

Kazimierz Kowalski*

NIEUSZKADZALNOŚĆ, GOTOWOŚĆ I OBSŁUGIWALNOŚĆ SYSTEMÓW UZBROJENIA

Streszczenie. W artykule podjęto próbę zdefiniowania pojęcia system uzbrojenia. Przedstawiono wymagania dotyczące nieuszkodzalności, gotowości i obsługiwalności systemów uzbrojenia w świetle standardów NATO. Zaprezentowano cykl życia systemów uzbrojenia definiowany w procesie ich nabywania. Zdefiniowano zasadnicze pojęcia związane z niezawodnością systemów uzbrojenia. Opiszano i przedstawiono pętlę zarządzania niezawodnością, gotowością i obsługiwalnością w cyklu życia systemu uzbrojenia. Opisano osiągnięcie niezawodności, gotowości i obsługiwalności w kontekście szerokokorozumianych potrzeb użytkowników systemów uzbrojenia. Podano również zasady doboru i charakterystykę wskaźników opisujących niezawodność, gotowość i obsługiwalność. W podsumowaniu zawarto opinię o konieczności potraktowania niezawodności, gotowości i obsługiwalności jako integralnej części inżynierii systemów uzbrojenia i stałym eliminowaniu uszkodzeń i rodzajów uszkodzeń poprzez ich identyfikację, klasyfikację, analizę lub łagodzenie ich skutków. Działania te powinny rozpoczynać się w fazie pozyskiwania pre-systemów i być kontynuowane poprzez następne fazy cyklu życia systemów uzbrojenia.

Słowa kluczowe: system uzbrojenia, niezawodność, cykl życia

Wstęp

Zapewnienie satysfakcjonującego poziomu nieuszkodzalności, gotowości i obsługiwalności (NGO) systemów uzbrojenia (SU), pomimo znaczącej poprawy ich osiągnięć (siły ognia, zdolności do przetrwania, zasięgu, prędkości, itp.) stanowi poważny problem w osiągnięciu sukcesu realizowanych misji (szczególnie misji bojowych). Wydaje się, że zwiększenie osiągnięć SU, związane w głównej mierze z postępowaniem technicznym, znacząco wyprzedza podniesienie, o proporcjonalną wartość, NGO SU na poziom wymagany przez ich eksploatatorów. To właśnie problemy z NGO wpływają na ograniczenia eksploatacji systemów uzbrojenia, a szczególnie na ich użytkowanie. Ponadto wpływają na zwiększenie całkowitych kosztów posiadania SU, zmniejszenie bezpieczeństwa, oraz obniżają gotowość operacyjną, a także wpływają na zwiększenie niepewności co do pomyślnego zakończenia misji. Problemy z NGO wpływają także na wielkość zaangażowania niezbędnych zasobów logistycznego wsparcia SU.

Powyższa problematyka nie dotyczy tylko materialnej fazy istnienia systemów. Jest ona również wynikiem początkowego zdefiniowania wymagań, które te systemy powinny spełniać, a podstawę wymagań NGO powinny stanowić potrzeby wszystkich użytkowników tych systemów.

* Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, Instytut dowodzenia, Zakład Logistyki,
kazimierz.kowalski@wso.wroc.pl

Badania wybranych SU przeprowadzone w latach 1985-1990 i 1996-2000 wskazują, że procent spełnienia wymagań niezawodnościowych obniżył się z 41% do 20% [17]. W następnych latach powyższy trend uległ dalszemu pogorszeniu. Z uzyskanych wyników wyciągnięto wnioski, że stosowane procedury niezawodnościowe w określeniu do dostawców SU nie mogą być kopiami najlepszych komercyjnych praktyk (badania przyspieszone, testy symulacyjne, procesy certyfikacji i kontroli). Stwierdzono, że regułą nie powinno być stosowanie jako podstawowego podejścia do tematyki niezawodnościowej – fizyki uszkodzeń (eksploatacyjnych) z projektowaniem wspomaganym komputerowo. Ustalono również, że analiza rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń (FMECA*) i system raportowania uszkodzeń, analizy i przedsięwzięć korekcyjnych (FRACAS**) nie były zasadniczo efektywne w zastosowaniu do problemów wymagających podejścia korekcyjnego. Uznano, że FRACAS działa efektywnie tylko wtedy gdy program analizy uszkodzeń został w pełni implementowany. Ponadto stwierdzono, że przeprowadzono nieodpowiednie testy na poziomie systemu i elementów (rzadko ukończone przyspieszone badania eksploatacyjne, zbyt mała liczba próbek, ograniczony czas testowania). Stwierdzono również, że brak było stosownych programów prowadzących do osiągnięcia celów niezawodnościowych [6].

Niski wskaźnik gotowości i związane z nim wysokie koszty utrzymania, przyczyniają się do wzrostu całkowitych kosztów posiadania SU. Za główne przyczyny tego stanu rzeczy uważa się skoncentrowanie, w stosunku do systemów uzbrojenia, na ich osiągnięciach technicznych z jednoczesnym małym zainteresowaniem co do ich środowiska użytkownika, kosztów wsparcia i gotowości. Dodatkowo, do czynników negatywnych zaliczono ograniczoną współpracę pomiędzy jednostkami ustalającymi wymagania, producentami i utrzymującymi systemy w ruchu [4], a także nieodpowiednie systemy gromadzenia i analizy danych [11].

Zasadniczym celem artykułu jest przedstawienie problematyki związanej z osiągnięciem wymaganego poziomu NGO w całym cyklu życia systemów uzbrojenia.

1. System uzbrojenia

Istnieje wiele definicji systemu [2]. Jedną z najszerszych pojęciowo i najkrótszą zarazem stanowi, że „System to byt*** przejawiający swoje istnienie przez synergiczne współdziałanie swych elementów” [3]. Matematyczne uzupełnienie powyższej definicji reprezentuje następujące równanie:

$$S = B(E, A, R), \quad E = [E_1, \dots, E_n], \quad a = [A_1, \dots, A_m], \quad R = [R_1, \dots, R_k] \quad (1)$$

gdzie: S – system,
E – zbiór elementów systemu,
A – zbiór atrybutów (właściwości),
R – zbiór relacji pomiędzy elementami i atrybutami.

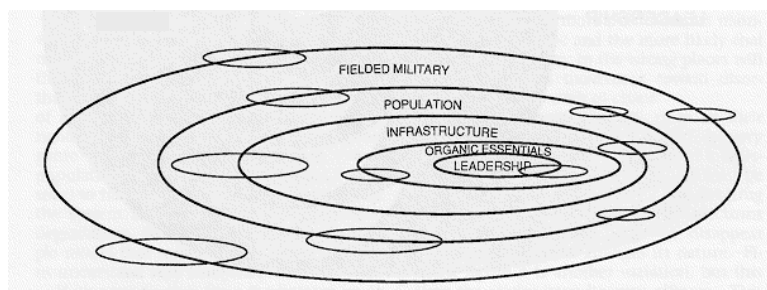
* FMECA – Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis.

** FRACAS – Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System.

*** Byt symbolizuje istniejącą całość, niekoniecznie całoprzestrzenną, występującą często w świecie idei, symboli

Można powiedzieć, że system może zawierać $n > 1$ elementów – E, które opisuje $m \geq n$ atrybutów, biorących udział w $r \geq n - 1$ relacjach (równość dla systemu szeregowego) [15]. Możliwe spektrum elementów systemu i sam system może być: fizyczny, energetyczny, symboliczny, komputerowy, żywy, świadomy, samoświadomy. Dodatkowo może występować w dowolnej konfiguracji typów i elementów.

W tym miejscu warto wspomnieć o pięciopięściennym modelu systemu złożonego (5P), który został przedstawiony w 1988 przez John A. Wardena, rys.1, [20]. Autor tego modelu utrzymuje, że każdy złożony system może być rozłożony na pięć koncentrycznych pierścieni. Każdy pierścień – Przywództwo, Procesy, Infrastruktura, Ludność i Działające Jednostki/Komórki (np. połowe oddziały/pododdziały wojskowe) – może być użyty jako pojedynczy, kluczowy element dowolnego systemu, który będzie wymagał zmiany. Model ten został efektywnie wykorzystany po raz pierwszy przez planistów Sił Powietrznych US w pierwszej wojnie w Zatoce i następnie został zaadaptowany do planowania strategicznego w handlu.



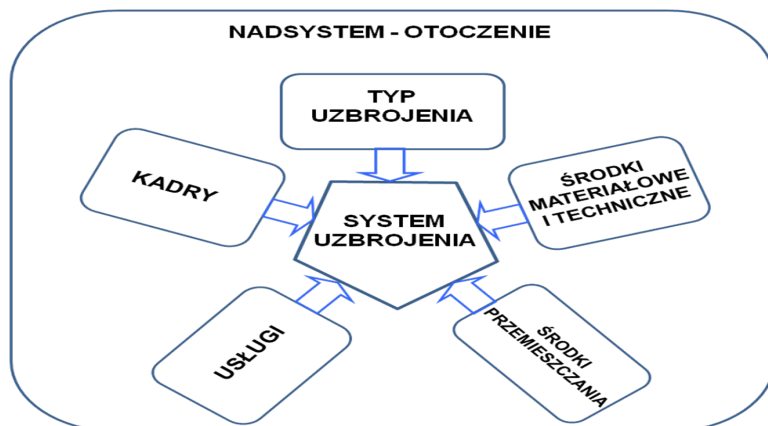
Rys. 1. Pięciopięścienny model systemu złożonego [20]

SU są podsystemami systemu bojowego (SB) i stosownie do ich definicji są lokowane w zewnętrznym pierścieniu systemu 5P (jako elementy końcowe) lub przebiegają przez wszystkie pięć pierścieni systemu 5P (w szeroko pojętym znaczeniu).

SU są osadzone w SB, które zazwyczaj zawiera podsystem walki, wsparcia i utrzymania. Można również wyróżnić narodowy i wielonarodowy SB, a także SB obronny lub ataku. Możliwym jest również wyróżnienie SB załogowych i bezałogowych. W siłach zbrojnych wyróżniamy trzy zasadnicze SB: lądowy (Army), morski (Navy) i powietrzny (Air Force). Ponadto w tzw. działaniach połączonych występują SB połączone (Joint). Wyróżnia się również SB kosmiczne.

Każdy rodzaj sił zbrojnych prowadzi działania wykorzystując charakterystyczne dla niego typy uzbrojenia – uzbrojenie i sprzęt wojskowy (UiSW)*. Przykładowo, charakterystycznym UiSW Wojsk Lądowych są: czołgi, bojowe wozy piechoty, haubice, wozy zabezpieczenia technicznego, pojazdy medyczne, roboty, lądowe pojazdy bezałogowe i wiele innych.

* *UiSW – uzbrojenie i sprzęt wojskowy – techniczne środki walki, sprzęt techniczny oraz wyposażenie, w tym wszelkie jego części, komponenty lub podzespoły, środki bojowe, techniczne środki materiałowe, oprogramowanie i usługi, które ze względu na swoje wymagania lub właściwości techniczno-konstrukcyjne oraz sposób zaprojektowania lub wykonania są przeznaczone do celów wojskowych. Uzbrojenie i sprzęt wojskowy obejmuje również wyroby i technologie oraz sprzęt powszechnego użytku, które choć pierwotnie przeznaczone były do użytku cywilnego, zostały później zaadaptowane do celów wojskowych [7].*



Rys. 2. Holistyczny model systemu uzbrojenia, na podstawie [1]

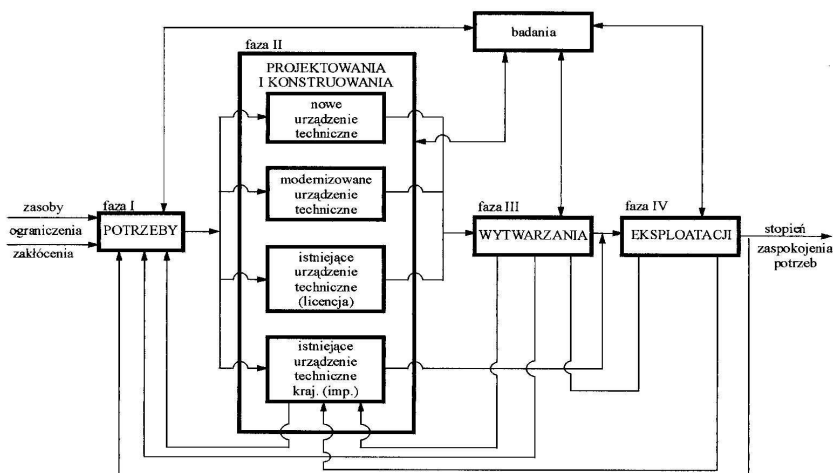
Wydaje się, że najstosowniejszą definicję SU stanowi następujące wyrażenie: system uzbrojenia tworzy powiązanie jednego lub więcej typów uzbrojenia ze wszystkim przynależnym wyposażeniem, środkami materiałowymi i technicznymi, usługami, kadrami i środkami przemieszczania (jeżeli są obowiązujące) wymaganymi dla ich samowystarczalności w działaniu, rys. 2 [20]. Powyższa definicja wyraża holistyczne podejście do gotowości SU.

2. Cykl życia systemów uzbrojenia

Zapewnienie wymaganego poziomu NGO SU dotyczy zaangażowania stosownych sił i środków we wszystkich fazach istnienia SU. Do powyższego zagadnienia odnosi się ustawa, z dn. 17.11.2006 r., o systemie oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa oraz odpowiednie do niej akty wykonawcze. Ponadto stosowne decyzje MON, w tym, decyzja nr 106 Sekretarza Stanu i Zastępcy MON, z dn. 06.09.2005 r., w sprawie wprowadzenia do stosowania w resorcie obrony narodowej procedur zapewnienia jakości, a także porozumienia techniczne dotyczące rządowego zapewnienia jakości (Government Quality Assurance – GQA) w Izraelu, Finlandii i USA.

Natomiast, do głównych dokumentów NATO regulujących wymagania jakościowe SU możemy zaliczyć: wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w projektowaniu, pracach rozwojowych i produkcji – AQAP 2110 (wydanie 1, 06.2003), dokument standaryzacyjny – STANAG 4174 oraz sojusznicze publikacje z zakresu niezawodności i obsługiwalności (Allied Reliability and Maintainability Publication – ARMP).

Należy zauważyć, że w AQAP 2110:2003 stwierdza się, że „jeśli 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 powyższego wynika, że dostawcy (poddostawcy) powinni posiadać system zarządzania niezawodnością w zakresie niezawodności, gotowości i obsługiwalności (NGO).



Rys. 3. Fazy istnienia obiektów technicznych [12]

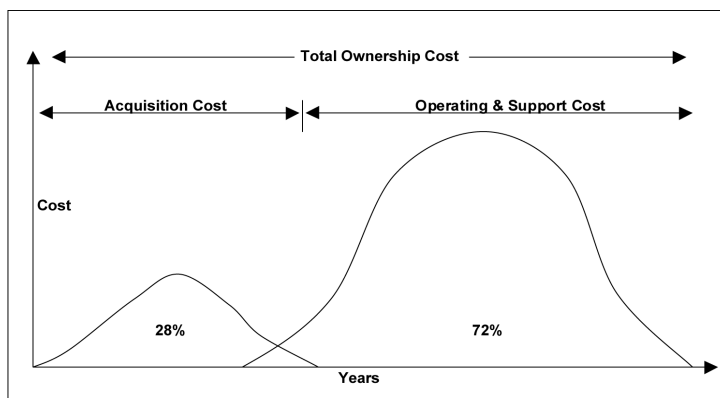
W powszechnie uznanym „cyklu życia” obiektów technicznych [8, 5] wyróżnia się cztery główne fazy (etapy): potrzebę, projektowanie i konstruowanie, wytwarzanie oraz eksploatację, rys. 3. Należy zauważyć, że w fazie „potrzeby” system techniczny nie istnieje materialnie. Jest on jedynie abstrakcyjnym wyobrażeniem, któremu przypisuje się określone (w sposób życzeniowy) zdolności i funkcje [13]. Także w fazie „projektowania i konstruowania” nie mamy do czynienia z istnieniem kompletnego systemu technicznego. Jednak w tej fazie system techniczny jest już widoczny w postaci rysunków, modeli czy prototypów.

Zgodnie z [7] cykl życia SU (UiSW) zawiera następujące etapy: badania naukowe i rozwój, projektowanie przemysłowe, produkcję, naprawę, modernizację, zmianę, utrzymanie, logistykę, szkolenie, testowanie, wycofywanie i usuwanie. Ponadto w [14] stwierdzono, że „Poszczególne etapy odnoszą się do stanów, w których znajduje się uzbrojenie i sprzęt wojskowy, poczynając od fazy analityczno-koncepcyjnej do wycofania uzbrojenia i sprzętu wojskowego z użytkowania i jego zagospodarowania”. W powyższym dokumencie nie przypisano ww. etapów do poszczególnych stanów (faz).

Można wyróżnić kilka kluczowych różnic pomiędzy „cywilnym” i „wojskowym” cyklem życia systemów (obiektów) technicznych. Wojskowe systemy, z jednej strony, „żyją” dłużej w warunkach pokojowych (zasadnicze systemy uzbrojenia pozostają w eksploatacji nie mniej niż 30 lat*). SU są wyłączone z użytkowania (są przechowywane) zdecydowanie dłużej w fazie eksploatacji niż systemy „cywilne”. W [10] wyróżniono w systemie eksploatacji UiSW oprócz stanu użytkowania i obsługiwanie, stan przechowywania. Natomiast, z drugiej strony, „życie” SU w działaniach bojowych jest często niezwykle krótkie i ich konstrukcja naceLOWANA jest na zapewnienie, w pierwszym względzie, najwyższego poziomu przetrwania.

* Przykładowo, Szef Szefostwa Służby Czołgowo-Samochodowej Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych, swoją decyzją z 2010 r., przedłużył eksploatację bojowego wozu piechoty BWP-1 o kolejnych 15 lat (sumarycznie 45 lat).

Z cyklem życia SU pozostają w ścisłym związku całkowite koszty ich posiadania. Średnie koszty standardowych programów nabywania SU przez Ministerstwo Obrony zaprezentowano na rys. 4.



Source: Defense Systems Management College's Acquisition Guide.

Rys. 4. Nominalne koszty cyklu życia standardowego programu nabywania system uzbrojenia pozostającego w 30 letniej eksploatacji [18]

3. Definicje i zarządzanie NGO

Termin niezawodność (ang. – dependability) jest używany tylko do ogólnego nieliczbowego opisu właściwości obiektu technicznego. Niezawodność oznacza zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: niezuszkodzalność (ang. – reliability), obsługiwalność (ang. – maintainability) i zapewnienie środków obsługi (ang. – maintenance support) [16].

Niezawodność utożsamiana jest z **gotowością** – zdolnością obiektu do utrzymania się w stanie umożliwiającym wypełnianie wymaganych funkcji w danych warunkach, w danej chwili lub w danym przedziale czasu, przy założeniu, że są dostarczone wymagane środki zewnętrzne. Podstawową miarą gotowości jest funkcja gotowości $K_g(t)$ – prawdopodobieństwo, że dany obiekt jest w stanie spełniać wymaganą funkcję w danych warunkach, w danej chwili przy założeniu, że zostały dostarczone wymagane środki zewnętrzne [19]. Gotowość jest miarą stopnia określającego przebywanie obiektu w stanie zdolności funkcjonalnej i możliwości rozpoczęcia misji, której to czas rozpoczęcia jest zmienną losową. Z punktu widzenia użytkownika, gotowość jest funkcją częstotliwości występowania uszkodzeń i związanej z nimi koniecznością wykonywania obsługi korekcyjnych (napraw), częstotliwości przeprowadzania obsługi prewencyjnych, przedziału czasu wykonywania obsługi prewencyjnych i przedziału czasu opóźnienia logistycznego wpływającego na przestój obiektu.

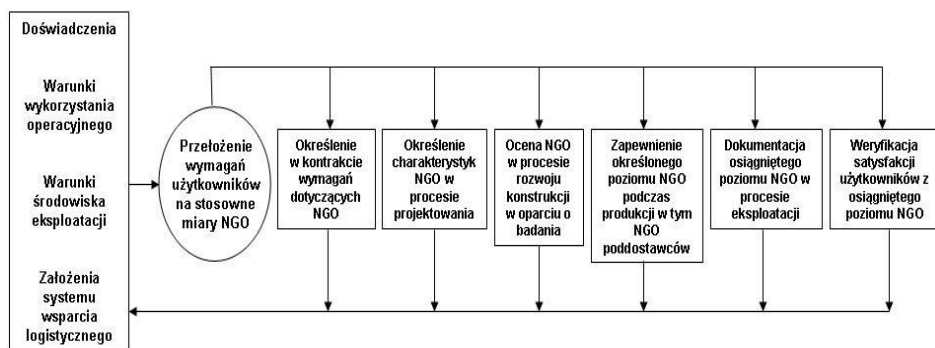
Nieuszkodzalność – charakteryzuje zdolność obiektu do wypełnienia wymaganych funkcji (do poprawnego działania nie przerwane uszkodzeniem) w danych warunkach w danym przedziale czasu. Rozróżnia się nieuszkodzalność operacyjną (misyjną) i logistyczną.

Obsługiwalność określa zdolność obiektu do utrzymania lub odtwarzania w danych warunkach eksploatacji stanu, w którym może on wypełniać wymagane funkcje przy założeniu, że obsługa jest wykonywana w przyjętych warunkach z zachowaniem ustalonych procedur i środków na każdym poziomie obsługi.

Zapewnienie środków obsługi charakteryzuje zdolność organizacji zajmującej się obsługą do zapewnienia w danych warunkach, na żądanie, środków potrzebnych do obsługi obiektu przy określonej polityce obsługi.

Podstawową miarą obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi jest prawdopodobieństwo obsługi $M(t)$ – prawdopodobieństwo wykonania w ustalonym przedziale czasu aktywnej obsługi obiektu eksploatowanego w określonych warunkach przy założeniu, że obsługa jest wykonana w ustalonych warunkach z zastosowaniem określonych metod i środków [14].

Osiągnięcie wymaganego poziomu NGO jest kształtowane w pętli zarządzania NGO w całym cyklu życia SU, rys. 5.



Rys. 5. Pętla zarządzania NGO w cyklu życia systemu uzbrojenia [9]

Szeroko rozumiane potrzeby użytkowników SU w aspekcie osiągnięcia określonego poziomu NGO dla nowych systemów, formułowane są na podstawie doświadczeń, analizy warunków wykorzystania operacyjnego (misyjnego), charakterystyki warunków środowiska eksploatacji (naturalnego i sztucznego), założeń działania systemu wsparcia logistycznego. Wyżej wymienione działania powinny zawierać szczegółowe analizy dotyczące:

1. przewidywanych działań operacyjnych z uwzględnieniem wykorzystania krytycznych systemów uzbrojenia:
 - relacji w układzie pionowym i poziomym,
 - charakterystyki obciążeń (w tym maksymalnych) podczas wykonywania oczekiwanych funkcji i zadań,
 - cykli użytkowania (czas kalendarzowy, czas działania, włączenia i wyłączenia),
2. rodzajów niezdatności (w tym kryteria) systemów technicznych, mechanizmów uszkodzeń, objawów i skutków niezdatności,
3. warunków środowiska naturalnego (wilgotność, temperatura, drgania, ciśnienie, itp.) i czasu ich trwania, w których przewidywane są określone fazy eksploatacji (przechowywanie, przeładunek, wprowadzanie, transport, użytkowanie i obsługiwanie w warunkach garnizonowych i operacyjnych),

4. warunków organizacji i działania systemu technicznego w środowisku utrzymania (w systemie utrzymania):
 - struktur oraz poziomów systemu utrzymania,
 - infrastruktury i wyposażenia systemu utrzymania,
 - zdolności personelu serwisowego,
 - wsparcia logistycznego.

4. Zasady doboru wskaźników NGO SU

Dokonując wyboru wskaźników NGO dla SU należy wziąć pod uwagę: rodzaj systemu technicznego (naprawialny, nienaprawialny), koncepcję użycia i wsparcia systemu. Należy również ściśle zdefiniować pojęcie uszkodzenia, pamiętając o tym, że dla złożonych systemów działanie z powodzeniem nie możemy łatwo określić w kategoriach „wszystko lub nic”. Uszkodzenie musi jednoznacznie określać przejście systemu ze stanu zdatności do stanu niezdatności poprzez dający się zmierzyć parametr lub czytelne oznaki.

Należy również wziąć pod uwagę fakt, że naprawa może być dokonana całkowicie („tak dobry jak nowy”) lub niecałkowicie – tymczasowo („tak dobry jak stary”). Należy również dokładnie określić (we wszystkich przypadkach) naturę mechanizmu uszkodzeń, która wpływa na wiarygodne charakteryzowanie nieuszkodzalności.

Nieuszkodzalność jest wskaźnikiem dającym wiedzę o tym, czy system techniczny będzie funkcjonował poprawnie wówczas gdy jest wykorzystywany przez „typowego” użytkownika w założonym środowisku operacyjnym. W określaniu nieuszkodzalności systemu technicznego wymagany jest identyfikacja warunków wykorzystania i jasne zdefiniowanie jego właściwego funkcjonowania (kiedy uszkodzenie jest traktowane jako uszkodzenie – niezdatność systemu). Powtarzające się stany zdatności i niezdatności systemów naprawialnych oraz występowanie stanów niezdatności systemów nienaprawialnych wymagają stosowania różnych modeli statystycznych jak i analitycznych. Nieuszkodzalność jest funkcją środowiska i obciążenia skorelowanego z realizowaną misją. Do najczęściej stosowanych wskaźników nieuszkodzalności możemy zaliczyć: λ – intensywność uszkodzeń, średni czas pomiędzy uszkodzeniami MTBF, średni czas pomiędzy obsługami (MTBM), średni czas pomiędzy naprawami (MTBR), średni czas pomiędzy uszkodzeniami krytycznymi (MTBCF), średni czas pomiędzy operacyjnymi misyjnymi niepowodzeniami (MTBOMF), średni czas do uszkodzenia – dla systemów, elementów nienaprawialnych (MTTF).

Obsługiwalność charakteryzowana jest przez szereg wskaźników ilościowych takich jak: μ – intensywność napraw, średni czas do naprawy (MTTR) – średni wymagany czas do naprawy uszkodzenia od chwili wystąpienia uszkodzenia, maksymalny (aktywny) czas realizacji obsługi korekcyjnych (MACMT – M_{\max}), średni czas obsługi prewencyjnych (MPMT), średni czas wyłączenia z użytkowania (MDT). Obsługiwalność jest również funkcją identyfikacji uszkodzeń. Dlatego też wyznaczane są wskaźniki charakteryzujące procesy diagnostyczne takie jak: efektywność pokładowych systemów diagnostycznych (procent wykrycia przez te systemy defektów) czy efektywność wykrywania defektów. W ostatnim czasie, klasyczny wskaźnik fałszywych alarmów o wystąpieniu defektu (Pfa), został zastąpiony wskaź-

nikiem określającym średni czas działania operacyjnego pomiędzy wykrywaniem (detekcją) fałszywych alarmów o wystąpieniu defektu (MOHBFA). Obsługiwalność jest rozważana również w kategoriach ekonomicznych i dogodności (łatwości) wykonywania obsługi. Dogodność wykonywania obsługi jest pośrednio określana przy pomocy dostępności (podatności obsługowej), dokładności diagnostycznej, stopnia standaryzacji i czynnikami ludzkimi.

Gotowość możemy rozpatrywać jako funkcję częstotliwości występowania uszkodzeń lub konieczności wykonania obsługi prewencyjnych i korekcyjnych (nieuszkodzalność) i czasu niezbędnego od zasygnalizowania uszkodzenia i jego potwierdzenia do czasu naprawienia uszkodzenia lub wykonania obsługi prewencyjnej (obsługiwalność). Na gotowość wpływa również zapewnienie środków obsługi. Wyróżniamy gotowość własną systemu (A_1) i gotowość operacyjną (A_o).

Wiarygodną miarę gotowości własnej systemu technicznego uzyskujemy wtedy gdy system osiągnie stan ustalony (po długim przedziale czasu użytkowania). Gotowość własną opisuje następująca zależność:

$$A_1 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

gdzie: MTBF – średni czas pomiędzy uszkodzeniami,
MTTR – średni czas do naprawy.

Gotowość operacyjną możemy opisać w kategoriach wpływu konstrukcji i systemu wsparcia (3) oraz w kategoriach czasu zdatności i niezdatności (4).

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (3)$$

gdzie: MTBM – średni czas pomiędzy obsługami,
MDT – średni czas wyłączenia systemu z użytkowania.

$$A_o = \frac{T_0}{T_0 + MDT} \quad (4)$$

gdzie: T_0 – średni czas poprawnej pracy systemu,
MDT – średni czas wyłączenia systemu z użytkowania.

W tabeli 1 przedstawiono wpływ nieuszkodzalności (wskaźnika charakteryzującego średni czas pracy pomiędzy uszkodzeniami – MTBF) i obsługiwalności (średni czas do naprawy – MTTR) na gotowość operacyjną.

5. Wnioski

Jak wynika z przedstawionych w referacie informacji, osiągnięcie zadowalającego poziomu NGO eksploatowanych SU wymaga kompleksowego, zintegrowanego podejścia do zagadnień NGO w całym cyklu życia SU. Obejmuje ono cztery grupy przedsięwzięć, które

Tabela 1. Wpływ wybranych wskaźników niezszkodzalności (MTBF) i obsługiwalności (MTTR) na gotowość operacyjną systemu technicznego

Nieuszkodzalność Wskaźnik MTBF	Obsługiwalność Wskaźnik MTTR	Wpływ na Gotowość Operacyjną, A_o
↑	→	↑
↓	→	↓
→	↑	↓
→	↓	↑

Gdzie: ↑ – wzrost, → – bez zmian, ↓ – spadek

w porównaniu do ograniczonych w czasie etapów cyklu życia SU, charakteryzują się zmiennym czasem trwania, elastycznie dostosowując się do specyfiki każdego SU.

Wyżej wymienione działania powinny być skoncentrowane na opracowaniu SU cechującego się wymaganym poziomem NGO poprzez:

- zrozumienie oraz przyjęcie potrzeb/wymagań użytkowników i ograniczeń spowodowanych brakiem odpowiednich technologii oraz źródeł,
- projektowanie oraz przeprojektowywanie systemów w aspekcie osiągnięcia planowanego poziomu NGO,
- wytwarzanie „trudno” uszkodzanych i podatnych na obsługę systemów,
- monitorowanie wybranych wskaźników techniczno-ekonomicznych eksploatowanych systemów.

Powyższy schemat działania zapewni osiągnięcie sukcesu jedynie przez potraktowanie NGO jako integralnej części inżynierii systemów technicznych i permanentne eliminowanie uszkodzeń i rodzajów uszkodzeń poprzez ich identyfikację, klasyfikację, analizę lub łagodzenie ich skutków. Powyższe działania powinny rozpoczynać się w fazie pozyskiwania pre-systemów i być kontynuowane poprzez następne fazy cyklu życia systemów uzbrojenia (rozwoju konstrukcji, produkcji, eksploatacji).

Literatura

1. AAP-6: NATO Glossary of Terms and Definitions. NSA, 2008.
2. Backlund, A.: The definition of system. *Kybernetes*, 2000, vol. 29, iss: 4, pp.444-451.
3. Bellingier, G.: *Outsight*, Internet, <http://www.radix.net/~crbnblu/musings/>, cit. 2002-08-02].
4. Best Practices: Setting Requirements Differently Could Reduce Weapon Systems' Total Ownership Costs. GOA final report, 2003.
5. Cempel C.: *Teoria i inżynieria systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego*. ITE-PIB, Radom 2008.
6. David E. Mortin, Stephen P. Yukas, Michael J. Cushing: Five Key Ways to Improve Reliability. *RAC Journal* 2Q 2003.
7. Decyzja nr 28/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 7 lutego 2011 r. w sprawie systemu pozyskiwania, eksploatacji i wycofywania uzbrojenia i sprzętu wojskowego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej, Dz.U. MON nr 3, poz.35 z 28.02.2011.

8. Hebda M. Mazur T.: Podstawy eksploatacji pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 1980.
9. Kowalski K.: Kształtowanie niezawodności systemów uzbrojenia w aspekcie potrzeb użytkowników. Zeszyty Naukowe WSOWL nr 4/2010, Wrocław 2010.
10. Kowalski K., red.: Eksploatacja wojskowych pojazdów mechanicznych, część 2. WSOWL, Wrocław 2007.
11. Michael L. Cohen, John B. Rolph, and Duane L.: Steffey, Statistics, Testing, and Defense Acquisition – New Approaches and Methodological Improvements. National Academy Press, Washington D.C., 1998.
12. Niziński S.: Eksploatacja obiektów technicznych. ITE, Radom 2002.
13. Niziński S., Michalski R.: Utrzymanie pojazdów i maszyn. ITE-PIB, Radom 2007.
14. Nowakowski T.: Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych. PW, Wrocław 1999.
15. PATZAK, G.: Engineering of systems – Planning of Innovative Comprehensive Systems, the Rudiments, Methods, Techniques. Springer Verlag, Berlin, 1982, p. 23.
16. PN-93/N50191: Słownik terminologiczny elektryki. Niezawodność; jakość usługi.
17. Reliability Performance Today, ATEC/PEO C3T Day, AEC R&M Directorate, 27 Jul 2010.
18. Report to the Subcommittee on Readiness and Management Support, Committee on Armed Services, U.S. Senate, GAO-03-57, Best practices, Setting Requirements Differently Could Reduce Weapon Systems Total Ownership Costs, US General Accounting Office, USA 2003, p. 21.
19. Villemeur A.: Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment. Wiley 1992.
20. Warden, John A.: The Enemy as a System. Airpower Journal, Spring, 1995.

RELIABILITY, AVAILABILITY AND MAINTAINABILITY OF WEAPON SYSTEMS

Summary. The paper attempts to define the concept of weapon system. The requirements for reliability, availability and maintainability of weapon systems in the NATO standards were presented. Also, the life cycle of weapon systems in the process of acquisition was introduced. The fundamental concepts associated with the dependability of weapon systems were defined. Reliability, availability and maintainability management loop of weapon systems in life cycle was described. The achievement of reliability, availability and maintainability in the context of the broad needs of weapon systems users were presented as well. It were given rules for the selection of indicators describing the characteristics of reliability, availability and maintainability. The summary includes an opinion on the need for treatment of reliability, availability and maintainability as an integral part of weapon systems engineering and permanent elimination of failures and types of failures through their identification, classification, analysis or mitigate their effects. These activities should begin during the acquisition process of pre-systems and continue through all next phases of the life cycle of weapon systems.

Key words: weapon system, reliability, life cycle