

PROBLEMATYKA GOTOWOŚCI SYSTEMÓW UZBROJENIA WE WCZESNEJ FAZIE EKSPLOATACJI

Kazimierz Kowalski¹, Marek Młynczak²

¹ Instytut Dowodzenia, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, ul. Czajkowskiego 109,
55-150 Wrocław, e-mail: kazimierz.kowalski@wso.wroc.pl

² Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska, ul. Łukasiewicza 7/9,
50-371 Wrocław, e-mail: marek.mlynczak@pwr.wroc.pl

Streszczenie. Systemy uzbrojenia podlegają typowym procesom starzenia, degradacji oraz przypadkowym uszkodzeniom spowodowanym błędami ludzkimi, przeciążeniem lub działaniem otoczenia. Znajomość okresu wczesnych uszkodzeń (wtapiania się) obiektów jest istotna z punktu widzenia zaufania do spełnianych przez nie funkcji. Przedstawiono modele uszkodzeń wczesnych dla układów funkcjonalnych czołgów eksploatowanych w warunkach garnizonowych.

Słowa kluczowe: eksploatacja, systemy uzbrojenia, gotowość techniczna.

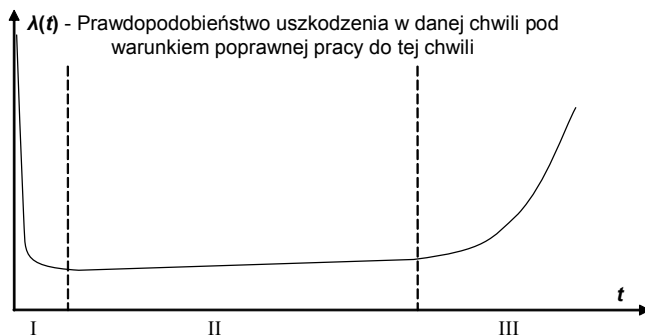
WSTĘP

Gotowość złożonych obiektów technicznych jest podstawową cechą ich jakości eksploatacyjnej. Gotowość jest mierzona zazwyczaj funkcją lub wskaźnikiem gotowości, których zmienność obserwowana jest w czasie lub przebiegu obiektu. Szczególne znaczenie gotowości obserwuje się w przypadku obiektów pracujących w sposób ciągły i obiektów mających duże znaczenie dla bezpieczeństwa. Systemy uzbrojenia są takimi szczególnymi obiektami, dla których występują trzy charakterystyczne fazy eksploatacji wymagające różnej i wysokiej gotowości. Systemy uzbrojenia przebywają w okresie pokoju najczęściej w systemie „garnizonowym”, gdzie odbywa się ich przechowywanie lub użytkowanie szkoleniowe. W okresie konfliktów zbrojnych (wojny) obiekty powinny osiągać wysoką gotowość i niską uszkodzalność. Istotne jest też, aby nowe obiekty osiągały wówczas niską uszkodzalność w jak najkrótszym czasie od wprowadzenia do eksploatacji, co wymaga eliminowania błędów i uszkodzeń już w fazie produkcyjnej. Znajomość tzw. błędów i uszkodzeń produkcyjnych jest więc kluczowym problemem dla gotowości systemów uzbrojenia w ewentualnym konflikcie zbrojnym.

USZKODZENIA W EKSPLOATACJI OBIEKTU TECHNICZNEGO

Uszkodzenia obiektów technicznych definiowane są jako zdarzenia powodujące utratę zdolności do spełniania funkcji. Pojawienie się uszkodzenia jest więc zależne od czynników wewnątrz obiektu, otoczenia eksploatacji, kadry eksploatacyjnej jak również wcześniejszych faz przed eks-

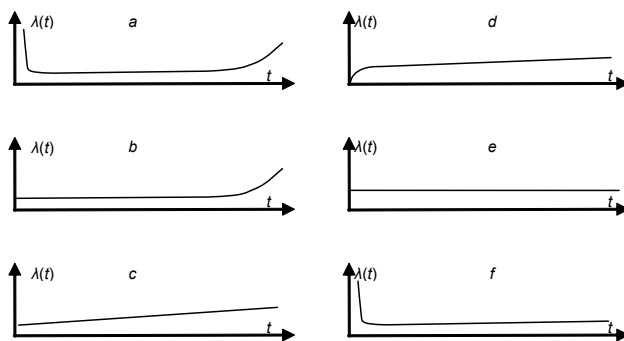
ploatacyjnych i eksploatacyjnych. Literaturowa krzywa wannowa (rys. 1) [1, 2] obrazuje przebieg funkcji intensywności w okresie „docierania”(I), poprawnego użytkowania (II) i starzenia obiektu (III).



Rys.1. Funkcja intensywności uszkodzeń (krzywa wannowa)

Fig.1. Hazard rate function (Bath-tube curve)

W przypadku nowoczesnych, zaawansowanych technologicznie obiektów technicznych funkcja intensywności jest często ograniczona do dwóch charakterystycznych przedziałów (rys. 2 b,d,f [4]). Najbardziej charakterystyczne są przypadki, w których nie występuje okres wczesnych uszkodzeń (2b) lub uszkodzeń starzeniowych (2f). Niski, początkowy poziom intensywności uszkodzeń może być wynikiem staranności w procesie projektowania i produkcji o wysokiej jakości.



Rys.2. Modele uszkodzalności obiektów technicznych

Fig.2. Failure patterns of technical objects

Analiza eksploatacji systemów uzbrojenia wskazuje na dwie najważniejsze fazy kiedy elementy tych systemów funkcjonują w okresie pokoju i wojny. Wymagania stawiane systemom uzbrojenia w tych fazach podlegają innym kryteriom. Obiekty wprowadzane do eksploatacji w okresie wojny są w krótkim czasie kierowane na stanowiska użytkowania i wymaga się od nich działania bezpiecznego i o wysokiej efektywności. Dopasowywanie się obiektu do warunków eksploatacji nie jest wówczas wskazane, a osiągnięcie długiego okresu eksploatacji jest ograniczone rodzajem spełnianych zadań bojowych o znacznej trudności (rys. 2 b,c,e). Oczekuje się więc, że obiekty osiągną w krótkim czasie stan najniższej uszkodzalności.

W okresie pokoju systemy uzbrojenia są wykorzystywane głównie do szkolenia oraz stanowią rezerwę obronną. Najważniejszym kryterium eksploatacyjnym powinien być w tych warunkach koszt eksploatacji. Odpowiada to przebiegowi funkcji intensywności jak na rys. 2f. Dłuższy okres „wtapiania” się obiektów nie jest co prawda korzystny z technicznego punktu widzenia, jednak może dotyczyć obiektów nieco tańszych.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU, SYSTEMU I PROCESU JEGO EKSPLOATACJI

Obiektem badań były szybkobieżne pojazdy gaśnicowe, czołgi PT-91 Twardy, eksploatowane w wojskowej jednostce pancernej o zwiększonej intensywności szkolenia.

W ogólnym układzie konstrukcyjnym czołgu obejmującym wieżę, kadłub i gaśnicowy układ jezdy wyróżnia się przedział kierowania, bojowy i napędowy umieszczony w tylnej części pojazdu. Pojazd o masie ponad 45 Mg jest napędzany silnikiem o zapłonie samoczynnym (doładowanym sprężarką napędzaną mechanicznie) o mocy 625 kW i momencie napędowym 3100 Nm. Czołg wyposażony jest w mechaniczny układ przeniesienia mocy z dwoma planetarnymi skrzyniami przekładniowymi (siedem przełożeń do przodu i jedno wsteczne) sterowanymi hydraulicznie. Skręt czołgiem wykonuje się poprzez włączenie przełożenia odpowiadającego „biegowi” o jeden mniejszemu w skrzyni przekładniowej z której jest przekazywany napęd na gaśnicę zwalnianą. Podstawowe dane charakteryzujące czołg PT-91 Twardy przedstawiono w tab. 1 [3].

Eksploatacja czołgów przebiegała zgodnie z rocznym planem eksploatacji, w którym wyszczególniono ich użytkowanie i obsługiwanie (w tym przechowywanie).

Czołgi użytkowano tylko podczas realizacji szkolenia. Szkolenie obejmowało szkolenie ogniowe i szkolenie taktyczne, w układzie procentowym około 60% szkolenia ogniowego i 40% szkolenia taktycznego. Dojazd do miejsc realizacji szkolenia z miejsca postoju czołgów wykonywany był samodzielnie przez czołgi biorące udział w szkoleniu.

Tab. 1. Podstawowe dane techniczno-eksploatacyjne czołgu PT-91 Twardy [1]

Tab. 1. Core technical – maintenance data of PT-91 “Twardy” tank [1]

Lp.	Parametr	Jednostka miary	Wartość
1	Masa czołgu	kg	45300
2	Nacisk jednostkowy	MPa	0,08
3	Prędkość maksymalna	km/godz.	60
4	Maksymalna moc silnika przy 2000 obr/min	kW	625
5	Maksymalny moment obrotowy przy 1300-1400 obr/min	Nm	3100 ± 100
6	Kaliber armaty	mm	125
7	Zużycie paliwa na drodze gruntowej	l/100km	420-450
8	Zasięg jazdy po drodze gruntowej	km	460-600
9	Maksymalna głębokość przeszkody wodnej pokonywanej po dnie	m	5
10	Maksymalna szerokość przeszkody wodnej pokonywanej po dnie	m	1000

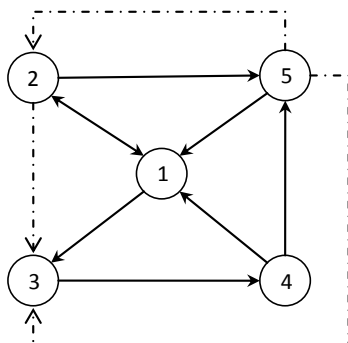
Obsługiwanie czołgów realizowane było w systemie obsługiwań planowo-zapobiegawczych zgodnie z następującymi regułami:

1. Obsługiwanie bieżące (w dniu użytkowania): przegląd kontrolny przed użytkowaniem, przegląd kontrolny podczas użytkowania, obsługiwanie codzienne (po każdym użytkowaniu czołgu niezależnie od przebiegu).

2. Obsługiwanie techniczne nr 1 (OT-1) - co 1600-1800 km przebiegu.
3. Obsługiwanie techniczne nr 2 (OT-2) - co 3300-3500 km przebiegu.
4. Obsługiwanie specjalne związane z przygotowaniem czołgu do: pokonywania przeszkód wodnych, eksploatacji w warunkach letnich lub zimowych, przechowywania, działań z przewidywaniem użycia układu ochrony przed bronią masowego rażenia, strzelania z armaty i karabinów maszynowych.
5. Obsługiwanie roczne - raz w roku bez względu na przebieg.
6. Obsługiwanie w ramach tzw. „Dni technicznych”.

Obsługiwanie bieżące realizowane było przez bezpośrednich użytkowników czołgów (załogi), natomiast obsługiwanie 2, 3, 4, 5 i 6 realizowane były przez wyspecjalizowane struktury techniczne (kompania remontowa i plutony remontowe) przy współudziale użytkowników bezpośrednich (operatorów).

Schemat realizacji procesu eksploatacji czołgów zobrazowano graficznie na rys. 3. Użytkowanie (1) realizowano w formie szkolenia ogniowego i taktycznego. Obsługiwanie profilaktyczne, zgodnie z wymaganiami gwarancyjnymi, (2) realizowano w formie obsługiwań bieżących, okresowych, specjalnych, rocznych i w ramach dni technicznych. Obsługiwanie korekcyjne (3) realizowano w ramach napraw gwarancyjnych (po uznaniu reklamacji przez producenta) lub siłami jednostek remontowych (w przypadku nieuznania reklamacji). Po wykonaniu obsługiwań korekcyjnych (wymiana, regulacja, naprawa), czołg kierowano na diagnostykę (4), a następnie do parku sprzętu technicznego (5) lub bezpośrednio do użytkowania (1).



Rys. 3. Schemat procesu eksploatacji czołgów, 1 – użytkowanie, 2 – obsługiwanie profilaktyczne, 3 – obsługiwanie korekcyjne, 4 – diagnostyka techniczna, 5 – oczekiwanie na użytkowanie (obsługiwanie)

Fig. 3. The diagram of the tanks maintenance process, 1 – utilization, 2 – preventive maintenance, 3 – corrective maintenance, 4 – diagnostics, 5 – awaiting for utilization (maintenance)

System eksploatacji czołgów (jak i innych pojazdów wojskowych) charakteryzuje się przydziałem konkretnego egzemplarza pojazdu do dwóch zasadniczych grup: grupy pojazdów przechowywanych lub do grupy pojazdów użytkowanych (rys. 4). Ze względu na fakt, że czołgi podlegały gwarancji producenta, były one wszystkie przydzielone do grupy pojazdów użytkowanych.

Docelowa norma eksploatacyjna dla czołgu PT-91 Twardy wynosi 38000 km lub 30 lat eksploatacji. Natomiast docelowa norma eksploatacyjna dla silnika napędowego czołgu wynosi 2400 mth.

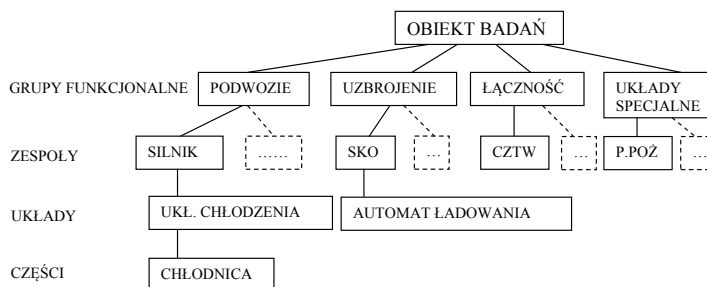
GRUPA POJAZDÓW W PRZECHOWYWANIU				GRUPA POJAZDÓW W UŻYTKOWANIU
POJAZDY PONADETATOWE	ZAPAS WOJENNY	PRZECHOWYWANIE DŁUGOOKRESOWE	PRZECHOWYWANIE KRÓTKOOKRESOWE	UŻYTKOWANIE
		min. 50%	max. 50%	do 30%
NALEŻNOŚĆ POJAZDÓW CZASU POKOJOWEGO – „P”				
NALEŻNOŚĆ POJAZDÓW CZASU WOJENNEGO – „W”				

Rys. 4. Schemat przydziału pojazdów do grup eksploatacyjnych

Fig. 4. The pattern of vehicles' assignment to operation groups

ANALIZA OBSERWACJI EKSPLOATACYJNYCH

Analiza przebiegu wprowadzania elementów systemu uzbrojenia do eksploatacji wykonano na przykładzie czołgu PT-91 Twardy. Zebrano informacje eksploatacyjne z okresu 3 lat i 2 miesięcy w warunkach garnizonowych dla 144 czołgów użytkowanych do szkolenia żołnierzy. Dla celów badawczych dokonano dekompozycji obiektu na grupy funkcjonalne, zespoły, układy (podzespoły) i części (rys. 5).



Rys. 5. Dekompozycja obiektu badań

Fig. 5. Decomposition of the research object

W okresie obserwacji (1174 dni) czołgi uszkodziły się łącznie 510 razy ze średnim czasem napraw 27 dni. Zmienność uszkodzalności mieściła się między 1 a 14 uszkodzeniami, ze średnią liczbą uszkodzeń ponad 3 uszkodzenia przypadające na jeden obiekt.

Uszkodzenia były zgłaszane jako uszkodzenia gwarancyjne i uznano reklamacje dotyczące 364 uszkodzeń, skąd można wnioskować, że ok. 71% uszkodzeń było uszkodzeniami wczesnymi pochodzącymi z fazy produkcyjnej, a pozostałe miały inne podłoże niż błędy procesu produkcyjnego.

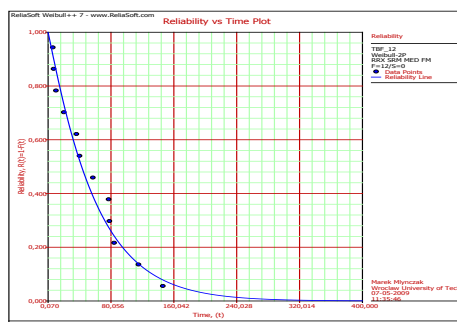
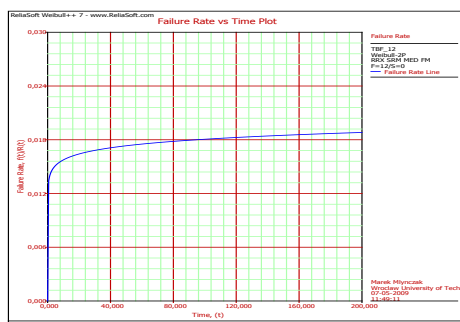
W tabeli 2 zestawiono główne charakterystyki uszkodzalności (liczba uszkodzeń, średni przebieg między uszkodzeniami i średni czas naprawy) poszczególnych grup i zespołów funkcjonalnych. Analiza danych została przeprowadzona z wykorzystaniem programu Weibull++ (Reliasoft) dopasowując do zweryfikowanych danych eksploatacyjnych rozkład Weibulla z parametrami kształtu α i skali β . Stopień dopasowania rozkładu ocenia współczynnik korelacji ρ , którego najniższa wartość wynosi 0,93.

Tab. 2. Charakterystyki uszkodzalności czołgów

Tab. 2. Characteristics of tanks failure

Kod układu	Nazwa układu	Liczba uszkodzeń	MTBF [km]	MTTR [godz]	Parametry rozkładu $W(\alpha, \beta)$		Wsp. korelacji ρ
					α	β	
10	Podwozie	25	84,4	24,0	0,82	151,76	0,98
11	Silnik	97	48,9	25,1	0,87	103,43	0,99
12	Układ przeniesienia mocy	27	25,0	29,7	1,06	60,45	0,97
13	Układ sterowania	21	113,5	20,9	1,20	232,11	0,99
14	Instalacja elektryczna	69	151,6	28,4	0,92	140,56	0,93
20	Uzbrojenie	69	161,1	26,9	0,63	117,21	0,98
21	System kierowania ogniem (SKO)	59	91,4	29,5	0,58	119,52	0,97
23	DRAWA	42	74,7	28,7	0,93	102,73	0,98
24	Sterowanie, instalacja elektryczna	31	156,9	24,1	0,64	108,38	0,95
30	Łączność	56	126,7	27,4	0,64	115,54	0,96
40	Układy specjalne	14	41,9	18,4	0,95	237,85	0,97

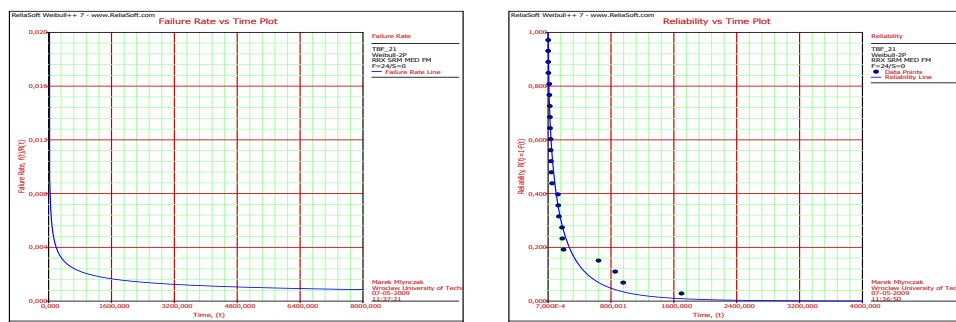
Analiza wyników obróbki statystycznej danych eksploatacyjnych zestawionych w tabeli 2 pokazuje, że dla 6 spośród 11 podsystemów funkcjonalnych parametr kształtu α rozkładu Weibulla ma wartość zdecydowanie mniejszą niż 1 ($\alpha < 0,92$). Oznacza to malejący przebieg funkcji intensywności uszkodzeń charakterystyczny dla okresu gwarancyjnego [1]. Uszkodzenia o pochodzeniu produkcyjnym są w początkowej fazie eksploatacji sukcesywnie usuwane, stąd ich pojawianie się w dalszym ciągu eksploatacji jest coraz mniej prawdopodobne. Malejąca intensywność uszkodzeń tych 6 podsystemów odpowiada rozkładowi Weibulla o parametrze kształtu zmiennym w zakresie 0,58 - 0,87. W przypadku 5 pozostałych podsystemów: instalacja elektryczna, system starowania ogniem DRAWA, układy specjalne, przeniesienia mocy oraz sterowania, pojawiające się uszkodzenia mają charakter przypadkowy ($\alpha=0,92$ -1,20), wynikający z np. z błędów człowieka lub nieprzewidywalnego oddziaływania otoczenia. Ich udział w całkowitej liczbie uszkodzeń (173 uszkodzenia stanowią 34% uszkodzeń) jest zbliżony z liczbą nie uznanych uszkodzeń zgłoszonych jako gwarancyjne. Potwierdza to zasadność decyzji gwaranta o odrzuceniu niektórych zgłoszonych uszkodzeń jako zawinionych przez producenta.



Rys. 6. Funkcja intensywności uszkodzeń (blisko stała) i niezawodności dla podsystemu 12- przeniesienie napędu

Fig. 6. Function of failure rate (nearly constant) and reliability for the 12-th subsystem – power transmission system

Na rys. 6 i 7 przedstawiono wybrane przykłady funkcji charakteryzujących niezawodność dla skrajnych wartości parametru kształtu rozkładu Weibulla. Rys. 6 obejmuje krzywe funkcji intensywności uszkodzeń i niezawodności dla podsystemu 12 - przeniesienie napędu przy niemal stałej intensywności uszkodzeń. Na rys. 7 pokazano analogiczne wykresy dla podsystemu 21 - system kierowania ogniem przy malejącej funkcji intensywności uszkodzeń świadczącej o tym, że głównymi czynnikami powodującymi stan niezdatności są zjawiska występujące podczas produkcji obiektu.



Rys. 7. Funkcja intensywności uszkodzeń (malejąca) i niezawodności dla podsystemu 21- system kierowania ogniem

Fig. 7. Function of failure rate (decreasing) and reliability for the 21-st subsystem – fire control system

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono analizę wyników obserwacji grupy obiektów systemu uzbrojenia reprezentowaną przez czołgi PT-91 Twardy. Wprowadzenie do eksploatacji ma dla tego typu obiektów szczególne znaczenie ze względu na wymaganą, od momentu wprowadzenia do eksploatacji, wysoką gotowość bojową, która w głównej mierze uwarunkowana jest gotowością techniczną. Analiza uszkodzeń zarejestrowanych w okresie pierwszych 3 lat (10% zakładanej trwałości obiektu) pokazuje, że średnia gotowość czołgów jest wysoka i wynosi 0,98, a uszkodzenia tzw. gwarancyjne są uznawane przez producenta i usuwane. Z wykonanych analiz wynika, że teoretyczne modele niezawodności są w pełni uzasadnione w modelowaniu eksploatacji złożonych systemów uzbrojenia takich jak czołgi.

LITERATURA

1. Bentley J. P.: Introduction to Reliability and Quality Engineering. Addison-Wesley Longman Ltd., Edinburgh Gate. Harlow 1999.
2. Blischke W, Murthy D.N.P.: Reliability. Modeling, Prediction, and Optimization. John Wiley & Sons, Inc. New York 2000.
3. MON: Instrukcja eksploatacji czołgu PT-91 cz. II, Dokumentacja eksploatacyjna, Warszawa 1996.
4. MOUBRAY J.: RCM- an Introduction. 1st International Society of Automotive Engineers:

JA1011 - Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes: Warrendale, Pennsylvania, USA: SAE Publications. Aladon 2000.

CONSIDERATION OF WEAPON SYSTEMS AVAILABILITY IN EARLY OPERATION PHASE

Summary. Weapon systems undergo natural ageing processes, degradation and random failures caused by human errors, overloading or destructive action of surroundings. Knowledge of “burn-in” or infant mortality period of technical objects is significant from the point of view of confidence of performing the intended function. Models of infant mortality of functional systems of main battlefield tanks operating in garrison were presented.

Key words: maintenance, weapon systems, availability.