

## **NIEUSZKADZALNOŚĆ I OBSŁUGIWALNOŚĆ UZBROJENIA I SPRZĘTU WOJSKOWEGO W SYSTEMACH JAKOŚCI WG WYMAGAŃ NATO (AQAP 2110:2003)**

*W artykule przedstawiono wymagania dotyczące nieuszkodzalności i obsługiwalności (R&M) uzbrojenia i sprzętu wojskowego w świetle wymagań NATO, wg publikacji standaryzacyjnej AQAP 2110:2003 oraz organizacyjne i funkcjonalne aspekty zintegrowania R&M z funkcjonującym u dostawcy systemu zarządzania jakością włączając w system także poddostawców.*

### **1. Wstęp**

Waga niezawodności w inżynierii projektowania znacząco rośnie od początku lat sześćdziesiątych. Pierwotną przyczyną tego wzrostu jest konkurencja. Współcześnie na konkurencję na rynku składają się trzy elementy: światowej klasy jakość i niezawodność, efektywność kosztowa i szybkie reagowanie na potrzeby rynku. Wcześniej, firmy mogły skutecznie konkurować, jeśli były w stanie zapewnić przynajmniej dwa z tych trzech elementów w swoich wyrobach i procesach realizacji wyrobów, często kosztem trzeciego elementu. Obecnie klienci mają jednak wyższy poziom oczekiwań i wymagają wyrobów wysoce niezawodnych, ale wciąż możliwych do wytworzenia.

Metody realizacji wyrobów zmieniają się, by wyjść naprzeciw tym zwiększonym oczekiwaniom. Obecnie mało jest czasu i wystarczających środków na szeroko zakrojone próby, analizy i ustalenia, by osiągnąć wysoką jakość i niezawodność. Prawdą jest również, że gwałtowny rozwój technologii uniemożliwia zbieranie danych historycznych z funkcjonowania sprzętu w warunkach eksploatacji. Niestety, wiele metod niezawodnościowych bazuje na dostępności danych historycznych, innych danych doświadczalnych lub pozyskiwaniu wiedzy poprzez szeroko zakrojone i czasochłonne próby. Obecne realia wymagają innowacyjności i kreatywności w wyborze i stosowaniu metod niezawodnościowych, oraz pracy zespołowej oraz współpracy w zarządzaniu programami realizacji wyrobów.

Potrzeba osiągnięcia wysokiego stopnia niezawodności i podatności obsługowej (obsługiwalności) jest nagląca jak nigdy do tej pory. Nowoczesne Siły Zbrojne nie mogą tolerować słabego stopnia zdolności do wykonania zadań bojowych ani nie mogą również utrzymywać rozległych i kosztownych „ogonów” logistycznych lub „łańcuchów dostaw”. Niezawodność i podatność obsługowa ma bezpośredni wpływ na zdolność do wykonania zadań bojowych i na koszt cyklu życia wyrobu.

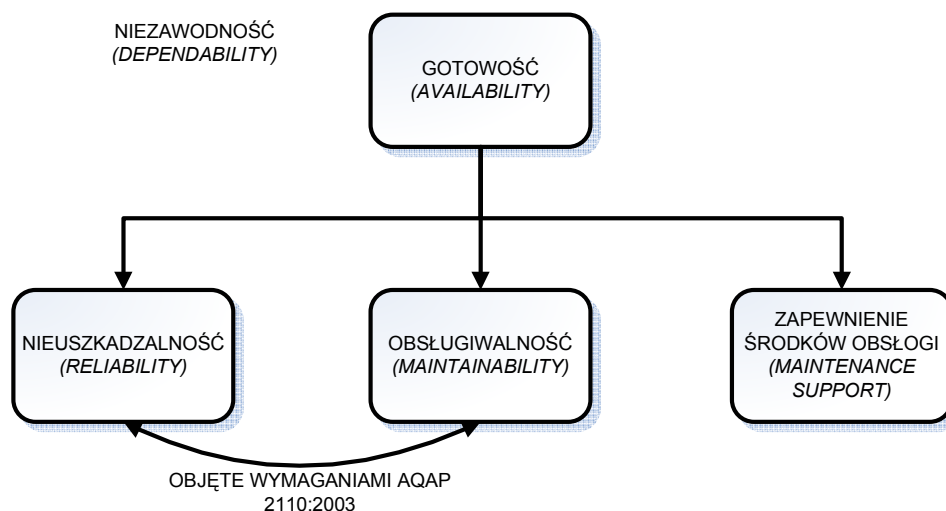
By umożliwić tę zmianę, trzeba położyć nacisk na przewidywanie problemów i wbudowywanie w projekt mechanizmów zapewniających osiągnięcie jakości i niezawodności, równoległe z procesem projektowania i produkcji, zamiast próbować szacować jakość i niezawodność w trakcie tego procesu. Korzyści z takiego

podejścia z punktu widzenia szybkości reagowania na potrzeby rynku i redukcji kosztów mogą być znaczące. Najnowsze programy niezawodności nie dążą do narzucania zadań ani metod niezawodnościowych, które winny być użyte przez dostawcę. Zamiast tego, dostawcy są traktowani jak partnerzy w dążeniu do wytworzenia niezawodnego wyrobu i współpracują z klientami przy podejmowaniu decyzji, które metody niezawodnościowe są najbardziej wartościowe przy osiągnięciu celów.

Tak czy inaczej, wytwarzanie niezawodnych wyrobów i osiągnięcie celów niezawodnościowych wymaga często innych podejść w różnych sektorach. Przykładowo, w sektorze obronności/lotniczym, liczba klientów jest stosunkowo mała. Cykl rozwoju wyrobu może rozciągnąć się na wiele lat, podczas gdy cykl jego życia może trwać od zaledwie minut do dziesiątek lat. Ponadto, nie jest niczym nadzwyczajnym kilka iteracji projektowania technologicznie różnego hardware'u i software'u, zanim ostateczna wersja zostanie włączona do wyrobu gotowego. Wielkość produkcji może się zmieniać od mniej niż dziesięciu do setek rocznie. Również dziedzina niezawodności w tym sektorze jest zazwyczaj oddzielnym działaniem od projektowania.

W sektorze komercyjnym, w odróżnieniu od sektora obronności/lotniczego, występują zazwyczaj większa liczba klientów. Cykle rozwoju mogą trwać od miesięcy do kilku lat, podczas gdy cykle życia mierzone są często latami. Wielkości produkcji mogą osiągać tysiące dziennie. Dziedzina niezawodności jest zazwyczaj traktowana jako integralna część procesu projektowania, a nie oddzielne działanie.

## 2. Definicje



Rys. 1. Podział terminu „gotowość”. Źródło [1]

**NIEZAWODNOŚĆ** – zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią:

- Nieuszkodzalność,
- Obsługiwalność,
- Zapewnienie środków obsługi.

Źródło [1]

**GOTOWOŚĆ** – zdolność obiektu do utrzymania się w stanie umożliwiającym wypełnianie wymaganych funkcji w danych warunkach, w danej chwili lub w danym przedziale czasu, przy założeniu, że dostarczone są wymagane środki zewnętrzne.  
Źródło [1]

**NIEUSZKADZALNOŚĆ** – zdolność obiektu do wypełnienia wymaganych funkcji w danych warunkach w danym przedziale czasu.  
Źródło [1]

**OBSŁUGIWALNOŚĆ** – zdolność obiektu do utrzymania lub odtwarzania w danych warunkach eksploatacji stanu, w którym może on wypełniać wymagane funkcje przy założeniu, że obsługa jest przeprowadzana w ustalonych warunkach z zachowaniem ustalonych procedur i środków.  
Źródło [1]

**ZAPEWNIENIE ŚRODKÓW OBSŁUGI** – zdolność organizacji zajmującej się obsługą do zapewnienia w danych warunkach, na żądanie, środków potrzebnych do obsługi obiektu przy danej polityce obsługi.  
Źródło [1]

### 3. Wymagania AQAP 2110:2003 w zakresie nieuszkodzalności i obsługiwalności (R&M)

Podstawowy dokument standaryzacyjny NATO, dotyczący zapewniania jakości - AQAP 2110:2003 (bazujący na ISO 9001: 2000), w p. 7.8 stwierdza, że „jeżeli będzie takie wymaganie w umowie, to system niezawodności dostawców, odpowiednio do projektu wyrobu, powinien zapewnić nadzór nad działaniami dotyczącymi niezawodności wyrobów i odnośnymi dokumentami (włącznie z dokumentami poddostawców)”. Z tego zapisu wynika, że organizacja powinna posiadać system zarządzania niezawodnością w zakresie nieuszkodzalności i obsługiwalności (R&M). Szczegółowe wymagania kontraktowe dotyczące programów niezawodności, które powinny być realizowane w ramach takiego systemu, są określone w Publikacjach Normalizacyjnych Nieuszkodzalności i Obsługiwalności (ARMP).

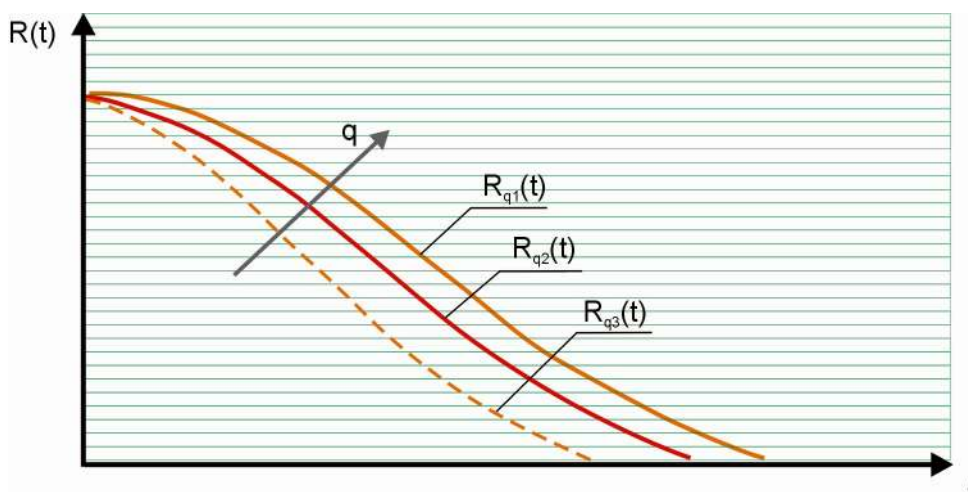
#### **Wymagania niezawodnościowe (nieuszkodzalności i obsługiwalności R&M) [12]**

Podstawę formułowania wymagań niezawodnościowych powinny stanowić wyniki szczegółowej analizy **warunków operacyjnego wykorzystania** sprzętu technicznego, **środowiska eksploatacji** oraz **systemu wsparcia logistycznego**. Analizą objęte powinny być:

- **model operacyjny** opisujący sprzęt techniczny:
  - związki funkcjonalne z wyższymi poziomami, związki ze współdziałającymi systemami,
  - realizowane funkcje i zadania (parametry i ich dopuszczalne przedziały),
  - profile wykonywanych zadań,
  - cykle wykonywania zadań (czas kalendarzowy, czas działania, włączenia i wyłączenia),
- **rodzaje niezdatności** (w tym kryteria) sprzętu technicznego, mechanizmy uszkodzeń, objawów i skutków niezdatności,

- **warunki środowiskowe**, w których przewiduje się eksploatować sprzęt techniczny, w tym fazy magazynowania, transportu, intensywnego użytkowania,
- **środowisko użytkowania** oraz **koncepcja eksploatacji** sprzętu technicznego:
  - struktura oraz poziomy systemu obsługiwanego,
  - infrastruktura i wyposażenie bazy obsługowej,
  - umiejętności personelu serwisowego,
  - wsparcie logistyczne.

Między niezawodnością a jakością jest zależność (rys.2):



Rys. 2. Ogólna zależność niezawodności wyrobu od jego jakości  $q$ . Źródło [15]

Wymagania dotyczące **nieuszkodzalności** powinny być sformułowane w postaci liczbowej. Można je wyrazić jako:

- **przeciętny czas do uszkodzenia** w przypadku sprzętu nienaprawialnego lub przeciętny czas między uszkodzeniami w przypadku sprzętu naprawialnego. Sposób ten stosuje się w przypadku sprzętu o długim czasie życia lub gdy czas trwania planowanego zadania jest zawsze krótszy od prognozowanego czasu do uszkodzenia/między uszkodzeniami.
- **prawdopodobieństwo przeżycia** przez określony odcinek czasu. Sposób ten wykorzystuje się, gdy w czasie realizacji zadania wymagana jest duża niezawodność. Jest typowe dla obiektów klasy mechanicznej, gdy cechą decydującą o realizacji zadania jest ich trwałość.
- **prawdopodobieństwo powodzenia** niezależne od czasu. Sposób ten wykorzystuje się w przypadku sprzętu jednorazowego użycia lub użycia cyklicznego, na przykład do określenia niezawodności lotu pocisku rakietowego, niezawodności detonacji głowicy bojowej, niezawodności wyrzutni rakiet.

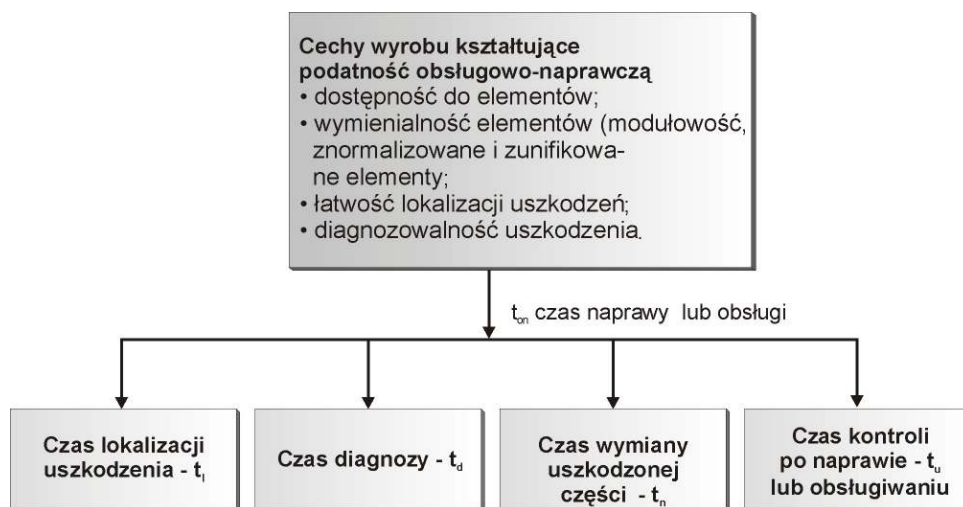
Określając wymagania dotyczące **obsługiwalności** należy zwrócić uwagę na:

- celowość wyposażenia sprzętu w system wykrywania i sygnalizowania uszkodzeń (wbudowane elementy do określania stanu technicznego, wewnętrzne i zewnętrzne wyposażenie diagnostyczne) zapewniający formułowanie wiarygodnych diagnoz, oraz

- opracować wymagania na system obsługiwanego sprzętu (poziomy, wyposażenie, kwalifikacje personelu, części zamienne).

**Podatność obsługowo-naprawcza (obsługiwalność)** wyrobu charakteryzuje się jego przystosowaniem do przeprowadzenia obsługi i napraw.

Obsługiwalność wyrobu zależy od jego cech konstrukcyjnych (rys. 3).



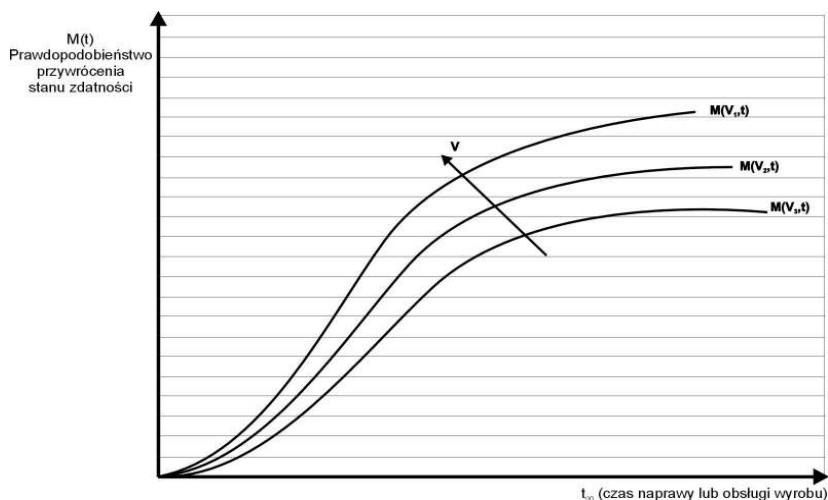
Rys. 3. Cechy wyrobu kształtujące podatność obsługowo-naprawczą (obsługiwalność). Źródło [15]

Miernikiem obsługiwalności jest czas niezbędny na dokonanie naprawy lub obsługiwanego –  $t_{on}$  (3.1)

$$t_{on} = t_l + t_d + t_n + t_u \quad (3.1)$$

Wyroby, które cechują się większą obsługiwalnością charakteryzują się krótszym czasem obsługi lub naprawy i są uznawane pod tym względem za wyroby o lepszej jakości. Eksploatator, szczególnie w warunkach działań bojowych, determinowany jest ograniczonym czasem, który może poświęcić na naprawę lub obsługę.

Obsługiwalność można charakteryzować prawdopodobieństwem przywrócenia wyrobom stanu zdadności  $M(t)$  w określonym czasie (rys. 4).



Rys. 4. Przykładowe charakterystyki prawdopodobieństwa przywrócenia stanu zdadności wyrobu.  $V$ - obsługiwalność. Źródło [15]

### **Wybór wskaźników niezawodności**

Wskaźniki niezawodności dzieli się na wskaźniki operacyjno-taktyczne i wskaźniki techniczne. Wskaźniki operacyjno-taktyczne przeznaczone są do charakteryzowania efektywności pracy urządzeń przy stosowaniu ich zgodnie z przeznaczeniem. Wskaźniki techniczne są przeznaczone do charakteryzowania poszczególnych właściwości niezawodnościowych (nieuszkodzalności, obsługiwalności, trwałości i przechowywalności) [12].

Przy wyborze wskaźników niezawodności, bazując na [12], [15], należy zwrócić szczególną uwagę na:

- podatność na naprawę (w odniesieniu do wyrobów naprawialnych i nienaprawialnych),
- efekt wykonania zadania:
  - proporcjonalny do sumarycznego czasu poprawnej pracy,
  - proporcjonalny do sumarycznej liczby okresów poprawnej pracy,
  - równy 1, jeśli czas poprawnej pracy jest równy określonej wartości  $t$  lub jest równy 0 jeśli uszkodzenie wystąpi w tym przedziale czasu,
- sposób użytkowania (praca ciągła, praca z przerwami),
- czas użytkowania (do uszkodzenia, do osiągnięcia stanu granicznego),
- stosowanie takiego wskaźnika, który najpełniej charakteryzuje niezawodność urządzenia oraz stosunkowo prosto może być wyznaczony/wykazany.

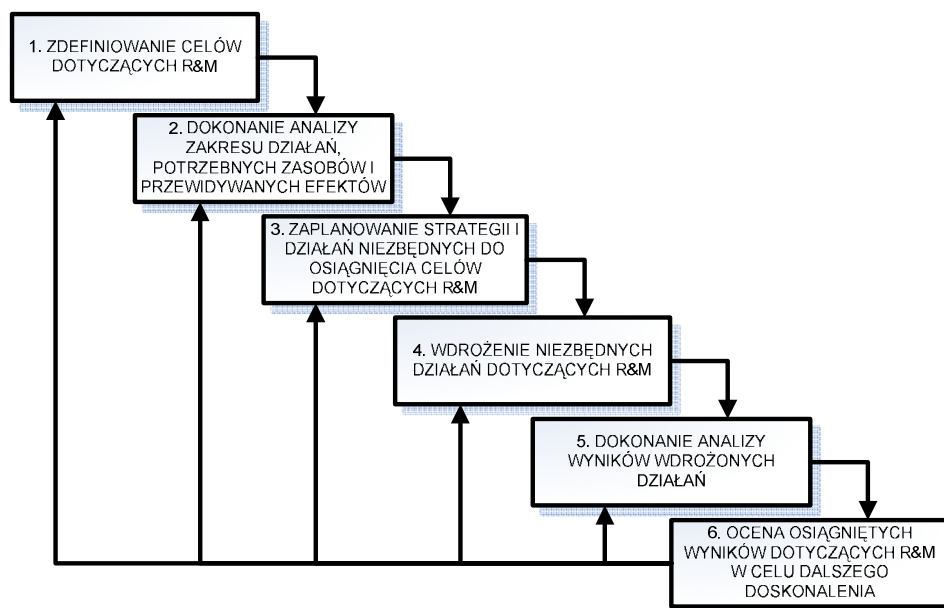
### **4. Zintegrowanie systemu nieuszkodzalności i obsługiwalności (R&M) z systemem zarządzania jakością [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]**

Jeżeli dostawca posiada wdrożony system zarządzania jakością wg AQAP / ISO 9001, to w celu kierowania działaniami nieuszkodzalności i obsługiwalności i ich nadzorowania powinien ustanowić i utrzymywać system zarządzania nieuszkodzalnością i obsługiwalnością (rys. 6), stanowiący integralną część systemu zarządzania jakością.

W ramach systemu zarządzania nieuszkodzalnością i obsługiwalnością dostawca powinien:

- a) określać właściwe działania nieuszkodzalności i obsługiwalności, związane z potrzebami wynikającymi z przedsięwzięć gospodarczych dostawcy,
- b) ustanawiać cele dotyczące nieuszkodzalności i obsługiwalności i planować fazy cyklu życia wyrobów,
- c) zapewniać terminowe wdrażanie działań nieuszkodzalności i obsługiwalności,
- d) określać kryteria i metody szacowania nieuszkodzalności i obsługiwalności oraz oceny i przyjmowania wyrobów,
- e) dostarczać potrzebne zasoby i informacje, niezbędne do wspomaganie wdrażania działań nieuszkodzalności i obsługiwalności podczas realizacji wyrobu,
- f) monitorować działania nieuszkodzalności i obsługiwalności oraz mierzyć i analizować wyniki ciągłego doskonalenia wyrobów i systemu zarządzania nieuszkodzalnością i obsługiwalnością,
- g) zachęcać do współpracy w ramach procesów (projektowania, realizacji wyrobów, zapewnienia obsługi i serwisu, itp.) w celu uzyskania efektywności kosztowej,
- h) promować powiązania dostawca-klient, aby osiągnąć w pełni cele dotyczące nieuszkodzalności i obsługiwalności wyrobów i zadowolenia klienta.

Sekwencja działań nieuszkodzalności i obsługiwalności (rys. 5.) Pętle sprzężenia zwrotnego od różnych kroków tego procesu obrazują wymaganie ciągłego doskonalenia procesu zarządzania.

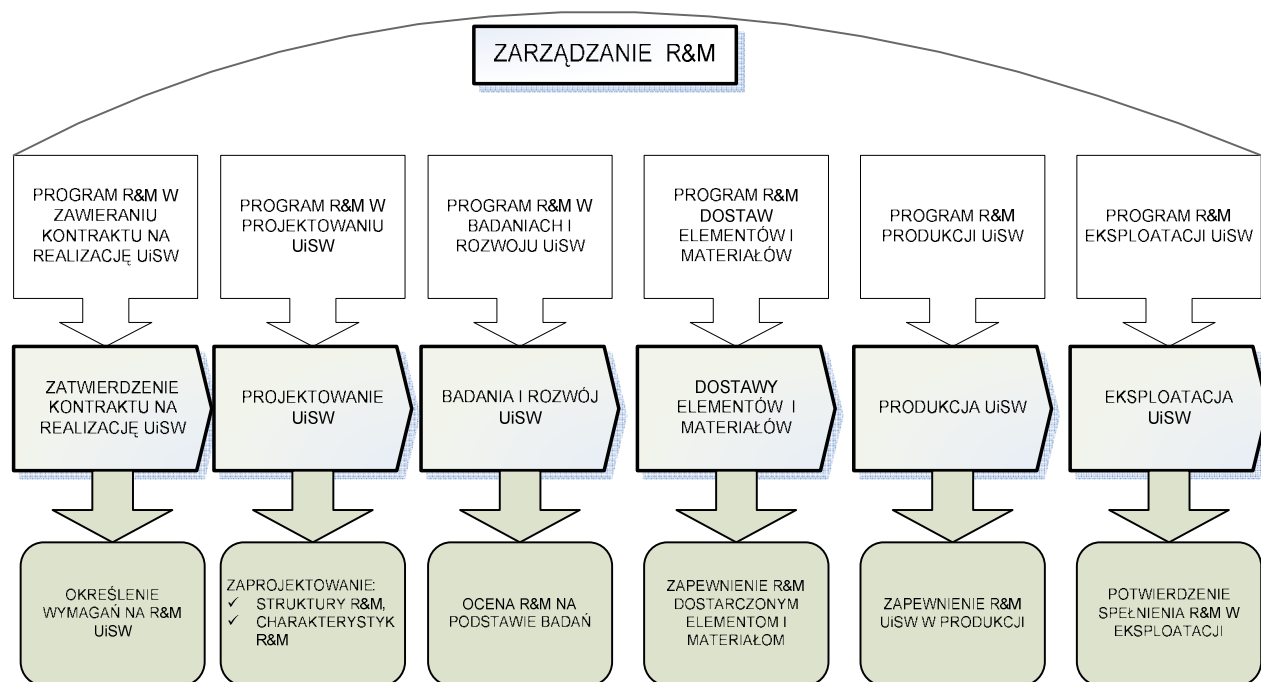


Rys. 5. Sekwencja działań nieuszkodzalności i obsługiwalności. Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z [11] zasady wyszczególnione w programie zapewnienia niezawodności (nieuszkodzalności i obsługiwalności) powinny zapewniać:

- a) wybór optymalnych (z punktu widzenia zapewnienia niezawodności i odporności całkowitej na oddziaływanie czynników środowiskowych – zewnętrznych, także systemu obsługi technicznej) rozwiązań układowych, konstrukcji, strukturalno-funkcjonalnej budowy urządzenia, zasad i algorytmu jego działania;
- b) zastosowanie nowoczesnych materiałów, półfabrykatów i wyrobów kompletujących, odpowiadających wymaganiom ustalonym w normach (warunkach technicznych) i innych przepisach;
- c) jakościowe opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej (w tym dokumentacji eksploatacyjnej i naprawczej);
- d) spełnienie nowoczesnych wymagań, dotyczących organizacji, warunków opracowywania i produkcji urządzenia (wdrożenia systemu projektowania i produkcji bezbrakowej – system zero-defektów);
- e) zastosowanie nowoczesnych metod obliczeniowo-doświadczalnych do określania wskaźników niezawodności i odporności całkowitej urządzeń na działanie czynników środowiska;
- f) uzyskanie przy opracowywaniu urządzenia i zachowanie w procesie jego produkcji określonych zapasów ze względu na techniczne i eksploatacyjne parametry urządzenia;
- g) wyposażenie zakładu produkcyjnego w nowoczesne oprzyrządowanie technologiczne, zapewniające stabilność procesu technologicznego;
- h) zastosowanie, wyposażenia badawczego, aparatury pomiarowej i kontrolnej, umożliwiającej otrzymanie wiarygodnej informacji o wynikach pomiarów, badań i sprawności urządzeń;

- i) wdrożenie techniczno-organizacyjnych przedsięwzięć, stymulujących zapewnienie wskaźników niezawodności i odporności całkowitej z minimalnymi stratami czasowymi i materialnymi;
- j) wykonywanie prac związanych z technologicznym przygotowaniem produkcji, opracowaniem dokumentacji technologicznej oraz dopracowaniem konstrukcji urządzenia;
- k) okresowe sprawdzanie spełnienia wymagań dotyczących wyposażenia pomiarowego, zapewnienie spójności pomiarowej;
- l) wdrożenie kontroli międzyoperacyjnej (a podczas ważniejszych operacji statystycznego regulowania procesu technologicznego) przy produkcji urządzeń;
- m) wdrożenie przedsięwzięć zapewniających wykrycie i wyeliminowanie wadliwych bloków, zespołów przed ich umieszczeniem w urządzeniu (np. w procesie badań temperaturowych, starzenia technologicznego, itd.);
- n) wykonywanie aktualnej analizy wszystkich wad z zastosowaniem nowoczesnych metod, w szczególności fizyczno-chemicznych metod badań nieniszczących, wykrycie wad charakterystycznych (przyczyn ich występowania) w procesie badań i eksploatacji, a także podjęcie środków wykluczających powtarzanie się tych wad;
- o) bardzo dobre przygotowanie techniczne personelu i okresowa kontrola jego przydatności zawodowej.



Rys. 6. Zarządzanie nieuszkodzalnością i obsługiwalnością w cyklu życia wyrobu.  
Źródło: opracowanie własne

## 5. Wnioski

Zintegrowanie systemu nieuszkodzalności i obsługiwalności (R&M) z systemem zarządzania jakością u dostawcy jak i u poddostawcy wpływa w znaczący sposób na jakość wyrobu końcowego, a co za tym idzie na:



- spełnienie wymagań klienta, które przekłada się na realizację celów biznesowych,
- otrzymywanie przez wojsko sprzętu, cechującego się dużą jakością i niezawodnością głównie w warunkach działań bojowych i ćwiczeń poligonowych,
- większe szanse na kolejne kontrakty, a tym samym rozwój firmy,
- zwiększanie więzi klient-dostawca-poddostawca w całym cyklu życia wyrobu.

## 6. Literatura

1. IEC 60050-191 Ed. 1.0 b:1990 International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 191: Dependability and quality of service;
2. PN-EN 60300-1:2005 Zarządzanie niezawodnością. Część 1: Systemy zarządzania niezawodnością;
3. PN-EN 60300-2:2005 Zarządzanie niezawodnością. Część 2: Wytyczne dotyczące zarządzania niezawodnością;
4. SAE JA1000: Norma programu nieuszkodzalności, wyd. 1998;
5. SAE JA 1000-1: Przewodnik wdrożenia normy programu nieuszkodzalności, wyd. 1999;
6. SAE JA 1010: Norma programu obsługiwalności, wyd. 2000;
7. SAE JA 1010-1 Przewodnik wdrożenia normy programu obsługiwalności, wyd. 2004.
8. ARMP-1 (Edycja 3, czerwiec 2002): Wymagania NATO dotyczące nieuszkodzalności i obsługiwalności.
9. ARMP-4 (Edycja 3, czerwiec 2003): Przewodnik dokumentowania wymagań NATO, dotyczących nieuszkodzalności i obsługiwalności.
10. ARMP-7 (Edycja 1, lipiec 2001): Terminologia NATO w zakresie nieuszkodzalności i obsługiwalności stosowana w dokumentach ARMP.
11. NO-06-A101:2005: Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Postanowienia ogólne
12. NO-06-A102:2005: Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Wymagania niezawodnościowe.
13. NO-06-A106:2005: Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Metody badań niezawodności.
14. PN-77/N-04010: Niezawodność w technice – Wybór wskaźników niezawodności.
15. Szkoda J., Świdorski A. „Problemy oceny skuteczności jakościowej procesów realizacji wyrobów w aspekcie wymagań AQAP”, wyd. Europejskiego Instytutu Jakości, Warszawa 2005.