaniem SSN

Pozytywne wyniki badań nad możliwością nowej metody prognozowania zapotrzebowania na części i podzespoły 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 rys. 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 komplekacji remontowanego silnika lotniczego.

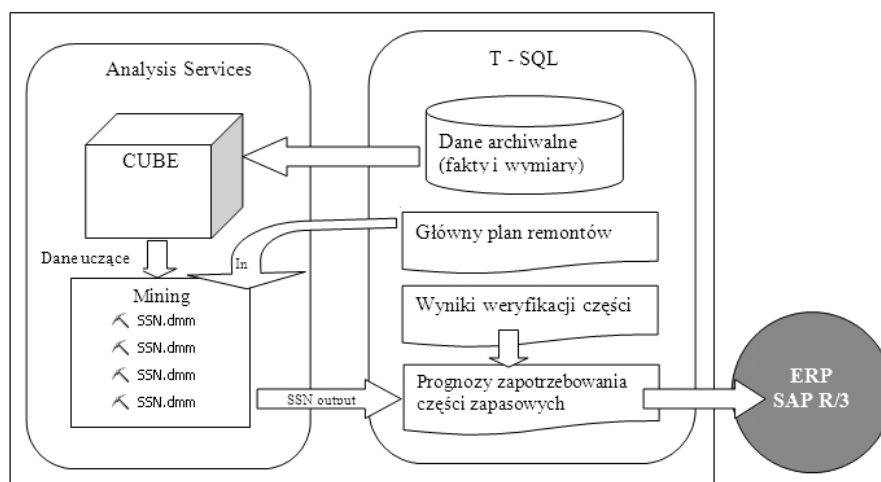


Rys. 1. Schemat integracji systemów DEL i SAP R/3

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

- modułu sprzedaży,
- modułu weryfikacji części,
- modułu zarządzania kompletacją,
- modułu wyceny kosztów remontu,
- modułu raportowania.

Najważniejszym elementem systemu jest PREDYKTOR, schemat jego funkcjonowania przedstawiono na rys. 2. Odpowiada on za wytwarzanie prognozy zapotrzebowania na części wymieniane w trakcie remontu.



Rys. 2. Schemat funkcjonowania PREDYKTORA

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). Zmienne objaśniające modeli regresyjnych przekazywane są bezpośrednio z platformy transakcyjnej (tabela z głównymi planami remontów). Wygenerowana przez SSN prognoza zapotrzebowania w postaci wyniku zapytania MDX przejmowana jest przez T-SQL po stronie transakcyjnej. W przypadku remontów w toku, prognoza aktualizowana jest o bieżące wyniki weryfikacji jakościowej. Wyniki przekazywane są do systemu ERP w postaci pliku wsadowego MPS.

5. Wnioski

Systemowe planowanie remontów silników lotniczych eksploatowanych strategią wg rezerwu z wykorzystaniem nowej metody prognozowania zapotrzebowania na części zapasowe przy użyciu sztucznych sieci neuronowych 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, jako, wynik nagromadzenia 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 wytwórnie remontową. Koszty te, są trudne do oszacowania, ponieważ wynikają z indywidualnych uwarunkowań wynikających z umów pomiędzy użytkownikiem, a zakładem remontowym jak również stanowią niemierzalną stratę wynikającą z utraty wiarygodności na rynku. Dlatego, jednym nadrzędnym celów w procesie planowania produkcji i zakupów jest uniknięcie problemu niedoboru części zapasowych w trakcie remontu silnika lotniczego.

Literatura

1. Ghobbar A.A., Friend C.H.: Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model. *Computers & Operation research*, 2003.
2. Croston J.D.: Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly*, 1972.
3. Syntetos A.A., Boylan J.E.: On the bias of intermittent demand estimates. *International journal production economics*, n.71, 2001, str. 457-466.
4. Syntetos A.A., Boylan J.E.: The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal Production Economics*, 2005, str. 303-314.
5. Gutierrez R.S., Solis A.O., Mukhopadhyay S.: Lumpy demand forecasting using neural network. *International Journal Production Economics*, 2008.
6. Materiały SAP AG: <http://www.sap.com/poland>.
7. Kozik P., Sęp J.: Helicopter Engine Overhaul Demand Forecasting using ANN, artykuł zgłoszony do druku w czasopiśmie MPER.
8. Waters D.: *Operations Management. Producing Goods and Services*, Financial Times Press, 2001.

Mgr inż. Piotr KOZIK
WSK PZL Rzeszów S.A.
35-078 Rzeszów, ul. Hetmańska 120
tel. 664861096
e-mail: 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
35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 8
tel./fax: +48 17 865 1512
e-mail: jsztmiop@prz.edu.pl