

LEWITOWICZ Jerzy¹
WIECZOREK Olgierd²

Logistyka remontu polowego statków powietrznych w trakcie działań bojowych

Słowa kluczowe: lotnictwo, statek powietrzny,
remont polowy, optymalizacja

Streszczenie.

Wyzwaniem dla producenta lub serwisanta jest ocena i zdefiniowanie prawdziwych oczekiwań konsumenta oraz sposób projektowania, produkcji oraz sprzedaży produktu by sprostać tym oczekiwaniom. Każdy produkt musi zapewniać właściwości operacyjne pozwalające jednostkom wojskowym na utrzymanie technicznej i logistycznej przewagi nad potencjalnym przeciwnikiem nawet jeśli jest to tylko naturalne lub narzucone środowisko, którego możemy oczekiwać w czasie operacji oraz okresu obsługiwań w ciągu okresu życia urządzenia. Remont polowy staje się elementem krytycznym w prowadzeniu operacji wojskowych. Zauważono, że tradycyjne podejście do problemu minimalizacji kosztów nie zawsze jest najważniejsze i inne czynniki takie jak czas remontu, niezawodność czy dostępność statków powietrznych stają się równie istotne. Ocena uszkodzeń statku powietrznego w warunkach polowych oraz właściwa ocena niezawodności, wykonanie naprawy na możliwie najniższym szczeblu organizacyjnym i weryfikacja zdolności do lotu w następstwie wykonanej naprawy jest elementem szczególnie ważnym w utrzymaniu zdolności bojowej.

AIRCRAFT BATTLE DAMAGE REPAIR LOGISTICS DURING OPERATION

Abstract.

The challenge to the manufacturer or service provider is how to assess and define true customer expectations and then how to design, manufacture and sell the product to best meet those expectations. Each product must provide operational capabilities which allow military forces to maintain technical and logistic superiority over a potential adversary even if it is just natural or induced environment which can be expected over the operating and maintenance portion of life cycle. Battle damage repair is a critical factor in managing operation. We acknowledge that traditional cost minimizing measures are not always central and other performance measures such as time of repair, reliability and availability become more relevant. Assessing aircraft damages in the field and making appropriate decisions on the reparability, making repairs at the lowest repair level possible and evaluating airworthiness of subsequent repairs is critical to the air forces maintaining its force projection capability.

1. WSTĘP

Wymaganie w użytkowaniu statku powietrznego (SP) skupia się głównie na gotowości operacyjnej i niezawodności. Oznacza to gotowość SP do działania na wezwanie, podatność obsługową oraz właściwe działanie w środowisku ekstremalnym. Dogłębne zrozumienie środowiska, w którym w zamierzeniach SP będzie działał jest głównym problemem do rozważenia przy określaniu zdolności SP do spełnienia niezawodności operacyjnej wymaganej przez decydenta. Środowisko naturalne jest warunkiem krytycznym przy określaniu właściwości wyposażenia używanego SP. Każdy produkt musi zapewniać właściwości operacyjne pozwalające jednostkom wojskowym na utrzymanie technicznej i logistycznej przewagi nad potencjalnym przeciwnikiem nawet jeśli jest to tylko naturalne lub narzucone środowisko, którego możemy oczekiwać w czasie operacji oraz okresu obsługiwań w ciągu okresu życia SP. Zmniejszenie lub utrata tych zdolności operacyjnych zazwyczaj prowadzi do natychmiastowej utraty życia ludzi oraz sprzętu.

2. PODATNOŚĆ DIAGNOSTYCZNA W WARUNKACH POLOWYCH

W przypadku działań bojowych istotnym elementem podlegającym ocenie jest kryterium czasu. Użytkownicy oczekują, że zdeterminowane cechy SP, określone na etapie konstruowania, pozwolą na racjonalną ich eksploatację. Stopień przystosowania statku powietrznego do eksploatacji w warunkach zdeterminowanych przez system eksploatacji wyznacza podatność eksploatacyjną, której częścią składową jest podatność diagnostyczna. Wysoką podatność diagnostyczną zapewnia się poprzez:

- łatwość dostępu do elementów podlegających regulacji i wymianie;
- łatwość realizacji czynności obsługowych, naprawczych, remontowych;
- niską częstotliwość i pracochłonność czynności obsługowych;

¹Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 01-494 Warszawa; ul. Księcia Bolesława 6. Tel.: , E-mail: jerzy.lewitowicz@itwl.pl

²Inspektorat Wsparcia Sił Zbrojnych, Szefostwo Techniki Lotniczej; 85-915 Bydgoszcz; ul. Dwernickiego 1. E-mail: stlolo@wp.pl

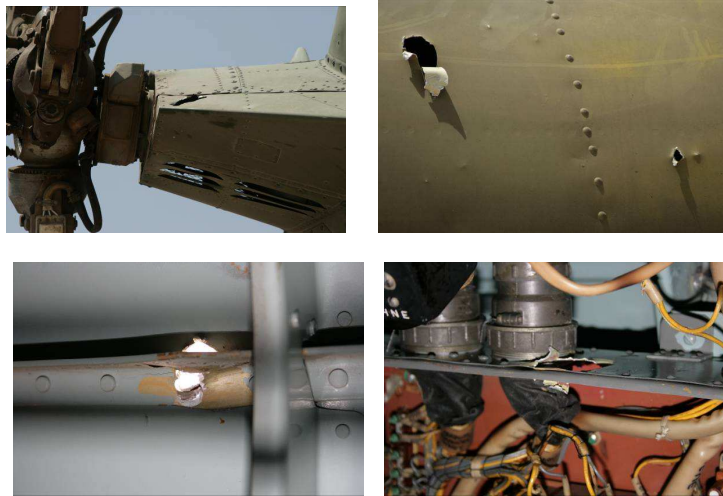
- wysoką unifikację części;
- uniwersalność narzędzi i przyrządów obsługowych.

Podatność diagnostyczna SP [4, 5] oceniana jest poziomem wartości cech dotyczących możliwości realizowania badań diagnostycznych oraz wiarygodności uzyskanych z tych badań dotyczących aktualnych, przeszłych i przyszłych stanów SP z uwzględnieniem oddziaływania otoczenia. Podatność diagnostyczną ocenia się poprzez wskaźniki średniego czasu diagnozowania T_{ds} ma postać:

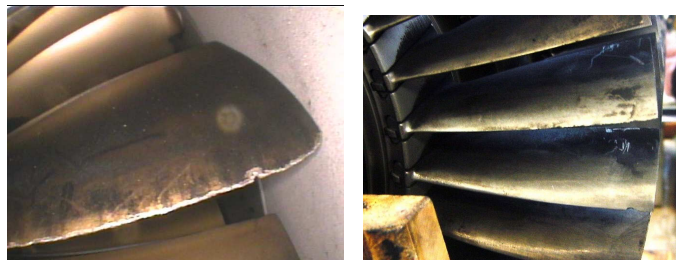
$$T_{ds} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i t_{dsi} \quad (1)$$

gdzie: q_i – prawdopodobieństwo powtórzenia i -tej operacji diagnostycznej;
 t_{dsi} – średni czas diagnozowania i -tej operacji diagnostycznej;
 N – liczba operacji diagnostycznych.

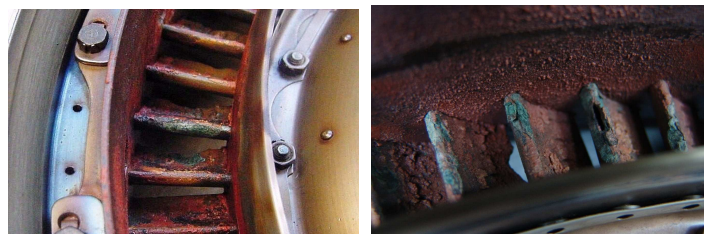
Uszkodzenie bojowe to całkowite lub częściowe zniszczenie statku powietrznego, przebicie, pęknięcie, wgniecenie, deformacja i wyrwania materiału jego zespołów, podzespołów lub części statku powietrznego spowodowane oddziaływaniem środków bojowych [5] (Rys. 1, 2, i 3).



Rys. 1. Uszkodzenia bojowe śmigłowców



Rys.2. Uszkodzenia i wypiskowania na krawędziach natarcia łopatek I stopnia wirnika sprężarki



Rys.3. Uszkodzenia (przegrzania, uszkodzenia warstwy aliterowanej, ubytki materiału, nalot wypalonego piasku) łopatek aparatu kierującego I stopnia turbiny sprężarki

Ze względu na swoją konstrukcję zespoły i instalacje statków powietrznych w różny sposób narażone są na uszkodzenia bojowe. Uszkodzenia te mają najczęściej charakter złożony obejmujący wiele instalacji i zespołów. Stopień uszkodzeń można określić na podstawie liczby uszkodzonych podzespołów, charakteru uszkodzeń, wymiaru geometrycznego i liczby uszkodzeń na danej powierzchni. Czas trwania naprawy SP decyduje o możliwości jego

wykorzystania w danej operacji czy nawet w dalszych działaniach bojowych. Naprawa powypadkowa lub poawaryjna jest zbiorem czynności bardziej złożonych i wymaga znacznie głębszej analizy możliwości wykonania w danych warunkach. Wykonywana jest wówczas, gdy uszkodzenie SP nastąpiło w wyniku nagłego i nieprzewidzianego zdarzenia stanowiącego zakłócenie prawidłowego działania. Pracochłonność i zakres naprawy są cechami losowymi. Mogą być realizowane w ramach naprawy bieżącej w danym systemie eksploatacji SP lub w zakładzie remontowym.

Każda naprawa wymaga określonego ciągu czynności:

- oczekiwanie na naprawę;
- diagnozowanie uszkodzenia;
- dostęp do uszkodzonego elementu, zespołu;
- oczekiwanie na części zamienne;
- usuwanie uszkodzenia;
- montaż zespołów i instalacji;
- kontrola wykonanych czynności i diagnozowanie;
- przekazanie SP użytkownikowi.

Cechą charakterystyczną poszczególnych rodzajów napraw jest ich pracochłonność mierzona ilością roboczogodzin stanowiącą sumę czasów pracy wszystkich pracowników wykonujących naprawę.

W przypadku działań bojowych bardzo istotnym elementem jest dostępność części zapasowych. Część zapasowa to dowolna część wymienna³ lub zamienna⁴ zmagazynowana, oczekująca na zastosowanie w procesie odnowy statku powietrznego [5].

3. SZACOWANIE USZKODZEŃ

Proces szacowania uszkodzeń wymaga elastyczności, aby dostosować metodę postępowania do każdej sytuacji, w której znalazł się dany statek powietrzny. Pierwszym etapem oszacowania zniszczeń powinno być zapoznanie się z relacją załogi, jeśli to możliwe bezpośrednio po zdarzeniu, aby uzyskać informacje dotyczące statku powietrznego, warunków zaistnienia uszkodzenia oraz zachowania SP po zdarzeniu. Następnie należy przeprowadzić szczegółowy przegląd zarówno struktury zewnętrznej i systemów SP w możliwie najszerszym zakresie. Przegląd powinien być prowadzony w sposób metodyczny, aby zweryfikować każde uszkodzenie nie pozostawiając możliwości wystąpienia uszkodzenia ukrytego. Należy zaznaczyć, że uszkodzenia wtórne mogą stanowić znacznie większe zagrożenie niż uszkodzenia pierwotne. Właściwe udokumentowanie przeglądu stanowi znaczący element zarówno dla danego zdarzenia jak i dla szerszego obrazu sytuacji, poprzez możliwość wykorzystania informacji przez inne systemy obsługowe [3].

Czynnikiem decydującym o możliwości ponownego wykorzystania uszkodzonego statku powietrznego jest czas usuwania uszkodzenia. Wskaźniki charakteryzujące pracochłonność usuwania uszkodzeń:

- średnia pracochłonność usuwania uszkodzenia;
- średni czas usuwania uszkodzenia;
- średni czas przestoju z powodu usuwania uszkodzenia.

4. OPTYMALIZACJA CZASU REMONTU POLOWEGO

Optymalizacja jest rozumiana jako dążenie do osiągnięcia pewnego stanu, spełniającego pewne określone wymagania. Ogólnie optymalizację dzieli się na:

- jednokryterialną, kiedy osiągnięcie stanu idealnego wymagane jest wobec jednego kryterium oceny tego stanu;
- wielokryterialną (wektorową, polioptymalizację), kiedy osiągnięcie stanu idealnego jest zależne od wielu kryteriów oceny tego stanu.

W optymalizacji wielokryterialnej pojęcie rozwiązania optymalnego nie jest tak oczywiste, jak w przypadku jednego kryterium, gdzie poszukujemy po prostu najlepszej (największej lub najmniejszej) wartości pewnej funkcji celu.

Modelowanie preferencji użytkownika w systemie wspomaganie podejmowania decyzji jest elementem umożliwiającym podniesienie jakości podejmowanych decyzji. Proces decyzyjny modeluje się przy pomocy optymalizacji wielokryterialnej. Metody optymalizacji wielokryterialnej nie dają jednego rozwiązania, ale cały zbiór rozwiązań. Modelowanie preferencji i wspomaganie podejmowania decyzji polega na interaktywnym prowadzeniu procesu podejmowania decyzji. Wybór decyzji dokonuje się przez rozwiązywanie problemu z parametrami sterującymi, które określają aspiracje użytkownika i ocenę otrzymywanych rozwiązań. Użytkownik zadaje parametr, dla którego wyznaczana jest decyzja Paretooptymalne. Następnie ocenia otrzymaną decyzję akceptując ją lub odrzucając [1, 2].

Najistotniejszym elementem jest sformułowanie problemu, czyli określenie obiektu badań, celu analizy, stawianych wymogów oraz ograniczeń. Przy złożonych problemach otrzymuje się zadanie o wielu wejściach i wielu wyjściach, czyli wielowymiarowe zadanie wielokryterialne. Niezbędne jest również określenie rodzaju optymalizacji. To znaczy czy jest to dążenie do minimalizacji czy maksymalizacji.

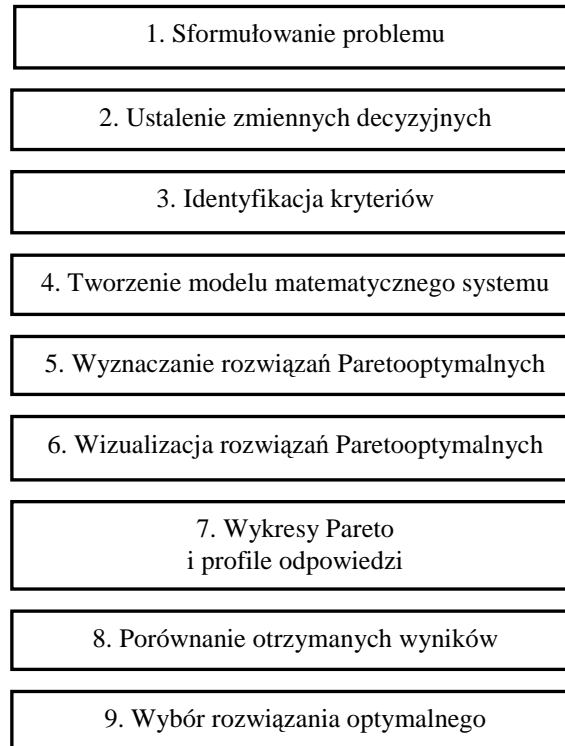
³ Część wymienna: to część, która zastępuje element uszkodzony, posiadająca takie same własności i właściwości [5].

⁴ Część zamienna: to część, która spełnia wszystkie cechy części wymiennej, a która może być wykonana z innego materiału, wg innej technologii produkcyjnej itp. [5].

Każdy system jest charakteryzowany zbiorem równań i nierówności, które wynikają ze środków logistycznych i warunków logistycznych. Znając wielkości decyzyjne (ZD) i kryteria (K) należy dokonać takich przekształceń formuł matematycznych, którymi dysponujemy, aby otrzymać zależności typu $K = f(ZD)$.

Aby rozpocząć działania zmierzające do ustalenia rozwiązań Paretooptimalnych należy wybrać te zmienne decyzyjne(sterujące), których wpływ na odpowiedzi układu(kryteria) z pewnych względów (np. technologicznych, ekonomicznych, itp.) jest najważniejszy.

Ogólna koncepcja metody optymalizacji systemu remontowego przedstawiona jest na Rys. 4.

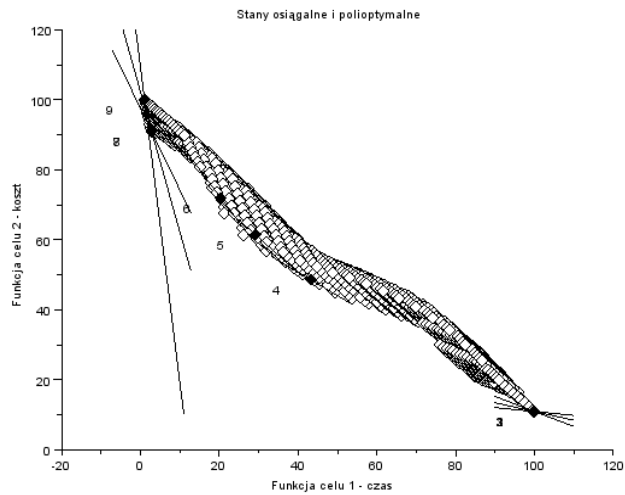


Rys. 4. Koncepcja optymalizacji systemu remontowego

Dodatkowo należy określić zakres zmienności tych zmiennych. W przedstawionym przykładzie do obliczeń przyjęto 3 zmienne decyzyjne, które stabelaryzowano zgodnie z założonymi kryteriami optymalizacji. Następnie przystępuje się do identyfikacji wielkości kryterialnych, czyli do określenia wielkości wynikowych, które są szczególnie pożądane (jak np. czas realizacji czy koszt wykonania) oraz ustalenia rodzaju optymalizacji (maksymalizacji czy minimalizacji) dla poszczególnych wielkości kryterialnych. Za najważniejsze elementy systemu remontu polowego uznano: ukompletowanie personelu, stan części zamiennych oraz stan wyposażenia obsługowego. Ze względu na wymagania systemu remontowego wprowadzono ograniczenia w postaci nierówności. Zmienne decyzyjne muszą spełniać narzucone zależności.

Ze względu na dyskretyzację zmiennych decyzyjnych zbiór Pareto nie jest zbiorem ciągłym, lecz możemy wyodrębnić podzbiory wartości. Oddają one dobrze ideę poszukiwanego kompromisu. Gdy kryterium czasu maleje, kryterium kosztów rośnie.

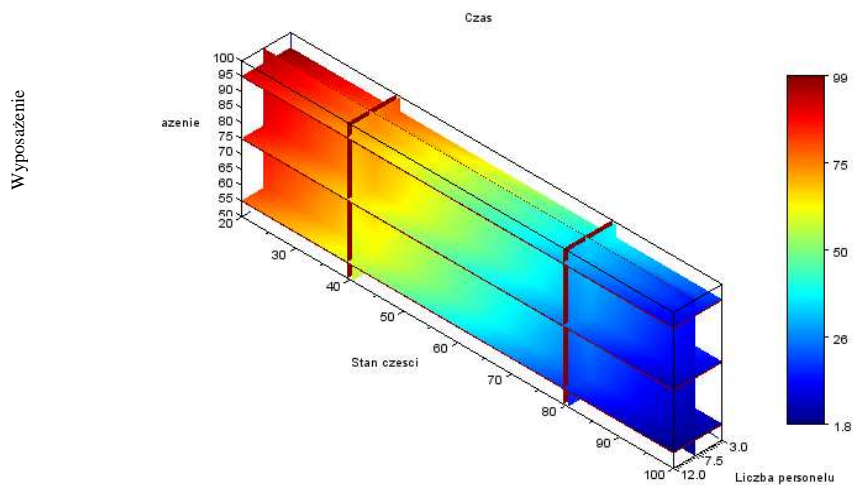
Metodą pseudopoliptymalizacji, dla współczynników wagowych α od 0.1 do 0.9 i $\beta = 1 - \alpha$ oraz funkcji celu w postaci: $fc = \alpha \cdot fc_{czas} + \beta \cdot fc_{koszt}$ znaleziono rozwiązania optymalne i oznaczono je numerami od 1 do 9. Przykładową funkcję celu dla $\alpha = 0.7$ i $\beta = 0.3$ przedstawiono na Rys. 5 i w tabeli 1.



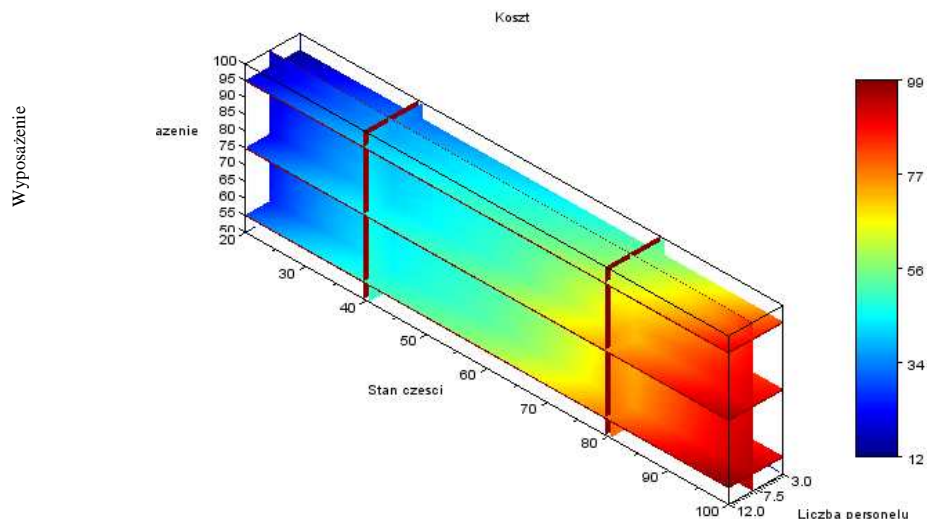
Rys. 5. Rozwiązania osiągalne (front Pareto) i rozwiązania optymalne.

Tab. 1. Zbiór rozwiązań

rozwiązanie	alfa	beta	x1	x2	x3	fc1	fc2
1	0.1	0.9	3.0	20.0	100.0	100.0	11.0
2	0.2	0.8	3.0	20.0	100.0	100.0	11.0
3	0.3	0.7	3.0	20.0	100.0	100.0	11.0
4	0.4	0.6	3.0	76.8	100.0	43.2	48.6
5	0.5	0.5	10.4	83.4	100.0	29.1	61.5
6	0.6	0.4	12.0	90.6	100.0	20.4	72.0
7	0.7	0.3	3.0	100.0	50.0	2.8	91.0
8	0.8	0.2	3.0	100.0	50.0	2.8	91.0
9	0.9	0.1	12.0	100.0	50.0	1.0	100.0



Rys. 6. Funkcja celu – minimalizacja czasu

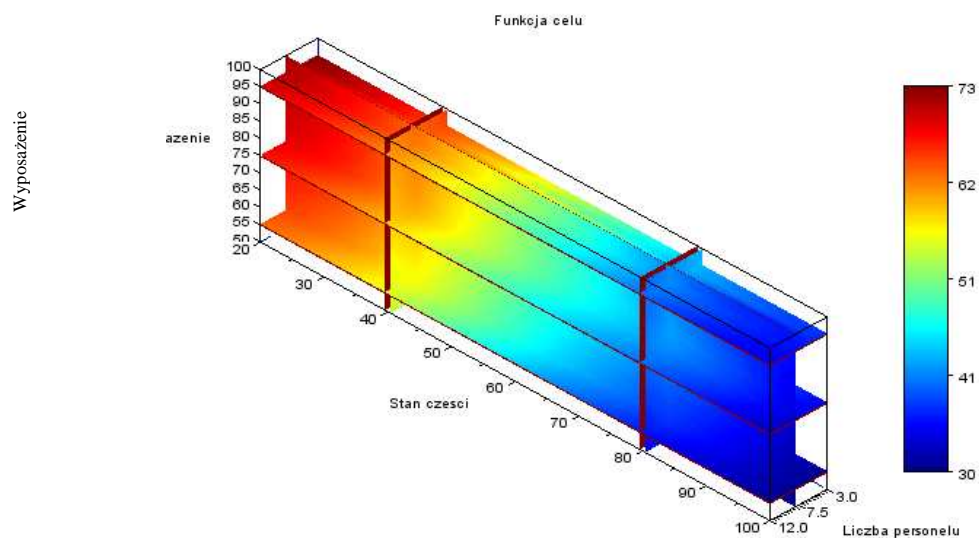


Rys. 7. Funkcja celu – minimalizacja kosztów

Przy budowie modelu matematycznego zdefiniowano 2 kryteria optymalizacji oraz 3 zmienne decyzyjne. W procesie remontowym czas remontu oraz koszty remontu są funkcjami: liczby personelu, stanu części i wyposażenia bazy remontowej. Dostępne dane doświadczalne pozwalają na stabelaryzowanie zależności czasu remontu i jego kosztu. W zadaniu istnieją dwie funkcje celu: czas remontu (Rys.6) i koszt remontu (Rys.7). Dąży się do minimalizacji obu funkcji celu, dla dwóch kryteriów, które minimalizuje się. Na jednym końcu frontu otrzymuje się minimalną wartość kryterium (fc_czas) przy maksymalnej wartości kryterium (fc_koszt), a na drugim otrzymuje się sytuację odwrotną. Pomędzy tymi skrajnymi rozwiązaniami znajduje się cały szereg rozwiązań pośrednich.

Prostym sposobem optymalizacji jest metoda celów ważonych, polegająca na przydzielaniu odpowiednich wag każdemu kryterium oraz sumowaniu iloczynów wag α , β i celów $f_i(x)$. Możliwość zastosowania tej metody wynika z faktu, że przy systemach remontu połowego najczęściej z góry można założyć warunki, w których będą prowadzone działania remontowe. Jednocześnie można przeprowadzić analizę możliwych efektów przy określonym zaangażowaniu sprzętu i ludzi. Przedstawiono rozwiązania graficzne i tabelaryczne dla przykładowych zestawów danych wynikających z możliwego przebiegu operacji oraz stanu środowiska działania systemu remontowego (Rys. 8).

Rozwiązania optymalne zaznaczono na wykresie Rys. 5 czarnymi punktami. Punkty te nie przylegają bezpośrednio do frontu Pareto, a to dlatego, że są to rozwiązania niecałkowicie liczbowe, zaś stany osiągalne zostały zaznaczone dla liczności pracowników na stanowisku. Przez punkty te przechodzą odcinki o pochyleniu wynikającym z przyjętych dla punktu współczynników wagowych. Punkty te zaznaczono również na wykresie rozwiązań dobrych (Rys. 5). Punkty te ponumerowano w ten sam sposób od 1 do 9.

Rys. 8. Polioptymalna funkcja celu dla $\alpha=0.7$ i $\beta=0.3$

Zastosowanie metody współczynników wagowych pozwala użytkownikowi wpływać na modelowanie systemu i przyjęcie odpowiednich dla niego warunków. Przedstawione wykresy uwidaczniają możliwości poszczególnych systemów przy zaangażowaniu określonych środków. Uzyskanie minimalnego czasu realizacji zadania wymaga maksymalnego zaangażowania środków finansowych. Przyjęcie określonych współczynników wagowych pozwala na zobrazowanie różnic wynikających z poszczególnych poziomów zabezpieczenia systemu remontowego w środki niezbędne do realizacji postawionego zadania.

5. WNIOSKI

Wdrożenie nowego systemu obsługowego lub podsystemu remontowego jakim jest system remontu polowego statków powietrznych jest bardzo złożonym działaniem.

W każdym przypadku prawidłowa realizacja takiego przedsięwzięcia wymaga uwzględnienia wielu czynników ściśle związanych z warunkami działania. Dotyczą one zarówno czynników zewnętrznych jak i wewnętrznych, w tym zarządzania przedsięwzięciami i zasobami ludzkimi, planowania i realizacji zmian w funkcjonowaniu systemu. W każdej sytuacji należy dokonać analizy wpływu organizacji systemu remontu polowego na czas przygotowania statku powietrznego do wykonania misji bojowej. Pozwala to bezpośrednio określić wpływ systemu remontowego na dostępność statków powietrznych w poszczególnych misjach lub operacjach. W dalszej kolejności na wybór odpowiedniej metody, dostosowanie systemu remontowego do potrzeb operacyjnych oraz właściwe wykorzystanie potencjału obsługowego.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ameljańczyk A.: *Optymalizacja wielokryterialna w problemach sterowania i zarządzania*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wydawnictwo PAN, Wrocław 1984.
- [2] Ameljańczyk A.: *Rozwiązania dominujące i niezdominowane zadań optymalizacji wielokryterialnej*. Przegląd statystyczny, t. 25, 1978.
- [3] Brzeziński M.: *Modelowanie systemu remontu techniki wojsk lądowych*. Wyd. WAT, Warszawa 2010.
- [4] Lewitowicz J., Lorocho L., Manerowski J.: *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej*. T. 6. Wyd. ITWL, Warszawa 2006.
- [5] Lewitowicz J.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*. T. 4. Wyd. ITWL, Warszawa 2007.